



ISSN 1818-1112

№ 2(131)

Научно-практический журнал
Scientific and practical journal

ВЕСТНИК

Брестского государственного
технического университета

VESTNIK

Brest State
Technical University

WWW.BSTU.BY

DOI 10.36773/1818-1112-2023-131-2

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор

БАХАНОВИЧ АЛЕКСАНДР ГЕННАДЬЕВИЧ

д-р техн. наук, доцент, первый заместитель Министра образования Республики Беларусь

Заместитель главного редактора

ШАЛОБЫТА НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ

канд. техн. наук, доцент, проректор по научной работе БрГТУ

Ответственный секретарь

КОВАЛЬЧУК ЕКАТЕРИНА НИКОЛАЕВНА

инженер-программист БрГТУ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Раздел «Строительство»

д-р техн. наук, профессор ТУР ВИКТОР ВЛАДИМИРОВИЧ (ответственный редактор)

д-р техн. наук, профессор ПОЙТА ПЁТР СТЕПАНОВИЧ (зам. ответственного редактора)

д-р техн. наук, профессор БАТЯНОВСКИЙ ЭДУАРД ИВАНОВИЧ

д-р техн. наук, профессор БОЛТРЫК МИХАИЛ

академик РААСН, д-р техн. наук, профессор КОЛЧУНОВ ВИТАЛИЙ ИВАНОВИЧ

чл.-корр. БАЦМАА, д-р арх., профессор МОРОЗОВА ЕЛЕНА БОРИСОВНА

д-р техн. наук, доцент НАЙЧУК АНАТОЛИЙ ЯКОВЛЕВИЧ

д-р техн. наук, профессор ЛАЗОВСКИЙ ДМИТРИЙ НИКОЛАЕВИЧ

д-р техн. наук, профессор ЛЕОНОВИЧ СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ

Раздел «Машиностроение»

канд. техн. наук, доцент НЕРОДА МИХАИЛ ВЛАДИМИРОВИЧ (ответственный редактор)

канд. техн. наук, доцент ПОДДУБКО СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ (зам. ответственного редактора)

д-р техн. наук, профессор ДЕВОЙНО ОЛЕГ ГЕОРГИЕВИЧ

д-р техн. наук, профессор ПОБОЛЬ ИГОРЬ ЛЕОНИДОВИЧ

академик НАН Беларуси, д-р техн. наук, профессор ВИТЯЗЬ ПЁТР АЛЕКСАНДРОВИЧ

чл.-корр. НАН Беларуси, д-р техн. наук, профессор ШЕЛЕГ ВАЛЕРИЙ КОНСТАНТИНОВИЧ

канд. техн. наук, доцент ХВИСЕВИЧ ВИТАЛИЙ МИХАЙЛОВИЧ

Раздел «Геоэкология»

д-р геог. наук, профессор ВОЛЧЕК АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ (ответственный редактор)

канд. техн. наук, доцент МЕШИК ОЛЕГ ПАВЛОВИЧ (зам. ответственного редактора)

чл.-корр. НАН Беларуси, д-р геол.-минерал. наук, профессор БОГДАСАРОВ МАКСИМ АЛЬБЕРТОВИЧ

академик НАН Грузии, д-р техн. наук, профессор ГАВАРДАШВИЛИ ГИВИ ВАЛЕРИАНОВИЧ

чл.-корр. НАН Беларуси, д-р техн. наук, профессор ЛИХАЦЕВИЧ АНАТОЛИЙ ПАВЛОВИЧ

академик НАН Беларуси, д-р геог. наук, профессор ЛОГИНОВ ВЛАДИМИР ФЁДОРОВИЧ

д-р с.-х. наук, профессор МАЖАЙСКИЙ ЮРИЙ АНАТОЛЬЕВИЧ

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

канд. экон. наук, доцент КАСПЕРОВИЧ СЕРГЕЙ АНТОНОВИЧ (ответственный редактор)

канд. экон. наук, доцент ЗАЗЕРСКАЯ ВИКТОРИЯ ВАСИЛЬЕВНА (зам. ответственного редактора)

д-р экон. наук, профессор ВЫСОЦКИЙ ОЛЕГ АРСЕНТЬЕВИЧ

д-р экон. наук, доцент БЕЛЯЦКАЯ ТАТЬЯНА НИКОЛАЕВНА

д-р экон. наук, профессор ТАРАСОВ ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ

д-р экон. наук, профессор ХАЦКЕВИЧ ГЕННАДИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ

д-р экон. наук, профессор ИВУТЬ РОМАН БОЛЕСЛАВОВИЧ

Регистрационный № 144

Решением коллегии Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь научно-практический журнал «Вестник Брестского государственного технического университета» включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим (строительство, машиностроение, геоэкология) и экономическим отраслям науки.

Журнал входит в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).



ВЕСТНИК

Брестского государственного технического университета

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
(СТРОИТЕЛЬСТВО, МАШИНОСТРОЕНИЕ, ГЕОЭКОЛОГИЯ);
ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научно-практический журнал
Издается с января 2000 г.
Периодичность – 3 раза в год.

2(131)'2023

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТРОИТЕЛЬСТВО

ГИЛЬ А. И., ЛАЗОВСКИЙ Е. Д. Анализ результатов экспериментальных исследований неразрезных железобетонных балок с комбинированным армированием композитной и стальной арматурой растянутой зоны над промежуточной опорой **3**

ЛАЗОВСКИЙ Д. Н., ЛЕОНОВИЧ С. Н., ГЛУХОВ Д. О., ЛАЗОВСКИЙ Е. Д. Моделирование напряженно-деформированного состояния изгибаемых железобетонных элементов, усиленных в растянутой зоне внешним армированием композитными материалами под нагрузкой **9**

ЖУК В. В., ШЕВЧУК В. Л., КОЦЮРА И. П., ТИШУК Е. А. Несущая способность соединений деревянных элементов на металлических зубчатых пластинах после воздействия умеренно высоких температур **20**

НАЙЧУК А. Я., МАРКЕЧКО Е. В. Конечн-элементный анализ напряженного состояния древесины в зоне контакта с винтом, установленным под углом к волокнам и воспринимающим осевое усилие растяжения **25**

ТУР Э. А., СЧАСНАЯ Е. В., С. В. БАСОВ, АКУЛОВА О. А., ТРИЧИК В. В., РУСАК Е. Ю. Свято-Рождества-Богородицкая церковь-крепость оборонительного типа в д. Мураванка Гродненской области как объект историко-культурного наследия Республики Беларусь **32**

ТОЛОЧКО А. В. Оценка эстетического восприятия визуальной информации на фасадах первых этажей зданий **39**

ЛЕВЧУК Н. В., ОЛЕХНОВИЧ К. А. Экспериментально-теоретические исследования образцов бетона мостовых сооружений по некоторым химическим показателям **44**

УРЕЦКИЙ Е. А., ДАРМАНЯН А. П., МОРОЗ В. В. Исследование эффективности перемешивания жидкостей в вихревых центробежных смесителях **48**

ПОЛЕВОДА И. И., НЕХАНЬ Д. С. Теоретическая модель стойкости высокопрочного, модифицированного и центрифугированного бетона при пожаре **52**

МАШИНОСТРОЕНИЕ

АКУЛА И. П. Покрытия алмазоподобного углерода для литьевых форм пластмассовых изделий **62**

БАННЫЙ В. А., ЦАРЕНКО И. В. Технологические аспекты формирования композиционных волокнистых радиопоглощающих материалов **66**

ГОЛОЗУБОВ А. Л. Исследование свойств плазмохимических упрочняющих тонкопленочных кремнийсодержащих покрытий и композиции покрытие-подложка, работающих в условиях высоких контактных давлений **69**

ГРОМЫКО П. Н., ХАТЕТОВСКИЙ С. Н., ЮРКОВА В. Л. Предварительная оценка потерь мощности в контактных парах эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов **72**

ИГНАТЮК В. И., ОНЫСЬКО С. Р. Об устойчивости тонкостенных подкрепленных цилиндрических оболочек, подверженных импульсу внешнего давления **76**

ОВЧИННИКОВ Е. В., ХВИСЕВИЧ В. М., ЧЕКАН Н. М., ВЕРЕМЕЙЧИК А. И., АКУЛА И. П. Структурные и морфологические особенности высокоэнтропийных сверхтвердых покрытий **80**

ПАТАПАЎ У. А., РУСАН С. І., СИВАЧЭНКА Л. А. Камбінаваная і трохстрыжняявая мадэлі рабочых органаў камеры ланцужага агрэгата і іх даследаванне **85**

ПРОКОПЕНЯ О. Н., ВАБИЩЕВИЧ Л. И., ФРАНЦЕВИЧ А. В., ПРОЖИЖКО О. Г., ЛАПУКА А. С. Оптимизация привода постоянного тока с регулируемой скоростью **93**

ЮНИЦКИЙ А. Э., КАБАКОВ А. Ю., КОШЕЛЕВ А. Г., ГАРАНИН В. Н. Особенности использования информационного моделирования в проектировании и строительстве инновационных транспортно-инфраструктурных комплексов UST **97**

ГЕОЭКОЛОГИЯ

VOLCHAK A. A., BORUSHKO V. V. Evaluation of the influence of large-scale melioration of the Belarusian Polesie on the thermal regime of soils **103**

- ВОЛЧЕК А. А., СИДАК С. В., ПАРФОМУК С. И., ШЕШКО Н. Н.** Основные тенденции развития опасных гидрологических явлений на территории Беларуси **110**
- МЕШИК О. П., БОРУШКО М. В., МОРОЗОВА В. А.** Современные оценки характеристик солнечной радиации территории Республики Беларусь **115**
- ЧЕПИК А. Г., МАЖАЙСКИЙ Ю. А., ДОРОНКИН Ю. В., ШАШУРИНА Е. А.** Методические подходы к определению экологической эффективности в АПК **123**
- ШТЕПА В. Н., ДУНАЙ В. И., ПРОКОПЕНЯ О. Н.** Применение автоматизированных электролизных процессов в системах очистки сточных вод рыбоперерабатывающих предприятий **127**
- ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ**
- БИДЗЮРА Е. А.** Расширенное использование вторичных ресурсов как фактор обеспечения экономической безопасности **132**
- БУНЬКО С. А., ЯКУБЮК В. В.** Поиск эффективных площадок реализации инфлюенс-маркетинга в современных условиях **136**
- ГАРЧУК И. М.** Оценка эффективности системы управления предприятием **142**
- ЗАЗЕРСКАЯ В. В.** Концептуальные подходы к определению трансграничных регионов **146**
- ЗАЗЕРСКАЯ В. В.** Развитие цифровой экономики в странах евразийского экономического союза: формирование институциональной среды интеграционных объединений **150**
- КУЛАКОВ И. А., КУЛАКОВА Л. О.** Транспортный комплекс Республики Беларусь и оптимизация транспортно-логистических процессов на примере строительства **155**
- ЛАПКОВСКАЯ П. И., КОСТЕНЕВИЧ Д. Р.** Методическое обеспечение оценки и развития транспортно-экспедиционной деятельности организаций **159**
- МИШКОВА М. П., ЕРМАКОВА Э. Э.** Методологические подходы к исследованию управления цепями поставок строительного комплекса **163**
- СКВОРОДА Е. В.** Методологические основы финансирования деятельности спортивных организаций в Республике Беларусь **167**
- СИМЧЕНКО О. Л., НАСОНОВА К. С.** Анализ текущего состояния и проблем функционирования нефтяных научных институтов на современном этапе развития **170**
- ФЛЯЧИНСКАЯ Н. Н.** Исследование методических подходов к оценке конкурентоспособности региона **174**
- ЮНИЦКИЙ А. Э., АРТЮШЕВСКИЙ С. В., КЛИМКОВ А. Г.** Транспортно-инфраструктурные решения UST как перспективное направление инновационного развития **178**
- ЮРЧИК В. И.** Применение добавленной стоимости в деятельности предприятия на основе системы национальных счетов **185**

СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 624.072.232

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НЕРАЗРЕЗНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК С КОМБИНИРОВАННЫМ АРМИРОВАНИЕМ КОМПОЗИТНОЙ И СТАЛЬНОЙ АРМАТУРОЙ РАСТЯНУТОЙ ЗОНЫ НАД ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ОПОРОЙ

А. И. Гиль¹, Е. Д. Лазовский²

¹ Магистр технических наук, старший преподаватель кафедры строительных конструкций

УО «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой», Новополоцк, Беларусь, e-mail: a.hil@psu.by

² К. т. н., доцент, доцент кафедры строительных конструкций УО «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой», Новополоцк, Беларусь, e-mail: y.lazowski@psu.by

Реферат

В статье представлены результаты экспериментальных исследований неразрезных железобетонных балок с комбинированным армированием композитной и стальной арматурой растянутой зоны над промежуточной опорой с различным соотношением предельных растягивающих усилий в композитной и стальной арматуре. Получена картина трещинообразования в зоне над промежуточной опорой и в пролете опытных балок, определен характер их разрушения, особенности деформирования, построены опытные зависимости «пролетный изгибающий момент – прогиб». Выявлены особенности деформирования растянутой зоны над промежуточной опорой балок, построены опытные зависимости «опорный изгибающий момент – угол поворота». Получены графики изменения растягивающих усилий в стальных и композитных стержнях в растянутой зоне над промежуточной опорой.

Ключевые слова: неразрезные балки, железобетон, композитная арматура, комбинированное армирование, изгиб, экспериментальные исследования.

ANALYSIS OF THE RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF CONTINUOUS REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH COMBINED REINFORCEMENT WITH COMPOSITE AND STEEL REINFORCEMENT OF THE STRETCHED ZONE ABOVE THE INTERMEDIATE SUPPORT

A. I. Hil, Y. D. Lazowski

Abstract

The article presents the results of experimental studies of continuous reinforced concrete beams with combined reinforcement of composite and steel reinforcement of the stretched zone above the intermediate support with a different ratio of the ultimate tensile forces in composite and steel reinforcement. A picture of cracking in the zone above the intermediate support and in the span of experimental beams is obtained, the nature of their destruction, deformation features are determined, experimental dependencies "span bending moment – deflection" are constructed. The features of deformation of the stretched zone above the intermediate support of the beams are revealed, experimental dependences "support bending moment – angle of rotation" are constructed. Graphs of changes in tensile forces in steel and composite rods in the stretched zone above the intermediate support are obtained.

Keywords: continuous beams, reinforced concrete, composite reinforcement, combined reinforcement, bending, experimental studies.

Введение

На современном этапе развития строительной отрасли Республики Беларусь требуется непрерывный рост эффективности производства строительных материалов и изделий, снижение трудоемкости и экономических затрат. Одной из задач по совершенствованию строительных конструкций является расширение области применения композитной неметаллической стержневой арматуры (далее композитная арматура) в изгибаемых железобетонных конструкциях. Композитная арматура (англ. FRP Rebar – Fiber Reinforced Polymer Rebar) имеет ряд достоинств по сравнению со стальной: высокое сопротивление растяжению, коррозионную стойкость, устойчивость к воздействиям отдельных видов кислот, щелочей, солей и сернистых газов, диэлектрическую проницаемость, малый удельный вес. Однако следует отметить и ее недостатки: более низкий модуль упругости, хрупкое разрушение при растяжении, низкая огнестойкость [1; 2].

Применение данного вида армирования в изгибаемых железобетонных конструкциях, как правило, приводит к хрупкому разрушению элемента, что ограничивает его применение. Одним из решений названной проблемы является применение комбинированного армирования композитной и стальной арматурой

растянутой зоны железобетонного изгибаемого элемента. Впервые применение такого вида армирования [3] позволило получить пластическую форму разрушения образцов, а в их работе выделить более протяженную стадию пластического деформирования, чем в аналогах с эквивалентным (по предельному растягивающему усилию) стальным армированием.

Дальнейшие исследования в этой области были направлены на применение комбинированного армирования в неразрезных железобетонных балках в растянутой зоне над промежуточной опорой [4; 5].

Целью настоящего исследования является анализ экспериментальных данных и выявление особенностей работы неразрезных железобетонных балок с комбинированным армированием растянутой зоны над промежуточной опорой с различным соотношением предельных усилий в композитной и стальной арматуре [4; 5].

Экспериментальные исследования

Экспериментальные исследования проводились в испытательной лаборатории учреждения образования «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой» [5].

Программа исследований включала испытания опытных образцов бетонных призм на сжатие для получения фактических значений прочности бетона на осевое сжатие и модуля упругости; опытных стальных стержней на растяжение для получения фактических значений условного предела текучести, предельной прочности при разрыве, модуля упругости и построения диаграммы деформирования стальной арматуры; опытных композитных стержней на основе стеклянных волокон с использованием

стандартных испытательных муфт на растяжение [6] для получения фактических значений предельной прочности, модуля упругости, относительного удлинения при разрыве стержня и построения диаграммы деформирования; неразрезных железобетонных балок с комбинированным армированием растянутой зоны над промежуточной опорой с различным соотношением предельных усилий в композитной и стальной арматуре [5; 7].

Характеристики опытных балок представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики опытных балок

Маркировка балок	Размеры поперечного сечения $b \times h$, мм	Армирование растянутой зоны над промежуточной опорой	Площадь арматурных стержней, мм ²		Коэффициент армирования, %		$\frac{N_{ult,f}}{N_{ult,s}}$
			A_s	A_f	ρ_s	ρ_f	
Б1Э	120x190	2Ø12 S500	226	–	0,99	–	–
Б2Э		2Ø10FRP ¹⁾	–	133,3	–	0,58	–
Б3		2Ø10 S500, Ø8FRP	157	40	0,69	0,175	0,42
Б4		2Ø8 S500, Ø10FRP	101	66,7	0,44	0,29	1,03
Б5		2Ø6 S500, Ø12FRP	57	94,3	0,25	0,41	3
Б6		2Ø6 S500, 2Ø10FRP	57	133,3	0,25	0,58	4,2

Примечания: ¹⁾ FRP – композитная арматура на основе стеклянных волокон; $N_{ult,f}$ – предельное растягивающее усилие в композитной арматуре, Н; $N_{ult,s}$ – предельное растягивающее усилие в стальной арматуре, Н.

Анализ экспериментальных исследований

При испытаниях опытных балок была получена картина трещинообразования в зоне над промежуточной опорой и в пролете. Установлено, что образование первых трещин нормального отрыва в растянутой зоне над промежуточной опорой и в пролете во всех опытных балках происходило при внешней нагрузке, равной 10–15 % от разрушающей. Анализ результатов свидетельствует, что при увеличении соотношения предельных усилий в композитной и стальной арматуре комбинированного армирования над промежуточной опорой возрастает длина первых трещин при их образовании, происходит их более интенсивное удлинение и развитие при увеличении внешней нагрузки. Четкой зависимости влияния данного соотношения на количество и шаг трещин в зоне над промежуточной опорой, исходя из результатов эксперимента, не выявлено.

Общий вид зоны над промежуточной опорой и пролете опытных балок после разрушения с отмеченными трещинами представлены в таблице 2.

Разрушение всех опытных балок происходило по растянутой зоне одного из пролетов при достижении стальной арматурой величины растягивающего усилия, соответствующего временному сопротивлению. Характер разрушения всех опытных балок был одинаков. Критическая трещина нормального отрыва образовывалась в левом или правом пролете в зоне действия максимального изгибающего момента под силой, приложенной на расстоянии 1200 мм от оси промежуточной опоры. Предельная внешняя нагрузка всех опытных балок при разрушении соответствовала пролетному изгибающему моменту от 22,23 кНм до 25,97 кНм.

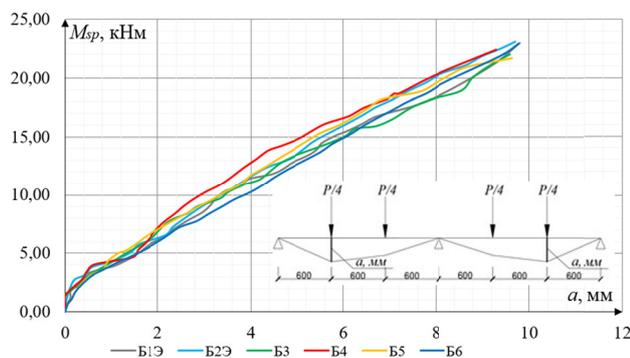


Рисунок 1 – Опытные зависимости «пролетный изгибающий момент – прогиб» для балок

Испытания балок позволили определить особенности их деформирования и построить опытные зависимости «пролетный изгибающий момент – прогиб» (рисунок 1).

На первых этапах нагружения во всех опытных балках отмечалась линейная зависимость увеличения прогибов от приложенной нагрузки (приращение прогибов на каждом этапе нагружения составило в среднем 0,1 мм).

Данная стадия работы продолжалась до образования первых трещин в пролете и над промежуточной опорой. После образования первых трещин в пролете и над промежуточной опорой во всех опытных балках происходило увеличение приращения прогибов на одном этапе нагружения (приращение в среднем составило 0,2 мм). Величина приращения прогибов не зависела от армирования растянутой зоны над промежуточной опорой. Соотношение предельных усилий в композитной и стальной арматуре комбинированного армирования в растянутой зоне над промежуточной опорой не повлияло на деформативность опытных балок в пролете на начальной и конечной стадиях работы, и балка работала аналогично балке с полностью стальным армированием в растянутой зоне над промежуточной опорой.

В результате измерения деформаций в растянутой зоне над промежуточной опорой на уровне центра тяжести растянутой арматуры и в сжатом бетоне на расстоянии 25 мм от нижней грани, были выявлены особенности деформирования рассматриваемой зоны балок и построены зависимости «опорный изгибающий момент – угол поворота» (рисунок 2).

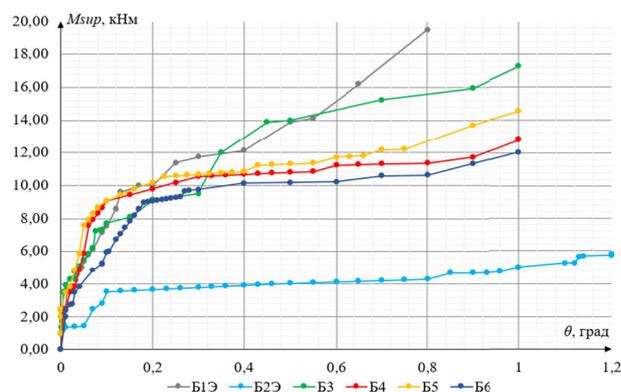
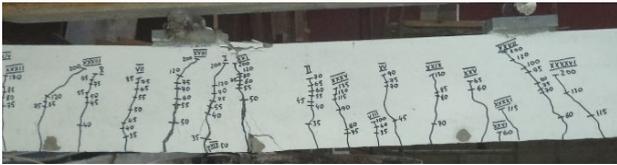
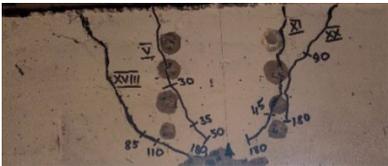
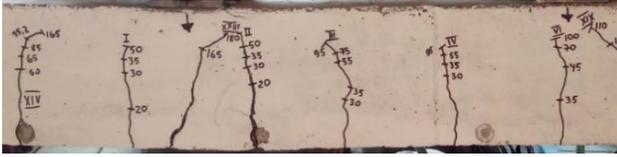
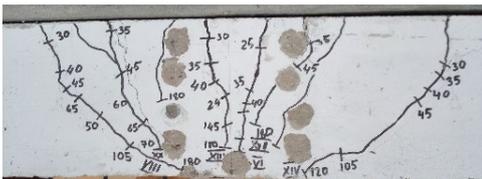
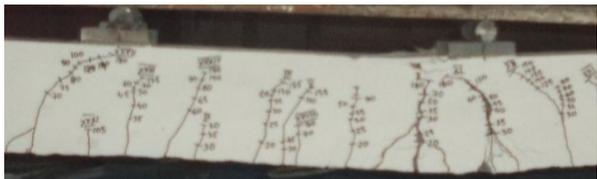
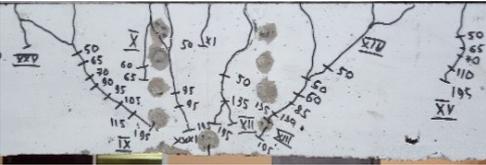
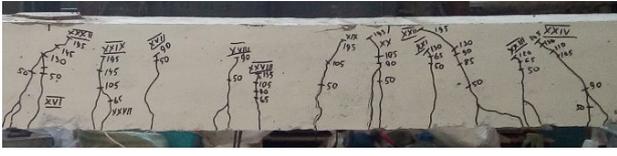
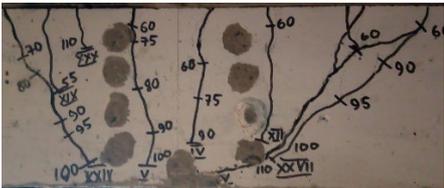
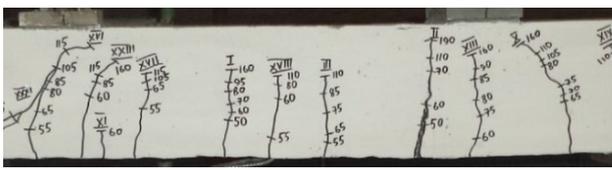
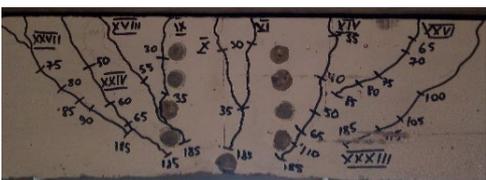
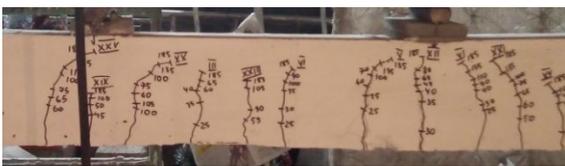


Рисунок 2 – Опытные зависимости «опорный изгибающий момент – угол поворота» для балок

Таблица 2 – Общий вид зоны над промежуточной опорой и пролете опытных балок после разрушения с отмеченными трещинами

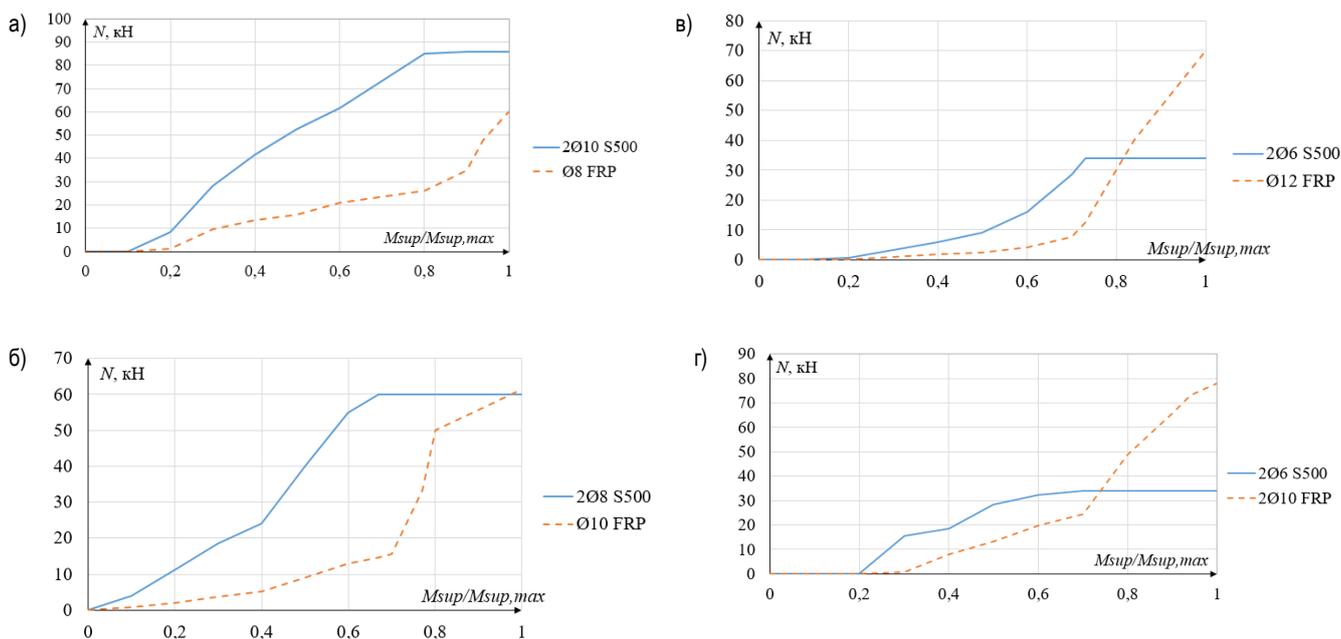
Балка	Опора	Пролет
Б1Э		
Б2Э		
Б3		
Б4		
Б5		
Б6		
Примечание – арабскими цифрами отмечена величина приложенной нагрузки, кН; римскими цифрами отмечены номера трещин.		

На первых этапах нагружения (до образования первых трещин) рост относительных деформаций в сжатой и растянутой зонах над промежуточной опорой происходил прямо пропорционально увеличению опорного изгибающего момента (на одном этапе нагружения в растянутой зоне приращение относительных деформаций составило 0,05 %, в сжатой – 0,01 %). После появления первых трещин отмечен рост относительных деформаций в растянутой и сжатой зонах. Величина приращения относительных деформаций при равном приращении изгибающих моментов зависела от соотношения предельных усилий в композитной и стальной арматуре комбинированного армирования в растянутой зоне над промежуточной опорой и составила в балке Б1Э – 0,11 %, в Б2Э – 0,96 %, в Б3 – 0,11 %, в Б4 – 0,12 %, в Б5 – 0,15 %, в Б6 – 0,17 %.

Следует отметить, что для опытных балок Б3-Б6 выделена стадия работы, при которой рост величины приращения относительных деформаций в растянутой зоне над промежуточной опорой происходил без изменения величины действующего изгибающего момента.

В Б3 данная стадия начиналась при достижении относительных деформаций 2,15 %, в Б4 – 2,11 %, в Б5 – 2,1 %, в Б6 – 2,07 %. Таким образом, чем выше значение соотношения предельных усилий в композитной и стальной арматуре комбинированного армирования в растянутой зоне над промежуточной опорой, тем на более ранних этапах нагружения в этой зоне начинаются пластические деформации. Изменение данного соотношения дает возможность регулировать изгибную жесткость растянутой зоны балок над промежуточной опорой.

В результате определения относительных деформаций (по результатам измерения относительных деформаций растянутой зоны над промежуточной опорой на уровне центра тяжести арматуры) стальных и композитных стержней опытных балок Б3-Б6 были получены графики изменения растягивающих усилий в стальных и композитных стержнях (рисунок 3), которые подтвердили включение в работу композитной арматуры после достижения текучести стальной арматуры.



а) – Б3; б) – Б4; в) – Б5; г) – Б6;

Рисунок 3 – Изменение растягивающих усилий в стальных и композитных стержнях в опытных балках

Анализ графиков (рисунок 3) показал, что до достижения стальной арматурой текучести, растягивающие усилия в композитной арматуре не достигали больших значений: в опытной балке Б3 при начале текучести стальной арматуры усилия в композитной арматуре составили всего 19% от предельного растягивающего усилия, в Б4 – 22%, в Б5 – 11%, Б6 – 17%. После начала текучести стальной арматуры в балках Б4-Б6 на дальнейших этапах нагружения, растягивающие усилия в композитной арматуре начинали более интенсивно возрастать и воспринимать все большую долю внешних растягивающих усилий. В балке Б3 основную долю растягивающих усилий воспринимала стальная арматура, а при достижении текучести стальной арматурой было достигнуто предельное состояние (разрушение в пролете). К моменту разрушения опытных балок растягивающие усилия в композитной арматуре достигли в опытной балке Б3 – 68 % от предельного усилия, в Б4 – 88 %, в Б5 – 52%, в Б6 – 56 %. При этом, растягивающее усилие в композитной арматуре в балке Б3 к моменту разрушения было на 30 % ниже чем в стальной, в Б4 усилия практически выровнялись, в Б5 и Б6 усилие в композитной арматуре превысило усилие в стальной арматуре на 50 % и 56 % соответственно.

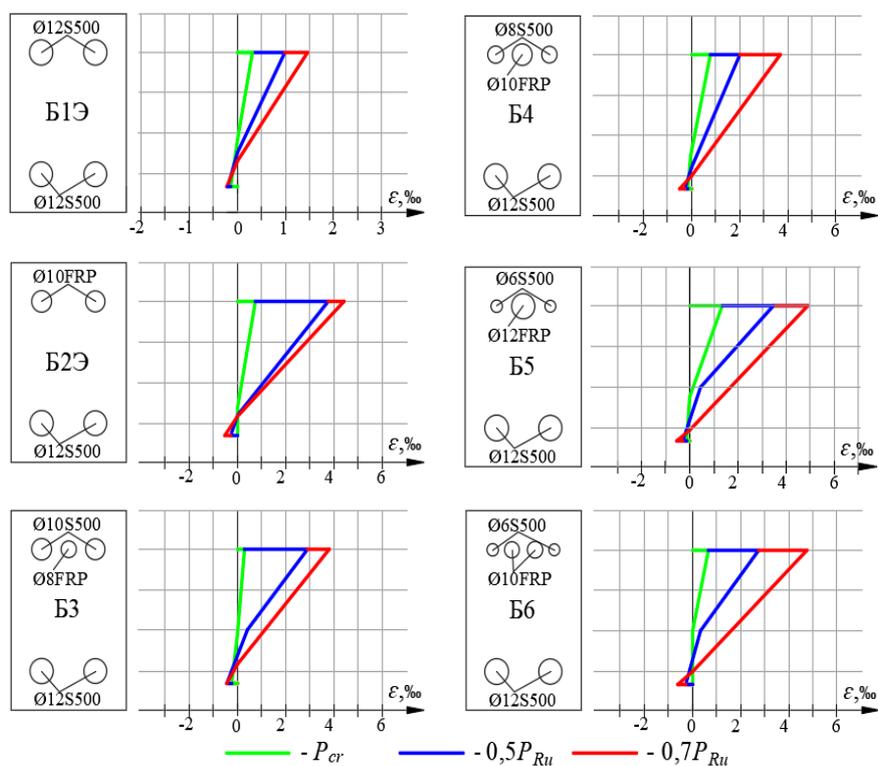
Таким образом, композитная арматура в составе комбинированного армирования над промежуточной опорой оказала «поддерживающий эффект» для стальной арматуры и тем самым продлила пластическую стадию работы всего элемента, что позволило получить дополнительное перераспределение внутренних изгибающих моментов между пролетами и промежуточной опорой опытных балок. Данные результаты совпадают с экспериментальными исследованиями аналогичных разрезных балок пролетом 1800 мм [3, с. 62–63]. Уровень нагружения при начале текучести стальной арматуры и соотношение внутренних усилий в стальных и композитных стержнях при предельной нагрузке представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Уровень нагружения при начале текучести стальной арматуры и соотношение внутренних усилий в стальных и композитных стержнях

Балка	$\frac{N_{ult,f}}{N_{ult,s}}$	Уровень нагружения при начале текучести стальной арматуры, $M_{sup,i}/M_{sup,max}$	Соотношение внутренних усилий в композитных и стальных стержнях при предельной нагрузке, N_f/N_s				
			Эксперимент [3, с. 62–63]		Эксперимент [3, с. 62–63]		
			Балка-аналог		Балка-аналог		
Б3	0,42	0,8	И-Б2	0,77	0,71	И-Б2	0,5
Б4	1,03	0,67	И-Б3	0,65	1	И-Б3	1
Б5	3	0,7	И-Б4	0,6	2	И-Б4	1,45
Б6	4,2	0,7	–		2,3	–	

Таким образом, из анализа таблицы 3 и результатов опыта [3, с. 63–63] следует, что композитная арматура эффективна в составе комбинированного армирования в растянутой зоне над промежуточной опорой неразрезных балок при соотношении предельных усилий в композитной и стальной арматуре комбинированного армирования не менее 1. При соотношении ниже 1 не будет наблюдаться «поддерживающий эффект» и основную долю усилий будет воспринимать стальная арматура.

В результате измерения относительных деформаций по высоте поперечного сечения над промежуточной опорой неразрезных железобетонных балок с комбинированным армированием растянутой зоны над промежуточной опорой при нагружении внешней нагрузкой были получены эпюры средних относительных деформаций (рисунок 4).



P_{cr} – внешняя нагрузка, соответствующая моменту трещинообразования; P_{Ru} – предельная внешняя нагрузка

Рисунок 4 – Эпюры средних относительных деформаций по высоте поперечного сечения над промежуточной опорой

Анализ эпюр на рисунке 4 позволил определить смещение положения нейтральной оси, которое характеризовало напряженно-деформируемое состояние опытных балок при изгибе. Относительные деформации по высоте балок в зоне над промежуточной опорой в зависимости от величины приложенной нагрузки имели практически линейное распределение, что подтвердило гипотезу плоских сечений для осредненных деформаций опытных неразрезных балок.

Экспериментальные исследования позволили определить механизм деформирования, трещинообразования, перераспределения усилий и разрушения неразрезных железобетонных балок с комбинированным армированием композитной и стальной арматурой растянутой зоны над промежуточной опорой.

В работе опытных балок выделены следующие основные этапы:

– 1-й этап: работа системы без трещин. Увеличение изгибающих моментов над промежуточной опорой и в пролете проходит равномерно, практически линейно. Этап продолжается до достижения значений изгибающего момента, соответствующих образованию трещин в растянутой зоне над промежуточной опорой или в пролете;

– 2-й этап: работа системы после образования трещин. После образования первых трещин при последующем нагружении увеличение опорного изгибающего момента замедляется, при этом развитие пролетного момента практически не изменяется. Этап продолжается до достижения стальной арматурой в растянутой зоне над промежуточной опорой неупругих деформаций;

– 3-й этап характеризуется работой системы с зонами, в которых стальная арматура достигла неупругих деформаций (образование пластического шарнира). После образования пластического шарнира в растянутой зоне над промежуточной опорой (достижение текучести стальной арматуры в составе комбинированного армирования) происходит перераспределение усилий между пролетами и промежуточной опорой, увеличение пролетного изгибающего момента и замедление увеличения опорного изгибающего момента. Дальнейшее восприятие внешней нагрузки происходит при наличии

пластических деформаций в растянутой стальной арматуре и «поддерживающего эффекта» композитной арматуры в растянутой зоне над промежуточной опорой за счет роста изгибающего момента в пролете. Данный этап заканчивается исчерпанием несущей способности системы.

Соотношение предельных усилий в композитной и стальной арматуре комбинированного армирования растянутой зоны над промежуточной опорой влияет на характер работы опытных балок под нагрузкой. При минимальном соотношении (0,42 и менее) предельных усилий в композитной и стальной арматуре перераспределение усилий между пролетами и промежуточной опорой происходит как в балке, армированной полностью стальными стержнями. В опытных балках с максимальным соотношением (1 и более) перераспределение усилий начинается при нагрузке, соответствующей 50 % и менее от разрушающей.

Заключение

Экспериментально установлены особенности работы и схемы разрушения неразрезных двухпролетных железобетонных балок с различным соотношением предельных растягивающих усилий в композитной и стальной арматуре комбинированного армирования растянутой зоны над промежуточной опорой. Установлено, что дополнительная внешняя нагрузка в предельном состоянии при текучести стальной арматуры и последующее дополнительное перераспределение усилий между пролетами и промежуточной опорой достигается при применении комбинированного армирования с соотношением предельных усилий в композитной и стальной арматуре в составе комбинированного армирования не менее 1.

Экспериментально подтверждена справедливость гипотезы плоских сечений для осредненных деформаций по высоте зоны над промежуточной опорой неразрезных двухпролетных балок с комбинированным армированием композитной и стальной арматурой в растянутой зоне над промежуточной опорой.

Список цитированных источников

1. Лешкевич, О. Н. Перспективы применения композитной арматуры / О. Н. Лешкевич // Проблемы современного бетона и железобетона : материалы III международного симпозиума (Минск, 9–11 ноября 2011 г.) : в 2 т. / редкол.: М. Ф. Марковский (гл. ред.) [и др.]. – Т. 1: Бетонные и железобетонные конструкции. – С. 262–268.
2. Коррозионная стойкость стеклянного волокна и стеклопластиковой арматуры для бетона / Ю. В. Кондратьева [и др.] // Стр-во и архитектура Белоруссии. – 1972. – № 2. – С. 39–40.
3. Тур, В. В. Экспериментальные исследования изгибаемых бетонных элементов с комбинированным армированием стальными и стеклопластиковыми стержнями / В. В. Тур, В. В. Мalyxa // Вестник Полоцкого гос. ун-та. Серия F Строительство. Прикладные науки. – 2013. – № 8. – С. 58–65.
4. Гиль, А. И. Методика экспериментальных исследований неразрезных железобетонных балок с гибридным армированием растянутой зоны центрального опорного сечения / А. И. Гиль, Е. Д. Лазовский // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. F, Строительство. Прикладные науки. – 2019. – № 16. – С. 59–64.
5. Гиль, А. И. Результаты экспериментальных исследований сопротивления изгибу статически неопределимых железобетонных балок с комбинированным армированием растянутой зоны опорного сечения / А. И. Гиль // Вестн. Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2021. – № 16. – С. 58–64.
6. Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Методы определения физико-механических характеристик: (ГОСТ 32492-2015). – М. : Стандартинформ, 2016. – 19 с.
7. Гиль, А. И. Экспериментальное исследование механических свойств стеклопластиковой арматуры / А. И. Гиль, Е. Д. Лазовский // Проблемы современного бетона и железобетона. – 2017. – № 9. – С. 168–182.

References

1. Leshkevich, O. N. Perspektivy primeneniya kompozitnoj armatury / O. N. Leshkevich // Problemy sovremennogo betona i zhelezobetona: materialy III mezhdunarodnogo simpoziuma (Minsk, 9–11 noyabrya 2011 g.) : v 2 t. / redkol.: M. F. Markovskij (gl. red.) [i dr.]. – T. 1: Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii. – S. 262–268.
2. Korrozionnaya stojkost' steklyannogo volokna i stekloplastikovej armatury dlya betona / YU. V. Kondrat'eva [i dr.] // Str-vo i arhitektura Belorussii. – 1972. – № 2. – S. 39–40.
3. Tur, V. V. Eksperimental'nye issledovaniya izgibaemykh betonnykh elementov s kombinirovannym armirovaniem stal'nymi i stekloplastikovymi sterzhnyami / V. V. Tur, V. V. Malyha // Vestnik Polockogo gos. un-ta. Seriya F Stroitel'stvo. Prikladnye nauki. – 2013. – № 8. – S. 58–65.
4. Gil', A. I. Metodika eksperimental'nykh issledovaniy nerazreznykh zhelezobetonnykh balok s gibridnym armirovaniem rastyanutoj zony central'nogo opornogo secheniya / A. I. Gil', E. D. Lazovskij // Vestn. Poloc. gos. un-ta. Ser. F, Stroitel'stvo. Prikladnye nauki. – 2019. – № 16. – S. 59–64.
5. Gil', A. I. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy soprotivleniya izgibu staticheski neopredelimykh zhelezobetonnykh balok s kombinirovannym armirovaniem rastyanutoj zony opornogo secheniya / A. I. Gil' // Vestn. Polockogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F. Stroitel'stvo. Prikladnye nauki. – 2021. – № 16. – S. 58–64.
6. Armatura kompozitnaya polimernaya dlya armirovaniya betonnykh konstrukcij. Metody opredeleniya fiziko-mekhanicheskikh harakteristik: (GOST 32492-2015). – M. : Standartinform, 2016. – 19 s.
7. Gil', A. I. Eksperimental'noe issledovanie mekhanicheskikh svoystv stekloplastikovej armatury / A. I. Gil', E. D. Lazovskij // Problemy sovremennogo betona i zhelezobetona. – 2017. – № 9. – S. 168–182.

Материал поступил 11.04.2023, одобрен 18.04.2023, принят к публикации 18.04.2023

УДК 624.012.45

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, УСИЛЕННЫХ В РАСТЯНУТОЙ ЗОНЕ ВНЕШНИМ АРМИРОВАНИЕМ КОМПОЗИТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ ПОД НАГРУЗКОЙ

Д. Н. Лазовский¹, С. Н. Леонович², Д. О. Глухов³, Е. Д. Лазовский⁴

¹ Д. т. н., профессор, профессор кафедры строительных конструкций УО «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой», Новополоцк, Беларусь, e-mail: d.lazovski@psu.by

² Д. т. н., профессор, заведующий кафедрой строительных материалов и технологии строительства УО «Белорусский национальный технический университет», Минск, Беларусь, e-mail: sleonovich@mail.ru

³ К. т. н., доцент, ведущий инженер ООО «Softclub», Минск, Беларусь, e-mail: dzmitry.hlukhau@outlook.com

⁴ К. т. н., доцент, заведующий кафедрой строительных конструкций УО «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой», Новополоцк, Беларусь, e-mail: y.lazouski@gmail.com

Реферат

Одним из эффективных видов дополнительного армирования при усилении железобетонных элементов является внешнее армирование композитными материалами. Известные методы расчета параметров напряженно-деформированного состояния усиленных элементов основываются на общей деформационной и блочной моделях, которые применяют отдельно без их взаимодействия. Для изгибаемых железобетонных элементов, усиленных под нагрузкой в растянутой зоне, разработана методика расчета параметров их напряженно-деформированного состояния, учитывающая особенности трещинообразования и перераспределение усилий между основной стержневой и дополнительной внешней композитной арматурой на всех стадиях работы вплоть до разрушения, которая методически объединяет обе модели. Проведены экспериментальные исследования, подтверждающие теоретические положения предложенной методики расчета прочности, трещиностойкости и деформативности железобетонных элементов, усиленных композитными материалами.

Ключевые слова: усиление железобетонных элементов, композитные материалы, моделирование напряженно-деформированного состояния, диаграммы деформирования, гипотеза плоских сечений, общая деформационная модель расчета, закон сцепления арматуры с бетоном, блочная модель расчета, методика расчета, прочность, трещиностойкость, деформативность.

MODELING OF THE STRESS-STRAIN STATE OF BENDING REINFORCED CON-CRETE ELEMENTS REINFORCED IN A TENSIONED ZONE BY EXTERNAL REINFORCEMENT WITH COMPOSITE MATERIALS UNDER LOAD

D. Lazouski, S. Leanovich, D. Glukhov, Y. Lazouski

Abstract

One of the effective types of additional reinforcement when reinforcing reinforced concrete elements is external reinforcement with composite materials. Known methods for calculating the parameters of the stress-strain state of reinforced elements are based on the general deformation and block models, which are used separately without their interaction. For bent reinforced concrete elements reinforced under load in the tension zone, a method has been developed for calculating the parameters of their stress-strain state, taking into account the characteristics of cracking and the redistribution of forces between the main rod and additional external composite reinforcement at all stages of work up to failure, which methodically combines both models. Experimental studies have been carried out confirming the theoretical provisions of the proposed method for calculating the strength, crack resistance and deformability of reinforced concrete elements reinforced with composite materials.

Keywords: strengthening of reinforced concrete elements, composite materials, modeling of the stress-strain state, deformation diagrams, hypothesis of flat sections, general deformation model of calculation, law of adhesion of reinforcement to concrete, block model of calculation, calculation method, strength, crack resistance, deformability.

Введение

Эффективное усиление эксплуатируемых изгибаемых железобетонных элементов предполагает увеличение прочности их наиболее слабой зоны (растянутой или сжатой – в пролете, зоны среза у опоры). Вероятная схема разрушения железобетонных элементов устанавливается поверочными расчетами на основе физико-механических свойств материалов и фактического технического состояния, выявленных при обследовании. В случае, когда разрушение изгибаемого железобетонного элемента начинается с растянутой зоны, в ней устанавливают дополнительную арматуру. Одним из эффективных видов дополнительного армирования является внешнее армирование композитными материалами [1]. Усиление производится наклеиванием изделий заводского изготовления в виде ламинатов или послойное наклеивание холстов, сеток и др. адгезивами с образованием многослойного композитного материала [2]. Внешнее армирование

железобетонных элементов композитными материалами позволяет не только увеличить их прочность, но и повысить их трещиностойкость и жесткость, а также долговечность.

Моделирование напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов, усиленных композитными материалами, согласно [2] следует производить на основе общей деформационной модели с применением гипотезы плоских сечений для распределения относительных деформаций по поперечному сечению и диаграмм деформирования бетона и арматуры. При усилении железобетонных элементов дополнительный композитный материал, воспринимающий растягивающие усилия при включении в совместную работу, имеет физико-механические характеристики, которые отражают его диаграмма деформирования. Но при усилении железобетонных элементов под нагрузкой или после разрушения в момент времени объединения с дополнительной композитной арматурой в одну конструкцию уже имеют

определенное напряженно-деформированное состояние. Фактически усиленная конструкция становится многокомпонентной, состоящей из основной части, находящейся в определенном напряженно-деформированном состоянии, и дополнительной части (композитной арматуры) – в первоначальном состоянии. Гипотеза плоских сечений для относительных деформаций усиленных железобетонных элементов не выполняется, поскольку при усилении в основной части поперечного сечения уже имеются определенные (остаточные) деформации от воздействия нагрузки (разгрузки) [3].

В нормативном документе [2] указывается на необходимость учета начального напряженно-деформированного состояния железобетонной конструкции перед усилением. В упрощенной постановке это требование для изгибаемых железобетонных элементов предложено осуществлять вычислением относительных деформаций существующей арматуры и наиболее сжатой фибры бетона, которые затем учитываются при вычислении, исходя из гипотезы плоских сечений, напряжения во внешней арматуре из композитного материала для случая переармированного элемента. В нелинейной деформационной модели в [2] на первом этапе расчета железобетонного элемента перед его усилением вычисляют относительные деформации растянутой грани, со стороны которой затем будет установлена внешняя композитная арматура; на втором этапе – в расчете учитывают дополнительную композитную арматуру, а начальные относительные деформации, вычисленные на первом этапе расчета, уменьшают значения предельных относительных деформаций бетона при сжатии и растяжении, а также увеличивают значения предельных относительных деформаций дополнительной композитной арматуры, включаемой в совместную работу после усиления элемента. Следует отметить, что в такой постановке предельное значение относительных деформаций бетона и арматуры будет зависеть от положения фибры бетона или арматуры по высоте поперечного сечения и от нагрузки при усилении. Более универсально выглядит предложение [3], в котором относительные деформации бетона и арматуры на первом этапе расчета (перед усилением) вычисляются для всех элементарных площадок расчетного поперечного сечения и затем используются на втором этапе расчета (после усиления) без ограничения относительных деформаций бетона при сжатии и ограничением относительных деформаций бетона и арматуры при растяжении.

Кроме того, в п. 6.1.5 [2] указывается, что в случае усиления под нагрузкой, превышающей 65 % расчетной величины, расчетные характеристики бетона и существующей арматуры следует умножать на понижающий коэффициент условий работы, равный 0,9. Содержание названного пункта [2] входит в противоречие с п. 6.28 [4], в котором в выше обозначенных условиях предлагается использовать понижающий коэффициент условий работы, равный 0,9, для бетона и

арматуры усиления. В соответствии с положением п. 6.28 [4] было разработано Пособие [5].

Цель работы: для изгибаемых железобетонных элементов, усиленных под нагрузкой в растянутой зоне, разработать методику расчета параметров их напряженно-деформированного состояния, учитывающую особенности трещинообразования и перераспределение усилий между основной стержневой и дополнительной внешней композитной арматурой на всех стадиях работы вплоть до разрушения.

Напряженно-деформированное состояние изгибаемых железобетонных элементов, усиленных под нагрузкой

Аналогично [2] расчет параметров напряженно-деформированного состояния изгибаемых железобетонных элементов, усиленных внешним композитным армированием, производится в два этапа. На первом этапе расчета система уравнений общей деформационной модели для расчетного поперечного сечения изгибаемого в одной плоскости железобетонного элемента, состоящая из уравнений равновесия и условия совместности деформаций, описывающего положение плоскости распределения деформаций по поперечному сечению в соответствии с гипотезой плоских сечений, имеет вид:

$$\begin{cases} \int \sigma_{c,s} A_{c,s} (y_{c,s} - y_0) dy = M \\ \int \sigma_{c,s} A_{c,s} dy = 0 \\ \varepsilon_{c,s}^I = \frac{1}{r} (y_{c,s} - y_0) \end{cases}, \quad (1)$$

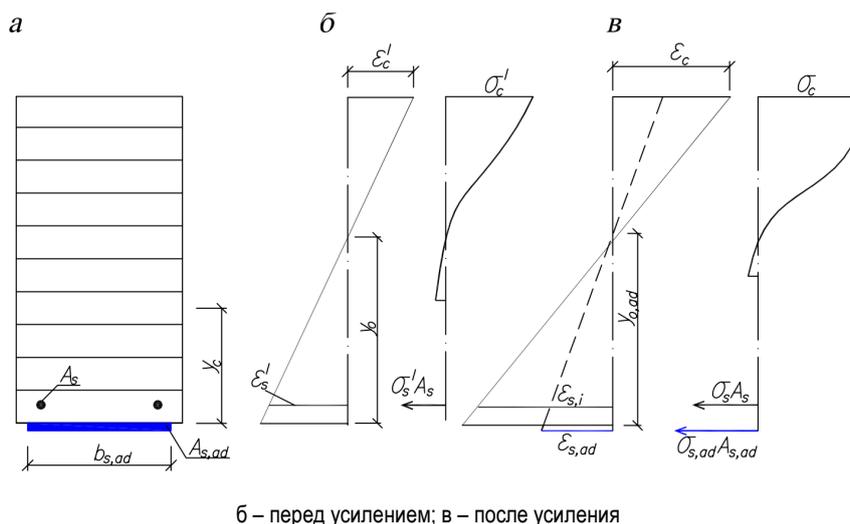
где $\sigma_{c,s}$ и M – нормальные напряжения в элементарной площадке бетона или арматуры и изгибающий момент от внешних воздействий при усилении элемента; $\varepsilon_{c,s}^I$ и $\frac{1}{r}$ – относительная деформация в элементарной площадке бетона или арматуры и кривизна элемента в рассматриваемом поперечном сечении при усилении элемента; $A_{c,s}$ – площадь поперечного сечения элементарной площадки бетона или арматуры железобетонного элемента.

На втором этапе расчета с учетом наличия основной части усиленного элемента и дополнительной композитной арматуры с жестким контактом между ними, условий равновесия усилий и условий совместности деформирования для усиленного поперечного сечения уравнения напряженно-деформированного состояния изгибаемого железобетонного элемента, усиленного внешним композитным армированием, имеют вид:

$$\begin{cases} \int \sigma_{c,s} A_{c,s} (y_{c,s} - y_{0,ad}) dy + \sigma_{s,ad} A_{s,ad} (y_{s,ad} - y_{0,ad}) dy = M + \Delta M \\ \int \sigma_{c,s} A_{c,s} dy + \sigma_{s,ad} A_{s,ad} dy = 0 \\ \varepsilon_{c,s} = \varepsilon_{c,s}^I + \frac{1}{r_{ad}} (y_{c,s} - y_{0,ad}) \\ \varepsilon_{s,ad} = \frac{1}{r_{ad}} (y_{s,ad} - y_{0,ad}) \end{cases}, \quad (2)$$

где $\sigma_{s,ad}$ и ΔM – нормальные напряжения композитной арматуре и приращение изгибающего момента от внешних воздействий после усиления элемента; $A_{s,ad}$ – площадь поперечного сечения дополнительной композитной арматуры усиленного железобетонного элемента; $\varepsilon_{s,ad}$ – относительная деформация в композитной арматуре в рассматриваемом поперечном сечении после усиления элемента; $\frac{1}{r_{ad}}$ – кривизна усиленного элемента в рассматриваемом поперечном сечении от действия ΔM .

С учетом аппроксимаций диаграмм деформирования для бетона, стержневой и композитной арматуры усиленного элемента вычисляются относительные деформации и напряжения в элементарных площадках. Процесс итераций продолжается до получения заданной точности вычисления в условиях равновесия усилий (2). Схема распределения относительных деформаций и напряжений в поперечном сечении изгибаемого железобетонного элемента, усиленного в растянутой зоне внешним композитным армированием, приведена на рисунке 1.



б – перед усилением; в – после усиления

Рисунок 1 – Расчетное поперечное сечение изгибаемого железобетонного элемента, усиленного внешним композитным армированием в растянутой зоне (а) и распределение относительных деформаций и напряжений

При необходимости вычисления изгибающего момента, соответствующего несущей способности усиленного элемента, приращение изгибающего момента ΔM ступенчато увеличивается. Максимальное значение изгибающего момента $(M + \Delta M)$ от внешней нагрузки, при котором выполняются условия (2), соответствует несущей способности усиленного элемента $M_{u,ad}$.

Трещиностойкость усиленных железобетонных элементов

Трещиностойкость железобетонных элементов характеризуется процессами образования и раскрытия трещин. Определяющими параметрами при этом соответственно являются величина изгибающего момента образования трещин и ширина их раскрытия в процессе нагружения.

Железобетонные элементы, усиленные под нагрузкой, имеют специфические особенности трещинообразования, заключающиеся в том, что усиливаемая и усиливающая части элемента находятся в различных состояниях. Усиливаемая часть в рассматриваемый период времени может уже иметь трещины нормального отрыва в растянутой зоне. Кроме того, при инъектировании трещин усиливаемой части железобетонного элемента бетон начинает снова работать на растяжение. В зависимости от уровня напряжений в арматуре и характера действующей нагрузки предполагается различная степень потери сцепления арматуры с бетоном растянутой зоны на длине между трещинами.

В связи со спецификой работы изгибаемых железобетонных элементов, усиленных внешним армированием композитными материалами, следует различать изгибающий момент M_{cr} , соответствующий появлению трещин до усиления и после усиления $(M + \Delta M)_{cr}$. Значение изгибающего момента появления трещин до усиления устанавливается расчетом по методу последовательных нагружений по уравнениям напряженно-деформированного состояния (1), а после усиления – по уравнениям (2). Для изгибаемых железобетонных элементов, усиленных в растянутой зоне внешним композитным армированием, целесообразно принять в качестве критерия образования трещин нормального отрыва, предельные относительные деформации крайнего растянутого волокна, в отличие от элементов, армированных только стержневой арматурой, для которых критерий образования трещин принимают на уровне центра тяжести арматуры [6]. При расчете изгибаемых железобетонных элементов диаграмма растяжения стержневой и композитной арматуры до пересечения ее трещиной принимается как “свободной” арматуры, а после пересечения – как трансформированная с учетом работы растянутого бетона между трещинами [7].

При инъектировании трещин под нагрузкой полимерными составами (с условием их надежной адгезии с бетоном) на участке, прилегающем к трещине, приращение изгибающего момента после инъектирования до появления новых трещин больше изгибающего момента образования исходных трещин (рисунок 2). Эффект усиливается с увеличением напряжений в арматуре при инъектировании и времени их выдерживания до инъектирования. Это объясняется нарушением сцепления арматуры с бетоном на участках между трещинами. Если адгезия полимерного состава к бетону меньше его прочности при растяжении в железобетонных элементах с инъектированными трещинами новые трещины появляются как продолжение исходных или в непосредственной близости от инъектированных.

В случае инъектирования исходных трещин под нагрузкой изгибаемых железобетонных элементов при расчете на втором этапе принимается исходная диаграмма деформирования бетона при растяжении с относительными деформациями, равными их приращению после инъектирования трещин. При этом значение нормальных напряжений бетона ограничивается величиной, характеризующей прочность адгезии полимерного состава с бетоном f_{bm} . Для аналитического описания при выполнении нелинейных расчетов конструкций диаграмма деформирования бетона усиления при осевом кратковременном растяжении принимается криволинейного очертания с ниспадающей ветвью [8, 9, 10], (рисунок 2).

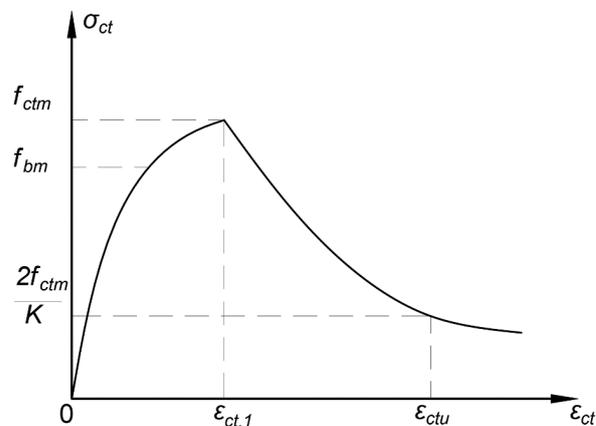


Рисунок 2 – Диаграмма деформирования бетона при растяжении железобетонных элементов с инъектированными трещинами

Восходящая ветвь диаграммы бетона усиления при растяжении описывается следующей зависимостью:

$$\sigma_{ct} = f_{ctm} \left[2 \left(\frac{\varepsilon_{ct}}{\varepsilon_{ct1}} \right) - \left(\frac{\varepsilon_{ct}}{\varepsilon_{ct1}} \right)^2 \right]. \quad (3)$$

Для описания нисходящей ветви (рисунок 9.1) принимается следующая зависимость:

$$\sigma_{ct} = \frac{f_{ctm} \varepsilon_{ct1}}{\varepsilon_{ct}} = \frac{2f_{ctm} \varepsilon_{ctu}}{K \varepsilon_{ct}} = \frac{2f_{c,cube} \varepsilon_{ctu}}{K^2 \varepsilon_{ct}}, \quad (4)$$

где $f_{c,cube}$ – прочность бетона на сжатие, определяемая на кубках;

f'_{ct} – прочность бетона на растяжение (напряжение в верхней точке диаграммы деформирования);

K – отношение прочности бетона на сжатие к прочности бетона на растяжение;

$$\varepsilon_{ct,1} = \frac{2 \cdot f_{ctm}}{E_{ct}} \text{ – значение относительной деформации в пи-}$$

ковой точке диаграммы деформирования;

$$\varepsilon_{ctu} = \frac{K \cdot \varepsilon_{ct1}}{2} \text{ – предельная растяжимость бетона;}$$

E_{ct} – начальный модуль упругости бетона при растяжении.

Значения коэффициента K и модуля упругости E_{ct} определяют по формулам:

$$K = 6,4 + 0,1223 \cdot f_{cm}; \quad (5)$$

$$E_{ct} = \frac{10^7 \cdot f_{ctm}}{750 + 81,55 \cdot f_{ctm}}. \quad (6)$$

где f_{cm} – средняя прочность на осевое сжатие бетона, МПа;
 f_{ctm} – средняя прочность на осевое растяжение бетона, МПа.

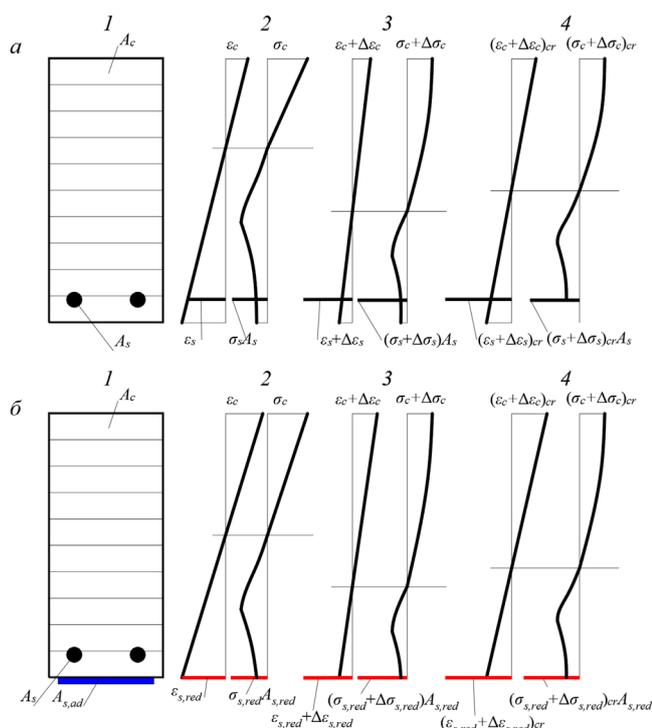
В изгибаемом железобетонном элементе до появления трещин в бетоне сопротивление растяжению оказывает бетон и продольная арматура. Относительные деформации растянутого бетона и арматуры благодаря сцеплению между ними равны между собой. С увеличением нагрузки в зоне максимальных изгибающих моментов на наиболее ослабленных участках (вследствие неоднородности структуры бетона и изменчивости его сопротивления) растягивающие относительные деформации в бетоне приближаются к предельным и появляются трещины. В сечении с трещиной и вблизи него сцепление нарушается, растягивающие усилия воспринимаются арматурой. После образования трещины напряжения (относительные деформации) по краям трещины в бетоне становятся равными нулю, и возникает разность относительных деформаций бетона и арматуры $\Delta\varepsilon$. В соответствии с законом сцепления эта разность деформаций по мере удаления от трещины уменьшается до нуля или до области, где относительные деформации в бетоне на уровне центра тяжести арматуры достигают предельных значений на растяжение и появляются смеж-

ные трещины. Разность относительных деформаций бетона и арматуры после передачи напряжений с бетона определяет в арматуре дополнительное напряжение. Величина дополнительного напряжения изменяется по длине растянутого бетонного блока в зависимости от его значения в поперечном сечении с трещиной и значения взаимного сдвига арматуры и бетона. Дополнительное напряжение в арматуре, обусловленное возникшей разностью относительных деформаций между растянутой арматурой и бетоном, приводит к новому равновесному состоянию поперечного сечения. При этом изгибающий момент от внешней нагрузки в поперечном сечении непосредственно перед и после образования трещины нормального отрыва практически не изменяется. В отличие от центрально растянутых в изгибаемых железобетонных элементах этот переход в поперечном сечении, связанный с образованием трещины нормального отрыва, происходит более плавно. В [9] это явление называется «дополнительным состоянием», в [10] – «погашением обжатия в бетоне». В деформационной модели влияние дополнительного напряжения в арматуре учитывают, задавая соответствующее дополнительное напряжение (относительные деформации) арматурным стержням (аналогично моделированию предварительного напряжения арматуры [7]) (рисунок 3). Вычислив дополнительные относительные деформации (напряжения) в арматуре по длине участка ее сдвига в бетоне растянутой зоны, учитывая, согласно деформационной модели, новое равновесное состояние любого поперечного сечения (в том числе и сечения с трещиной), устанавливается соответствие распределения относительных деформаций бетона и арматуры по высоте поперечных сечений в соответствии с гипотезой плоских сечений.

Блочная расчетная модель изгибаемого железобетонного элемента, усиленного внешним армированием композитными материалами

Описывает параметры напряженно-деформированного состояния железобетона между трещинами [11–15]. Исходными данными, кроме характеристик бетона, стержневой и композитной арматуры, являются напряжения (относительные деформации) в основной σ_s и дополнительной арматуре $\sigma_{s,ad}$ в поперечном сечении с трещиной, вычисленные при заданном изгибающем моменте M или $(M + \Delta M)$ соответственно по уравнениям (1) или (2).

Основными предпосылками модели применительно к изгибаемому элементу, усиленному в растянутой зоне внешним композитным армированием, являются [6]: изгибаемый железобетонный элемент – совокупность железобетонных блоков, разделенных в растянутой зоне трещинами нормального отрыва и связанных между собой бетоном сжатой зоны и растянутой арматурой (стальной стержневой и композитной плоской); арматура и бетон растянутой зоны работают совместно в соответствии с законами сцепления [16, 17], устанавливающими зависимость касательных напряжений по площади контакта стержневой арматуры диаметром \varnothing и внешней композитной арматуры толщиной t_{ad} с бетоном от их взаимного сдвига $\tau(S)$ и $\tau_{ad}(S_{ad})$; напряжения в бетоне растянутой зоны распределяются равномерно по эффективной площади $A_{c,eff}$. Для любого поперечного сечения блока суммарное усилие N в растянутом бетоне N_c , стержневой арматуре N_s и композитной арматуре $N_{s,ad}$ постоянно на всей длине блока.



а) модель поперечного сечения элемента; б) относительные деформации и напряжения перед образованием трещины; в) после приложения дополнительной относительной деформации (напряжения) от взаимного сдвига бетона и арматуры; г) после образования трещины

Рисунок 3 – Моделирование влияния дополнительного напряжения в арматуре на равновесное состояние участка бетонного блока изгибаемого элемента без трещины (1 – до усиления; 2 – после усиления внешним композитным армированием)

$$\begin{cases} \frac{d}{dx} S_{s,red} = \epsilon_{s,red}(\sigma_s, \sigma_{s,ad}) - \epsilon_{ct} \left(\frac{N - \sigma_s A_s - \sigma_{s,ad} A_{s,ad}}{A_{c,eff}} \right) \\ \frac{d}{dx} \sigma_s = \frac{4}{\phi} \cdot \tau(s) \\ \frac{d}{dx} \sigma_{s,ad} = \frac{\tau_{ad}(s_{ad})}{t_{ad}} \end{cases} \quad (8)$$

Относительные деформации приведенного армирования $\epsilon_{s,red}$, состоящего из стальной стержневой и внешней композитной арматуры, на уровне наиболее растянутой грани изгибаемого железобетонного элемента, используемые в системе уравнений (8), вычисляются по формуле

$$\epsilon_{s,red}(\sigma_s, \sigma_{s,ad}) = \frac{(\sigma_s A_s + \sigma_{s,ad} A_{s,ad})^2}{(\sigma_s A_s E_s + \sigma_{s,ad} A_{s,ad} E_{s,ad}) A_{s,red}} \quad (9)$$

где

$$A_{s,red} = \frac{A_s E_s (y_s - y_{0,ad}) + A_{s,ad} E_{s,ad} (y_{s,ad} - y_{0,ad})}{E_s (y_s - y_{0,ad}) + E_{s,ad} (y_{s,ad} - y_{0,ad})} \quad (10)$$

Распределение относительных деформаций растянутого бетона и арматуры исходного (до усиления) изгибаемого элемента по длине бетонного блока описывается системой уравнений (решается последовательными приближениями метода конечных разностей (рисунок 4)).

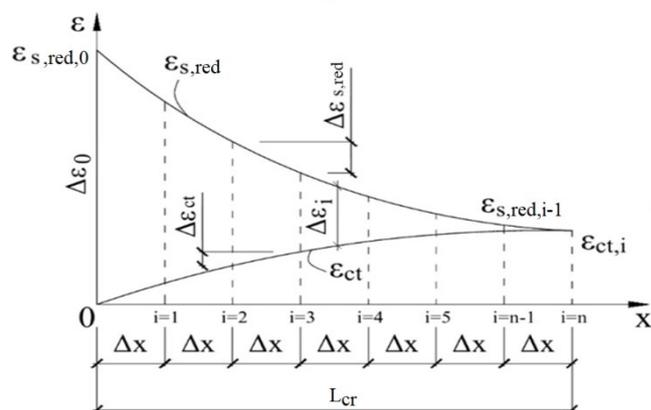


Рисунок 4 – Распределение относительных деформаций бетона и арматуры в железобетонном блоке со стороны трещины изгибаемого железобетонного элемента, усиленного в растянутой зоне внешним композитным армированием

$$\begin{cases} \frac{d}{dx} S = \epsilon_s(\sigma_s) - \epsilon_{ct} \left(\frac{N - \sigma_s \cdot A_s}{A_{c,eff}} \right) \\ \frac{d}{dx} \sigma_s = \frac{4}{\phi} \cdot \tau(s) \end{cases} \quad (7)$$

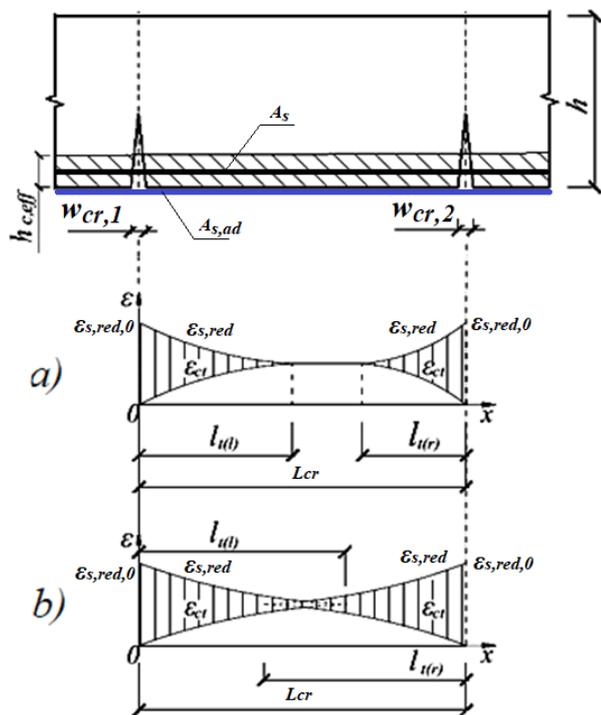
После усиления изгибаемого элемента система уравнений для распределения относительных деформаций растянутого бетона и приведенной арматуры по длине блока имеет вид (рисунок 5)).

Возможны следующие стадии трещинообразования в работе изгибаемого железобетонного элемента, усиленного в растянутой зоне внешним композитным армированием, под нагрузкой: первая – неустановившегося трещинообразования, когда при увеличении изгибающего момента по длине исходного железобетонного элемента появляются трещины нормального отрыва; вторая – установившегося трещинообразования, когда количество трещин практически не увеличивается (происходит перераспределение усилий между арматурой и бетоном по длине железобетонного блока в соответствии с взаимными сдвигами из-за нарушения сцепления).

На первой стадии трещинообразования в железобетонном блоке относительные деформации бетона не превышают значений предельной растяжимости бетона, т. е. зоны сдвигов (перераспределения) со стороны двух смежных трещин не перекрываются (рисунок 5а). При увеличении изгибающего момента относительные деформации бетона на уровне центра тяжести арматуры в зоне совместного деформирования достигают значений

$\varepsilon_{ctm,u}$, происходит деление новыми трещинами нормального отрыва на более мелкие железобетонные блоки.

На второй стадии трещинообразования по всей длине железобетонного блока относительные деформации бетона на уровне центра тяжести арматуры $\varepsilon_{ctm} \leq \varepsilon_{ctm,u}$, т. е. зоны перераспределения двух смежных трещин перекрываются (рисунок 5б). При увеличении изгибающего момента от внешней нагрузки происходят взаимные сдвиги арматуры и бетона (что проявляется в раскрытии трещин) и перераспределение усилий с бетона на арматуру.



а – на первой стадии трещинообразования;
б – на второй стадия трещинообразования

Рисунок 5 – Распределение относительных деформаций бетона и арматуры по длине железобетонного блока изгибаемого элемента после усиления внешним композитным армированием

$$(EI)_i = \left[\sum E_{c,s} A_{c,s} (y_{c,s} - y_{0,ad})^2 \right]_i + [E_{s,ad} A_{s,ad} (y_{s,ad} - y_{0,ad})^2]_i + \left[\sum E_{c,s} A_{c,s} (y_{c,s} - y_{0,ad})^2 \right]_{i+1} + [E_{s,ad} A_{s,ad} (y_{s,ad} - y_{0,ad})^2]_{i+1} / 2 \quad (12)$$

Экспериментальная проверка

Экспериментально-теоретическое исследование изгибаемых железобетонных конструкций, усиленных в растянутой зоне внешним композитным армированием под нагрузкой увеличением поперечного сечения в растянутой зоне, включало испытание опытных балок и расчеты на основе разработанной методики.

Общий объем эксперимента включал в себя испытания 6 опытных балок размером 80 x 160 x 1500 мм прямоугольного поперечного сечения. Размеры опытных балок определялись мощностью имеющихся пружинных установок для создания длительной нагрузки, имитирующей нагрузку при усилении. Опытные балки были усилены приклеиванием композитного материала в виде холстов из стеклоткани к растянутой грани. Кроме того, для сопоставления была предусмотрена балка (БЭ-1-3), которая испытывалась без усиления.

После усиления изгибаемого элемента (при отсутствии трещин нормального отрыва в момент времени включения в совместную работу внешнего композитного армирования) в перераспределении усилий между бетоном растянутой зоны и арматурой принимает участие дополнительная внешняя композитная арматура. Степень ее участия определяется ее геометрическими параметрами (шириной b_{ad} , толщиной t_{ad}), модулем деформаций $E_{s,ad}$ и законом сцепления с бетоном $\tau_{ad}(s_{ad})$ [16-21]. Дополнительное напряжение в арматуре, обусловленное возникшей разностью относительных деформаций между растянутой приведенной арматурой и бетоном, прикладывается на уровне наиболее растянутой грани изгибаемого элемента, к которой приклеена внешняя композитная арматура (рисунок 4б).

После усиления изгибаемого элемента при наличии трещин нормального отрыва (без их инъектирования в процессе усиления) имеющиеся трещины продолжают развиваться аналогично первой и второй стадиям трещинообразования исходного изгибаемого железобетонного элемента.

Ширина раскрытия трещины нормального отрыва вычисляется как сумма взаимных смещений $S(x)$ стержневой арматуры и растянутого бетона (на уровне ее центра тяжести) в смежных железобетонных блоках по длине зон перераспределения l_t слева (l) и справа (r) от краев трещины:

$$w = \int_{-l_t(l)}^{l_t(r)} s(x) dx = \int_{-l_t(l)}^{l_t(r)} [\varepsilon_s(x) - \varepsilon_{ct}(x)] dx. \quad (11)$$

Коэффициент ψ_s , учитывающий влияние растянутого бетона железобетонного блока между трещинами на работу арматуры (для трансформирования ее диаграммы деформирования после появления трещин), может быть вычислен как отношение площади эпюры напряжений арматуры на его длине к площади трапециевидной эпюры с ординатами-напряжениями в поперечных сечениях с трещинами по концам железобетонного блока.

Вычисление жесткости участка по длине изгибаемого железобетонного элемента с трещинами для вычисления прогибов производится с учетом работы растянутого бетона как среднее значение суммы жесткостей элементарных площадок бетона и арматуры по границам участка:

Опытные балки изготавливали из обычного бетона, прочностные и деформационные характеристики которого определяли при испытании специальных образцов (призм, балочек).

В качестве рабочей продольной арматуры опытных балок использовалась горячекатаная стержневая арматура периодического профиля диаметром 12 мм ($A_s=112.8$ мм²). Дополнительное армирование при усилении растянутой зоны опытных балок было принято из 2-х или 3-х слоев стеклоткани СТ-13 на эпоксидном клее. Степень армирования опытных балок, приведенная к расчетному сопротивлению арматуры основной конструкции, до усиления и после усиления соответственно составляла 1.01 % и 1.1 % (при двухслойном стеклопластике), 1.18 % (при трехслойном стеклопластике).

Прочностные и деформационные характеристики стержневой арматуры и стеклопластика (по методике [22]) балок определялись испытанием на растяжение и составляли: $\sigma_y = 673$ МПа,

$\sigma_u = 747$ МПа, $E_s = 2.01.105$ МПа; для стеклопластика из 2-х слоев стеклоткани - $N_{u,ad} = 92$ Н/мм, $E_{s,ad} = 3.65.104$ МПа; для стеклопластика из 3-х слоев стеклоткани - $N_{u,ad} = 164$ Н/мм, $E_{s,ad} = 3.9.104$ МПа.

Совместная работа дополнительной композитной арматуры в растянутой зоне усиливаемых опытных балок обеспечивалась путем приклеивания к подготовленной поверхности растянутой грани балок.

В качестве варьируемых факторов были приняты: относительный изгибающий момент от статической нагрузки в момент усиления M/M_u (0; 0.24; 0.7; 0.9) (значения M_u , определялись расчетом по

фактическим характеристикам опытных балок) и количество слоев стеклопластика, с тем, чтобы выявить основные закономерности работы усиленных внешним композитным армированием в растянутой зоне изгибаемых железобетонных элементов в процессе нагружения, а во-вторых, установить влияние основных факторов (нагрузки при усилении) на параметры напряженно-деформированного состояния усиленных в растянутой зоне изгибаемых железобетонных элементов. Номенклатура, геометрические размеры сечения и характеристики материалов опытных балок приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Номенклатура, геометрические размеры поперечных сечений и характеристики материалов опытных балок

Шифр балки	Геометрические размеры поперечного сечения балки					Бетон балки			Характеристики стеклопластика		Нагрузка при усилении $\frac{M}{M_u}$
	$b, \text{ мм}$	$h, \text{ мм}$	$d, \text{ мм}$	$d_{ad}, \text{ мм}$	$b_{s,ad}, \text{ мм}$	$f_{cm}, \text{ МПа}$	$f_{ctm}, \text{ МПа}$	$E_c \cdot 10^3, \text{ МПа}$	$N_{u,ad}, \text{ Н/мм}$	$E_{s,ad} \cdot 10^4, \text{ МПа}$	
БЭ-1-3	80	160	138	–	–	21.8	1.9	34.1	–	–	–
Б-1-3	81	162	141	163	80	21.4	1.93	32.3	92	3.65	0
Б-2-3	81	159	140	160	80	21.8	1.9	34.1	92	3.65	0.24
Б-3-3	80	162	140	163	80	21.4	1.93	32.3	92	3.65	0.7
Б-4-3	84	160	140	161	80	25.2	2.05	34.3	164	3.9	0.9
Б-5-3	84	162	142	163	80	25.2	2.05	34.3	164	3.9	0.7
Б-6-3	80	158	138	159	80	21.8	1.9	34.1	92	3.65	0.9

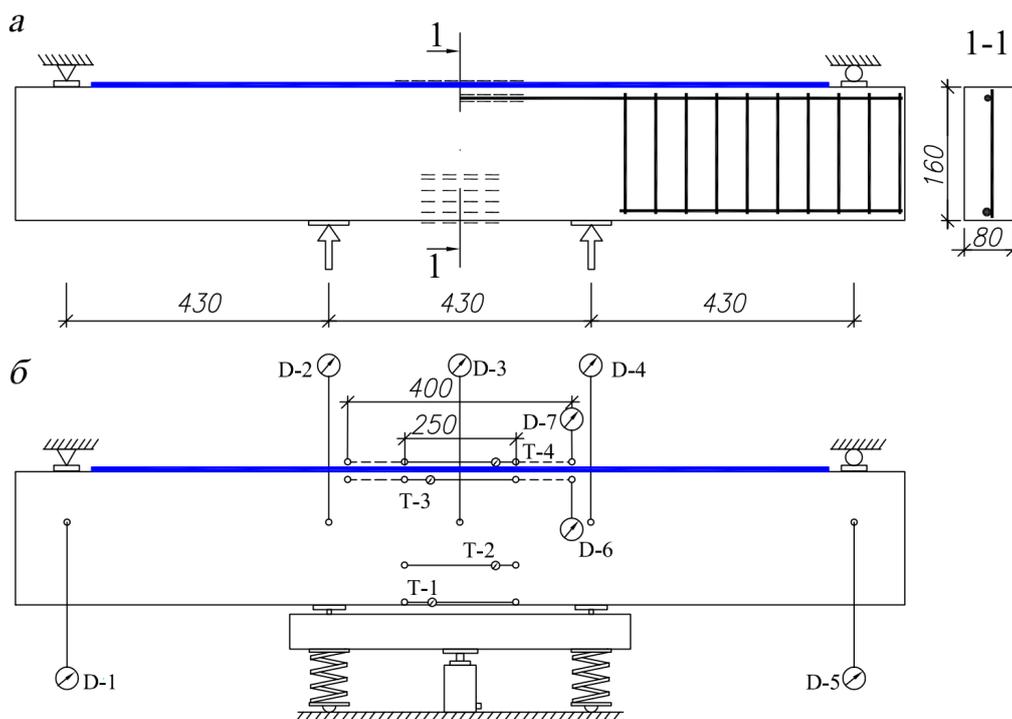
С целью удобства при приклеивании внешней композитной арматуры в растянутой зоне предварительное нагружение при усилении и испытание опытных балок производилось на испытательном стенде с ориентацией растянутой грани балок вверх.

Опытные балки, имеющие нормальные трещины в растянутой зоне перед усилением, подвергались инъектированию трещин с помощью клея на основе эпоксидной смолы. Для этого берега трещин разделялись, по боковым граням оштукатуривались, а затем со

стороны растянутой грани производилось нагнетание клея с помощью ручного нагнетательного шприца.

Опытные балки испытывали по однопролетной балочной схеме нагружением двумя сосредоточенными силами, приложенными в третях пролета.

Конструкция опытных балок, размещение приборов и схема испытания при действии кратковременной статической нагрузки представлены на рисунке 6.



а – конструкция опытных балок, расположение тензодатчиков на бетоне и арматуре; **б** – схема испытания при действии кратковременной нагрузки, расположение прогибометров, тензометров

Рисунок 6 - Схема испытания опытных балок, усиленных в растянутой зоне внешним композитным армированием

Относительные деформации бетона, стержневой и внешней композитной арматуры опытных балок измерялись с помощью тензодатчиков, механических тензометров, индикаторов часового типа. При этом для определения осевых деформаций тензодатчики устанавливались на верхней и нижней фибрах арматурного стержня с последующей их гидро-изоляция. Прогобы и ширина раскрытия трещин опытных балок измерялись с помощью соответственно прогибометров и отсчетного микроскопа.

Разрушение опытных балок, усиленных внешним композитным армированием стеклопластиком без предварительного нагружения или при низком его уровне (Б-1-3, Б-2-3, Б-5-3), сопровождалось разрывом стекловолокон внешнего композитного армирования при нормальных напряжениях в стержневой арматуре менее ее предела текучести, но балки продолжали нести увеличивающуюся нагрузку, компенсируя потерю усилия в растянутой зоне из-за разрушения композитной арматуры приращением усилия в стержневой арматуре, достигая в ней напряжений, превышающих ее предел текучести. Опытные балки Б-3-3, Б-4-3, Б-6-3 разрушились по сжатой зоне при напряжениях в стержневой арматуре, превышающих ее предел текучести, и напряжениях в композитной арматуре менее ее временного сопротивления. Нарушения сплошности контакта в месте приклеивания стеклопластика на нижней грани в припорных зонах опытных балок не наблюдалось вплоть до их разрушения. Вид опытных балок после разрушения приведен на рисунке 7.

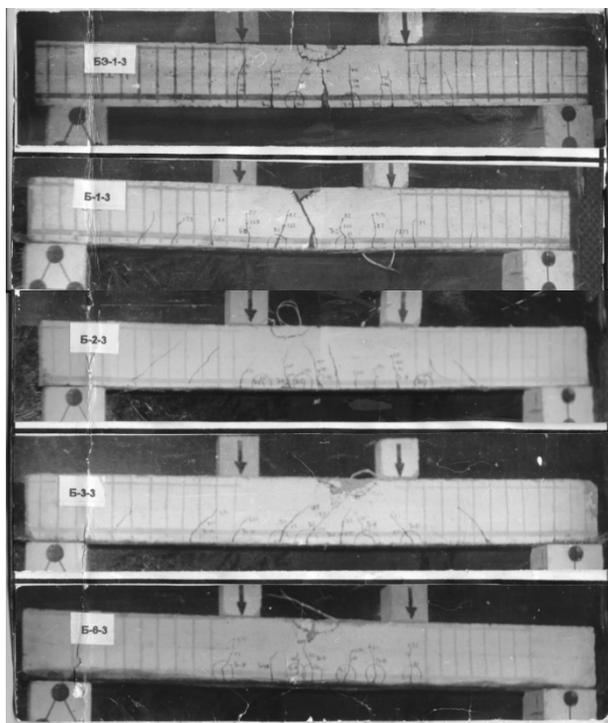


Рисунок 7 – Вид после разрушения опытных балок, усиленных в растянутой зоне внешним композитным армированием

При испытании опытных балок, усиленных композитным армированием стеклопластиком с инъектированием трещин под нагрузкой, установлено, что трещины нормального отрыва в бетоне растянутой зоне образовывались в продолжение или в непосредственной близости от инъектированных трещин балки. Наиболее отчетливо это проявлялось для опытных балок, усиленных при высоком уровне предварительного нагружения, что объясняется низкой степенью адгезии клея для инъектирования к бетону по сравнению с прочностью бетона при растяжении.

Тензодатчики на стержнях продольной арматуры фиксировали неравномерность деформаций по длине зоны чистого изгиба: в сечении с трещиной нормального отрыва значения деформации превышали в 1.6...2 раза значения, измеренные в сечении между тре-

щинами. Разработанная методика расчета коэффициента ψ_s позволяет получить его значение коэффициента для арматуры основной конструкции и дополнительной внешней композитной арматуры, включаемой в совместную работу на более поздней стадии нагружения. Определение коэффициента ψ_s в экспериментальных исследованиях производилось по результатам измерений относительных деформаций по длине стержневой и внешней композитной арматуры:

$$\psi_s = \frac{\epsilon_{sm}}{\epsilon_s}; \quad \psi_{s,ad} = \frac{\epsilon_{sm,ad}}{\epsilon_{s,ad}}, \quad (13)$$

где ϵ_s и $\epsilon_{s,ad}$ – средние значения измеренных относительных деформаций соответственно стержневой и внешней композитной арматуры на длине бетонного блока между трещинами; ϵ_s и $\epsilon_{s,ad}$ – измеренные относительные деформации в поперечном сечении с трещиной соответственно стержневой и внешней композитной арматуры.

Сопоставление значений коэффициентов ψ_s и $\psi_{s,ad}$, вычисленных по опытным значениям для исследуемых балок по формулам (13) с расчетными значениями по предлагаемой методике, дает удовлетворительное согласование (расхождение на всех этапах нагружения не превышает 21 %).

По экспериментальным данным для сопоставления с расчетными значениями для опытных балок построены зависимости кривизны $1/r$ и ширины раскрытия трещин W_{cr} (рисунок 8). Расчетные значения названных величин хорошо согласуются с опытными данными для всех балок. Предлагаемая физическая модель расчета на основе общей деформационной модели метода сечений и блочной модели изгибаемых железобетонных элементов, усиленных в растянутой зоне внешним композитным армированием, позволяет получить параметры напряженно-деформированного состояния на любой стадии работы конструкции вплоть до разрушения.

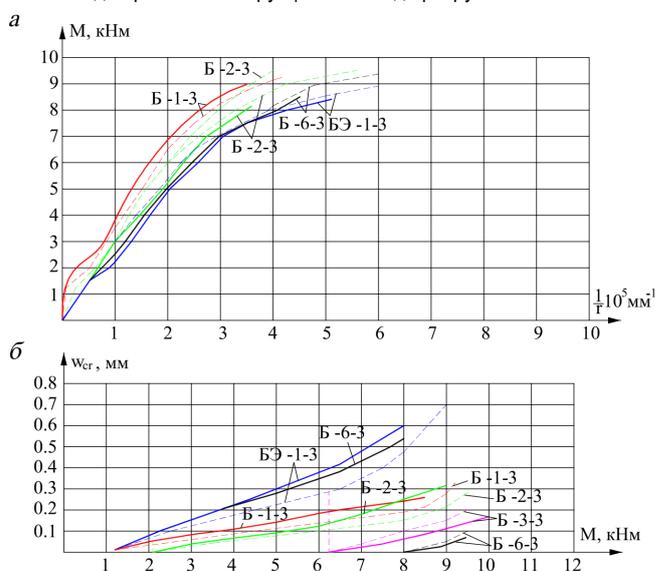


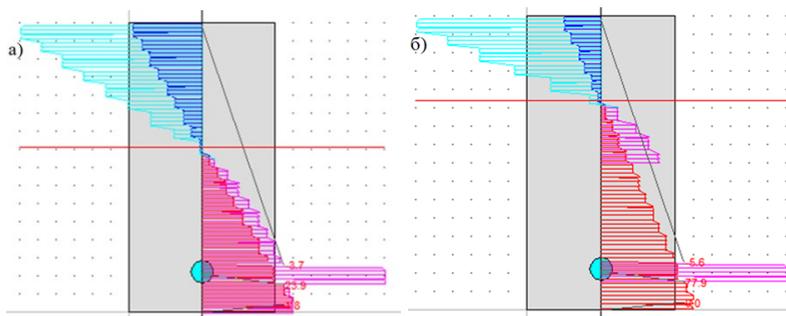
Рисунок 8 – Зависимость кривизны в середине пролета (а) и ширины раскрытия трещин (б) от изгибающего момента для опытных балок: _____ – опытная; - - - - - расчетная

Для исходных данных опытной балки БЭ-1-3 построена зависимость изгибающего момента образования трещин от дополнительного напряжения в растянутой арматуре при передаче их на арматуру с бетона. Важным эффектом в поперечных сечениях без трещины с дополнительным напряжением в растянутой арматуре является повышение изгибающего момента трещинообразования при увеличении нагрузки (рисунок 9).

Рассмотрим напряженно-деформированное состояние поперечного сечения с трещиной на примере опытной балки БЭ-1-3. На рисунке 10а представлены распределение относительных деформаций и напряжений в поперечном сечении, где возможно появление трещины на первой стадии трещинообразования. Трещина нормального отрыва появляется в растянутом бетоне в поперечном сечении, где растягивающие относительные деформации в бетоне приближаются к предельным. После появления трещины (рисунок 10б) напряжения с бетона растянутой зоны передаются на арматуру, в результате чего напряжения в арматуре резко увеличиваются с 23,9МПа до 77,9МПа. Нейтральная линия смещается в направлении сжатой зоны.



Рисунок 9 – Зависимость изгибающего момента образования трещины от дополнительного напряжения в растянутой арматуре

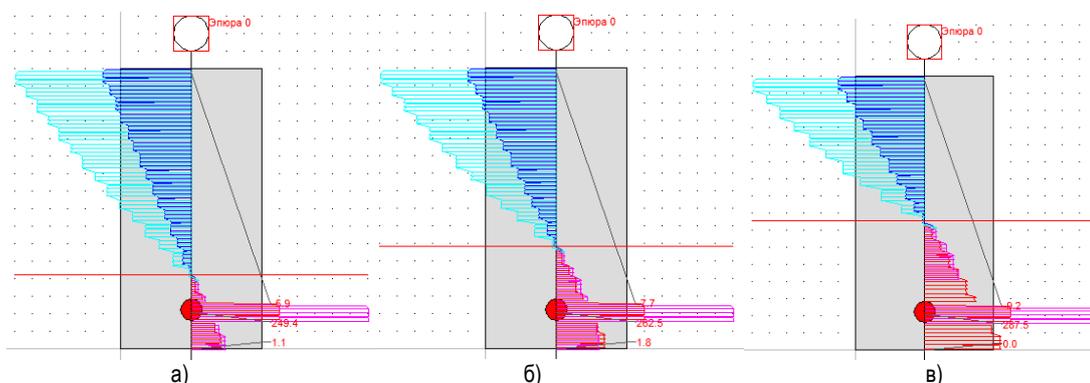


а) перед образованием трещины в растянутом блоке между трещинами; б) после образования трещины; (цифры на выносных линиях – нормальные напряжения в МПа) (синим и красным цветом показано распределение по высоте поперечного сечения относительных деформаций соответственно в сжатой и растянутой зонах; голубым и розовым – аналогично, нормальных напряжений)

Рисунок 10 – Моделирование напряженно-деформированного состояния в поперечном сечении изгибаемого элемента на первой стадии трещинообразования

На второй стадии трещинообразования трещина появляется в растянутом блоке в поперечном сечении между уже имеющимися трещинами, где дополнительное напряжение в результате взаимного сдвига арматуры и растянутого бетона не равно нулю. Например, дополнительное напряжение в арматуре от ближайшей трещины 214МПа, что соответствует изгибающему моменту перед трещино-

образованием 3кНм (рисунок 9) и суммарному напряжению в арматуре $214+35,4=249,4$ МПа. Далее при увеличении нагрузки при изгибающем моменте 3,6кНм появляется вторичная трещина, напряжения в арматуре в этом поперечном сечении резко возрастают до 275МПа, нейтральная ось также смещается в направлении сжатой зоны (рисунок 11в).



а) состояние сечения при дополнительном напряжении от ближайшей трещины 214МПа б) перед образованием трещины в растянутом блоке между трещинами; в) после образования трещины; (цифры на выносных линиях – нормальные напряжения в МПа) (синим и красным цветом показано распределение по высоте поперечного сечения относительных деформаций соответственно в сжатой и растянутой зонах; голубым и розовым - аналогично, нормальных напряжений)

Рисунок 11 – Моделирование напряженно-деформированного состояния в поперечном сечении изгибаемого элемента на второй стадии трещинообразования

За разрушающий изгибающий момент согласно разработанной теории расчета принят изгибающий момент, соответствующий нефизическому или условному (с учетом коэффициента $\gamma_{сб}$) пределу текучести арматуры, а максимальному значению приложенной нагрузки. Испытания опытных балок подтвердили правильность принятого критерия разрушения для усиленных железобетонных конструкций. При разрушении конструкций, усиленных под нагрузкой из-за разгружающего действия дополнительной арматуры, включаемой в совместную работу на более поздней стадии, арматура основной конструкции достигает более высоких значений сопротивления. Это может происходить также и в неусиленной конструкции,

когда для армирования используется арматура разных классов или располагается в несколько рядов по высоте сечения.

Сопоставление опытных и расчетных значений разрушающего изгибающего момента, момента образования трещин, средней ширины раскрытия трещин нормального отрыва на уровне центра тяжести стержневой арматуры и прогибов, определенных по разработанной методике расчета приведены в таблице 2. При этом сопоставление ширины раскрытия трещин и прогибов производилось для уровня эксплуатационных нагрузок, составляющих 0,8 от значений расчетных разрушающих нагрузок, которые определяли по разработанной методике с использованием расчетных диаграмм деформирования бетона и арматуры, т. е. как при реальном проектировании.

Таблица 2 – Расчет разрушающего изгибающего момента, момента образования, ширины раскрытия трещин и прогибов опытных балок

Шифр балки	M_u^{exp} кНм	M_u^{th} кНм	M_u^{exp}	M_{cr}^{ex} кНм	M_{cr}^{th} кНм	M_{cr}^{exp}	W_{cr}^{exp} мм	W_{cr}^{th} мм	W_{crc}^{exp}	a^{exp} мм	a^{th} мм	a^{exp}
			M_u^{th}			M_{cr}^{th}			W_{crc}^{th}			a^{th}
БЭ-1-3	8.5	9.0	0.94	1.2	1.2	1.0	0.34	0.31	1.1	5.16	6.11	0.84
Б-1-3	9.0	9.0	1.0	1.3	1.25	1.04	0.19	0.24	0.8	3.65	3.78	0.96
Б-2-3	9.0	9.0	1.0	1.2	1.2	1.0	0.11*	0.11*	1.0	3.80	4.21	0.9
Б-3-3	9.0	9.0	1.0	1.2	1.2	1.0	0.04*	0.03*	1.13	4.49	4.95	0.91
Б-4-3	10.0	11.3	0.89	1.3	1.25	1.04	0.02*	0.02*	1.0	6.72	6.84	0.98
Б-5-3	10.5	9.8	1.07	1.4	1.25	1.12	0.18	0.2	0.9	5.13	5.46	0.94
Б-6-3	8.8	9.0	0.98	1.2	1.2	1.0	0.01*	0.01*	1.0	7.95	7.16	1.11

Примечание * раскрытие трещин, измеренное и рассчитанное с учетом их инъецирования

Сравнение расчетных значений названных параметров напряженно-деформированного состояния изгибаемых железобетонных элементов, усиленных в растянутой зоне внешним армированием композитным материалом (стеклопластиком) с опытными данными, показывает их удовлетворительную сходимость.

Экспериментально установлено, что степень предварительного нагружения перед усилением опытных балок внешним композитным армированием при принятом в исследовании соотношении предельных усилий в стержневой и композитной арматуре практически не влияет на их несущую способность. В то же время предварительное нагружение в момент усиления существенно повышает деформативность опытных балок и ширину раскрытия трещин в эксплуатационной стадии (таблица 2). Инъецирование трещин перед усилением балок позволило существенно уменьшить ширину их раскрытия в эксплуатационной стадии.

Заключение

На основе объединения общей деформационной и блочной моделей [23, 24] предложена методика расчета изгибаемых железобетонных элементов, усиленных в растянутой зоне внешним армированием композитными материалами под нагрузкой, позволяющая получать параметры их напряженно-деформированного состояния на любой стадии работы под нагрузкой при любом сочетании предельных усилий в стержневой и композитной арматуре, в любом поперечном сечении, включая поперечное сечение между трещинами.

Для изгибаемых железобетонных элементов, усиленных в растянутой зоне внешним композитным армированием, предложена модель учета работы растянутого бетона между трещинами наложением дополнительного напряжения в арматуре, обусловленного возникшей разностью относительных деформаций между растянутой арматурой и бетоном при образовании трещины нормального отрыва.

Проведенные исследования экспериментально подтвердили теоретические положения методики расчета, учитывающей закономерности деформирования изгибаемых железобетонных элементов, усиленных в растянутой зоне внешним армированием композитными материалами под нагрузкой.

Экспериментально установлено, что степень предварительного нагружения перед усилением изгибаемых железобетонных элементов, усиленных внешним композитным армированием, увеличивает их деформативность и ширину раскрытия трещин нормального отрыва.

Список цитированных источников

1. Шилин, В. А. Внешнее армирование железобетонных конструкций композиционными материалами А. А. Шилин, В. А. Пшеничный, Д. В. Картузов. – М. : Стройиздат, 2007 – 180 с.
2. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами: СП 164.1325800.2014. – Правила проектирования / Минстрой России. – Москва, 2015. – 51 с.
3. Лазовский, Д. Н. Усиление железобетонных конструкций эксплуатируемых строительных сооружений / Д. Н. Лазовский. – Новополоцк : Изд-во Полоцкого гос. ун-та, 1998. – 240 с.
4. Бетонные и железобетонные конструкции: СНиП 2.03.01-84 Нормы проектирования / Госстрой СССР. – Москва : ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 80 с.
5. Пособие П1-98 к СНиП 2.03.01-84. Усиление железобетонных конструкций / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 1993. – 189 с.
6. Лазовский, А. Д. Сопротивление изгибу железобетонных многослойных плит перекрытий безопалубочного формования в составе платформенных стыков зданий. - дисс.... канд. техн. наук / А. Д. Лазовский. – Новополоцк, 2017. – 152 с.
7. Статически неопределимые железобетонные конструкции. Диаграммные методы автоматизированного расчета и проектирования: методическое пособие. – Москва : Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, 2017. – 197 с.
8. Bortolotti L. First Cracking Load of Concrete Subjected to Direct Tension / L. Bortolotti // ACI Materials Journal. – 1991. – Vol. 88, №1. – P. 70–73.
9. Kolleger J. Comparison of Fixed and Rotating Crack Models in the Analysis of Panels, Plates and Shells Subjected to Shear / J. Kolleger // Proceedings Symposium in Concrete Shear in Earthquake, Houston. – P. 216–225.
10. Тур, В. В. Прочность и деформации бетона в расчетах конструкций: монография / В. В. Тур, Н. А. Рак. – Брест: Издательство БГТУ, 2003. – 252 с.
11. Westergaard, H. M. Computation of Stresses in Bridge Slabs Due to Wheel Loads / H. M. Westergaard. – Public Roads. – Vol. 11, № 1. – March. – 1930. – P. 1–23.

12. Васильев, П. И. Раскрытие швов и трещин в массивных бетонных конструкциях / П. И. Васильев, Е. Н. Пересыпкин // Аннотации законченных в 1967 г. научно-исследовательских работ по гидротехнике. – Ленинград : Энергия, 1968. – С. 292–294.
13. Починок, Ю. В. Блочная деформационная модель в расчетах железобетонных стержневых изгибаемых элементов с трещинами : дисс.... канд. техн. наук / Ю. В. Починок. – Ростов на Дону, 2004. – 241 с.
14. Croce, P. Numerical Simulation of the Behavior of Cracked Reinforced Concrete Members / P. Croce, P. Formichi // Materials Sciences and Applications. – 2014. – № 5. – P. 883–894.
15. Lowes, L. N. Concrete-Steel Bond Model for Use in Finite Element Modeling of Reinforced Concrete Structures / L. N. Lowes, J. P. Moehle, S. Govindjee // ACI Structural Journal. – July–August, 2004. – P. 501–511.
16. CEB-FIB Model Code for Concrete Structures/-2010.
17. Bond-slip models for FRP sheets/plates bonded to concrete / X.Z. Lu [et. al] // Engineering Structures. – 2005. – № 27. – P. 920–937.
18. ASCE Flexural and Interfacial Behavior of FRP-Strengthened Reinforced Concrete Beams H. A. Baky [et. al] // Journal of Composites for Construction © ASCE / November/December. – 2007. – P. 629–639.
19. Chao, M. Bond Properties of FRP Fabrics and Concrete joints / M. Chao, F. Ansari – 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada, August 1–6, 2004. – Paper No. 35.
20. Bond–Slip Relationship for CFRP Sheets Externally Bonded to Concrete under Cyclic Loading / K. Li [et. al]. – Materials. – 2018, 11, 336.
21. Flexural Strengthening of RC Beams with Externally Bonded CFRP Systems: Test Results and 3D Nonlinear FE Analysis / R. Kotynia. [et. al]. – Journal of Composites for Construction © ASCE / 2008. – March/April. – P. 190–201.
22. Щербо, А. Г. Усиление изгибаемых стальных и сталебетонных строительных конструкций композиционными материалами / А. Г. Щербо, А. Д. Лазовский // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F, Строительство. Прикладные науки. – 2008. – № 12. – С. 70–80.
23. Расчетная модель напряженно-деформированного состояния статически неопределимых железобетонных конструкций // Д. Н. Лазовский [и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F, Строительство. Прикладные науки. – 2022 г., № 14(32). – С. 29–44.
24. Lazouski, D. Modeling of Behavior of the Bending Reinforced Concrete Structures Under Load / D. Lazouski [et. al] // Sustainable and Digital Building/ Proceedings of the International Conference, 2022 // Editors: F.Gaspar, A.Mateus. -Springer. – Switzerland AG. – 2023 – P. 279–291.
7. Statically indeterminate reinforced concrete structures. Diagrammatic methods of automated calculation and design: a methodological manual. – Moscow: Ministry of Construction and Municipal Economy of the Russian Federation. – 2017. – 197 s.
8. Bortolotti L. First Cracking Load of Concrete Subjected to Direct Tension / L. Bortolotti // ACI Materials Journal. – 1991. – V.88, №1. – P. 70–73.
9. Kolleger J. Comparison of Fixed and Rotating Crack Models in the Analysis of Panels, Plates and Shells Subjected to Shear / J. Kolleger // Proceedings Symposium on Concrete Shear in Earthquake, Houston. – P 216–225.
10. Tur, V. V. Prochnost' i deformacii betona v raschetah konstrukcij: monografiya / V. V. Tur, N. A. Rak. – Brest: Izdatel'stvo BGUT, 2003. – 252 s.
11. Westergaard, H. M. Computation of Stresses in Bridge Slabs Due to Wheel Loads / H. M. Westergaard. – Public Roads. – Vol. 11, № 1. – March. – 1930. – P 1–23.
12. Vasil'ev, P. I. Raskrytie shvov i treshchin v massivnyh betonnyh konstrukcijah / P. I. Vasil'ev, E. N. Peresypkin // Annotacii zakonchennyh v 1967 g. nauchno-issledovatel'skih rabot po gidrotekhnike. – Leningrad: Energiya. – 1968. – S. 292–294.
13. Pochinok, YU. V. Blochnaya deformacionnaya model' v raschetah zhelezobetonnyh stержnevnyh izgibaemyh elementov s treshchinami: diss.... kand. tekhn. nauk / YU. V. Pochinok. – Rostov na Donu. – 2004. – 241 s.
14. Croce, P. Numerical Simulation of the Behavior of Cracked Reinforced Concrete Members / P. Croce, P. Formichi. – Materials Sciences and Applications. – 2014. – № 5. – P. 883–894.
15. Lowes, L. N. Concrete-Steel Bond Model for Use in Finite Element Modeling of Reinforced Concrete Structures / L. N. Lowes, J. P. Moehle, S. Govindjee. – ACI Structural Journal. – July–August, 2004. – P. 501–511.
16. CEB-FIB Model Code for Concrete Structures/-2010.
17. Bond-slip models for FRP sheets/plates bonded to concrete / X.Z. Lu [et. al]. – Engineering Structures. – № 27. – 2005. – P. 920–937.
18. ASCE Flexural and Interfacial Behavior of FRP-Strengthened Reinforced Concrete Beams H. A. Baky [et. al]. – Journal of Composites for Construction © ASCE / November/December. – 2007. – P.629–639.
19. Chao, M. Bond Properties of FRP Fabrics and Concrete joints / M. Chao, F. Ansari – 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada, August 1–6, 2004. – Paper No. 35.
20. Bond–Slip Relationship for CFRP Sheets Externally Bonded to Concrete under Cyclic Loading / K. Li [et. al]. – Materials. – 2018, 11, 336.
21. Flexural Strengthening of RC Beams with Externally Bonded CFRP Systems: Test Results and 3D Nonlinear FE Analysis / R. Kotynia. [et. al]. – Journal of Composites for Construction © ASCE / 2008. – March/April. – P. 190–201.
22. SHcherbo, A. G. Usilenie izgibaemyh stal'nyh i stalebetonnyh stroitel'nyh konstrukcij kompozicionnymi materialami / A. G.SHcherbo, A. D. Lazovskij // Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F, Stroitel'stvo. Prikladnye nauki. – 2008. – № 12. – S. 70–80.
23. Raschetnaya model' napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya staticheski neopredelimyh zhelezobetonnyh konstrukcij //D. N. Lazovskij [i dr.] // Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F. Stroitel'stvo. Prikladnye nauki. – 2022 g., № 14(32). – S. 29–44.
24. Lazouski, D. Modeling of Behavior of the Bending Reinforced Concrete Structures Under Load / D. Lazouski [et. al] // Sustainable and Digital Building/ Proceedings of the International Conference, 2022 // Editors: F.Gaspar, A.Mateus. -Springer. – Switzerland AG. – 2023 – P. 279–291.

References

1. SHilin, V. A. Vneshnee armirovanie zhelezobetonnyh konstrukcij kompozicionnymi materialami A. A. SHilin, V. A. Pshenichnyj, D. V. Kartuzov. – M. : Strojizdat. – 2007 – 180 s.
2. Usilenie zhelezobetonnyh konstrukcij kompozitnymi materialami: SP 164.1325800.2014. – Pravila proektirovaniya / Ministroy Rossii. – Moskva. – 2015. – 51s.
3. Lazovskij, D. N. Usilenie zhelezobetonnyh konstrukcij ekspluatiruemnyh stroitel'nyh sooruzhenij / D. N. Lazovskij. – Novopolock: Izd-vo Polockogo gos. un-ta, 1998. – 240 s.
4. Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii: SNIp 2.03.01-84 Normy proektirovaniya / Gosstroj SSSR. – Moskva : CITP Gosstroja SSSR, 1989. – 80 s.
5. Posobie P1-98 k SNIp 2.03.01-84. Usilenie zhelezobetonnyh konstrukcij /Ministerstvo arhitektury i stroitel'stva Respubliki Belarus'. – Minsk. – 1993. – 189s.
6. Lazovskij, A. D. Soprotivlenie izgibu zhelezobetonnyh mnogopustotnyh plit perekrytij bezopalubochnogo formovaniya v sostave platformennyh stykov zdaniy.- diss.... kand. tekhn. nauk / A. D. Lazovskij. – Novopolock. – 2017. – 152 s.

Материал поступил 17.05.2023, одобрен 12.06.2023, принят к публикации 12.06.2023

УДК 624.011.01

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ ДЕРЕВЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ ПЛАСТИНАХ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ УМЕРЕННО ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

В. В. Жук¹, В. Л. Шевчук², И. П. Коцюра³, Е. А. Тишук⁴

¹ К. т. н., доцент, доцент кафедры строительных конструкций
УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: sk@bstu.by

² К. т. н., доцент, доцент кафедры строительных конструкций
УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: sk@bstu.by

³ Магистр технических наук, заведующий лабораторией (учебной) кафедры строительных конструкций
УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: starterokman@yandex.ru

⁴ Студентка группы П-356 строительного факультета УО «Брестский государственный технический университет»,
Брест, Беларусь, e-mail: katea.28112002tishuk29@gmail.com

Реферат

На основании результатов экспериментальных исследований выполнена оценка несущей способности и деформативности соединений деревянных элементов на металлических зубчатых пластинах при действии кратковременных нагрузок после воздействия высоких температур. Установлена зависимость несущей способности соединений от температуры. С помощью тепловизионной съемки установлен характер распределения температуры по поверхности древесины и металлических зубчатых пластин.

Ключевые слова: древесина, металл, пластина, зубья, сдвиг, температура, несущая способность, деформативность.

BEARING CAPACITY OF JOINTS OF WOODEN ELEMENTS ON METAL TOOTHED PLATES AFTER EXPOSURE TO MODERATELY HIGH TEMPERATURES

V. V. Zhuk, V. L. Shevchuk, I. P. Kotsiura, E. A. Tishuk

Abstract

Based on the results of experimental studies, an assessment of the bearing capacity and deformability of joints of wooden elements on metal toothed plates under the action of short-term loads after exposure to high temperatures was carried out, the dependence of the bearing capacity of the joint on temperature was established. With the help of thermal imaging, the nature of the temperature distribution over the surface of wood and metal toothed plates is established.

Keywords: wood, metal, plate, teeth, shear, temperature, bearing capacity, deformability.

Введение

Для соединения деревянных элементов наряду с традиционными механическими крепежными деталями нашли применение и металлические зубчатые пластины (МЗП), разработанные и запатентованные И. С. Юрейтом [1]. Крепежные элементы МЗП изготавливаются из оцинкованного или нержавеющей стального листа толщиной от 0,9 до 3 мм путём штамповки с отгибом зубьев в одну сторону. Пластины устанавливают попарно по обе стороны соединения в узлах или стыках деревянных элементов и запрессовывают в них в заводских условиях с помощью специальных сборочно-запрессовочных установок или мобильных устройств, которые используют в полевых условиях.

Новый вид крепежных элементов получил признание во всем мире благодаря очевидным преимуществам, таким как экономия времени и материалов при изготовлении; снижение трудоемкости заготовительно-сборочных операций; увеличение прочностных характеристик соединения по сравнению с другими соединителями; снижение требований к качеству заготовительных операций. С помощью МЗП собирают различные деревянные конструкции: стропильные системы, фермы, рамы, каркасы, опалубку для бетонных работ, ремонтируют и усиливают существующие конструкции, упрочняют дефектные места деревянных деталей, ослабленные сучками, надрезами и трещинами [1–6].

В практике проектирования и изготовления несущих деревянных конструкций прослеживается тенденция использования пиломати-

алов большого сечения, получаемых при конической распиловке с учётом естественного сбега древесины. Так, концерн «Sistembau Wolf» [7, 8] разработал несущие конструкции пролётом до 30 м из двух или трёх брусьев, соединённых по высоте с помощью дискретных связей – металлических плит типа Wolf.

Соединения деревянных элементов на металлических крепежных изделиях имеют существенный недостаток – сравнительно низкую огнестойкость. Авторы [9–11] утверждают, что при воздействии высоких температур при огневых испытаниях строительных конструкций с применением клеенных стальных стержней или после огневого воздействия пожара в зданиях с деревянными конструкциями перекрытий, где в соединениях сопряжений деревянных элементов применялись стальные нагели, болты и гвозди, температура металлических изделий стремительно растёт и, как следствие этого, происходит выгорание древесины в нагельных гнездах.

В качестве конструктивной меры защиты соединений деревянных элементов с применением металлических крепежных деталей от теплового воздействия при постановке болтов, шпилек и клеенных стержней их «втапливают» в древесину таким образом, чтобы на глубину 30–40 мм можно было бы установить деревянные пробки [12]. Металлические закладные детали, в том числе и МЗП от непосредственного воздействия огня можно защищать деревянными накладками толщиной от 20 до 42 мм [12, 13].

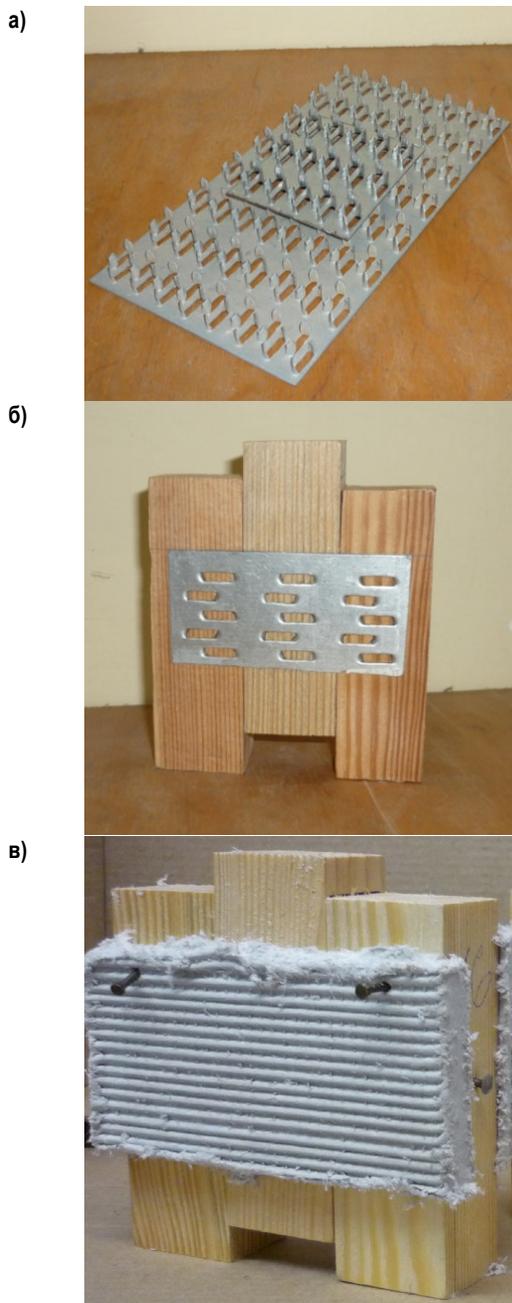
В нормативных документах, касающихся проектирования и эксплуатации деревянных конструкций, авторы не обнаружили рекомендаций, позволяющих оценить изменение несущей способно-

сти соединений на МЗП в условиях огневого воздействия.

Нами предпринята попытка в первом приближении на основе экспериментальных данных оценить влияние воздействия умеренно высоких температур на несущую способность малых образцов соединений деревянных элементов на МЗП.

Характеристика объекта исследований

Несущая способность и деформативность соединений деревянных элементов на МЗП при действии сдвигающих усилий исследовались на образцах (рисунок 1), выполненных из сосновой древесины влажностью 9 %.



а – металлическая зубчатая пластина; б – опытный образец;
в – опытный образец с защитой МЗП экраном

Рисунок 1 – Общий вид образцов соединения деревянных элементов

Для соединения деревянных элементов между собой использовались гвоздевые оцинкованные пластины российского производства (ТУ 5286-001-1114257-2013). Пластины получены путём штамповки

из стального листа толщиной 1,2 мм и имеют прямое расположение зубьев постоянной по высоте ширины – 3 мм, высота зубьев – 7 мм. Расстояние между каждой парой зубьев по длине пластины – 15,0 мм, по ширине – 3 мм, при этом чётные ряды зубьев сдвинуты по отношению к нечётным на 7,5 мм.

Запрессовку пластин выполняли с использованием универсальной испытательной машины Р-10, при этом давление запрессовки прикладывалось одновременно по всей плоскости МЗП до полного внедрения зубьев в древесину. При изготовлении опытных образцов МЗП устанавливались таким образом, чтобы плоскость зубьев совпадала с направлением волокон древесины. В этом случае несущая способность соединения при сдвиге определяется работой на смятие древесины гнезда зуба [14, 15].

Были изготовлены 15 опытных образцов, которые условно были разделены на 5 серий:

- серия I – контрольные образцы;
- серия II, III, IV – образцы для нагревания температурой 150, 200, 230 °С соответственно;
- серия V – образцы с защитой МЗП экраном из асбестокартона толщиной 5 мм для нагревания температурой 200 °С.

С учетом рекомендаций [12] для испытаний было принято минимальное число образцов – по три на каждую серию.

Методика экспериментальных исследований

В стандартных методах испытаний на огнестойкость используют печи, различающиеся между собой размерами камер, видом топлива, системой вентиляции. Следует отметить, что испытания на огнестойкость строительных конструкций обычно выполняются в испытательных центрах [9, 12]. Определение огнестойкости малых и средних образцов материалов или их соединений выполняют в специальных лабораториях [11–13, 16] при тепловом воздействии. Нагревание образца может выполняться электронагревателями, кварцевыми или кварцево-галогенными лампами, с помощью радиационных панелей [12]. В некоторых случаях, например, для определения возгораемости материала, помимо нагрева, выполняются обдув образца воздухом со скоростью $1,25 \pm 0,25$ м/с.

С целью определения температурного режима, подбора нагревательного устройства и контролирующей температуры аппаратуры изучена кинетика поведения сосновой древесины при температурном воздействии.

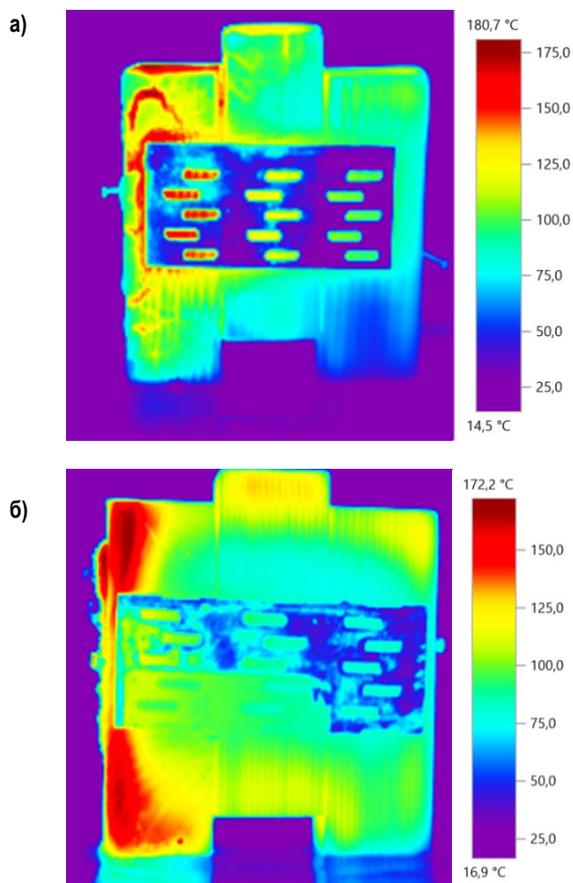
В воздушно-сухой сосновой древесине содержится более 50 % целлюлозы, около 30 % лигнина, до 2 % смолы, жиров и воска, более 4% растворимых в воде веществ и около 13 % воды [17]. По данным [13, 18–21] термоокислительная деструкция древесины характеризуется следующими интервалами. До температуры 105 °С из целлюлозы испаряется свободная влага. Стадия сушки древесины заканчивается при температуре 150 °С, после чего начинается разложение с выделением диоксида углерода, а при температуре более 200 °С – угарного газа, водорода и сгораемых углеводородов. При нагреве до 275 °С усиливается газовыделение и начинают разлагаться смолистые вещества древесины. При температуре 350 – 4500 °С происходит самовозгорание выделяющихся газов.

В лаборатории кафедры «Строительные конструкции» университета была изготовлена камера для нагревания образцов соединений деревянных элементов на МЗП. Камера представляет собой металлический корпус, выполненный из оцинкованной стали с размерами 150x160x155 (h) мм. Внутри камера облицована асбестокартоном толщиной 5 мм. Нагревание образцов выполнялось с помощью обжигателя модели 79320, предназначенного для обдувания поверхностей горячим воздухом высокой температуры. Максимальная рабочая температура – 500 °С, сила дутья – 300 л/мин. Для контроля температуры использовали термометр биметаллический ТБП 100/НХ/у с диапазоном измерения от 0 до 500 °С.

Образцы соединений деревянных элементов на МЗП устанавливали в испытательную камеру и с помощью обжигателя выполняли обдув горячим воздухом в течение 8–10 минут до за-

данной температуры. Для стабилизации температурного поля по сечению образцы выдерживались в камере до 10 минут после отключения нагревателя. После извлечения из испытательной камеры образцы кондиционировались в течение 2 суток при температуре 18–25 °С и влажности воздуха 40–60 % в лабораторных условиях.

С целью изучения характера распределения температуры по поверхности древесины и МЗП часть образцов подвергалась термографии. С помощью тепловизора Testo 875-1 выполнялась регистрация теплового поля образцов сразу же после их извлечения из нагревательной камеры (рисунок 2).



а – образец серии III; б – образец серии V

Рисунок 2 – Температурное поле

После кондиционирования образцы соединений на МЗП устанавливались на плиту основания универсальной испытательной машины «Quasar 50». Сжимающее усилие от машины к образцу передавалось через головку испытательной машины (рисунок 3). Образцы испытывались с непрерывно возрастающей нагрузкой со скоростью нагружения 50Н/сек до полного разрушения соединений по методике [22]. Графики зависимостей деформаций соединений от нагрузки получали в автоматическом режиме с выводом на печать. После разгрузки каждого разрушенного образца соединения проводился его осмотр и фотографирование (рисунки 4 и 5).



Рисунок 3 – Общий вид испытания образцов

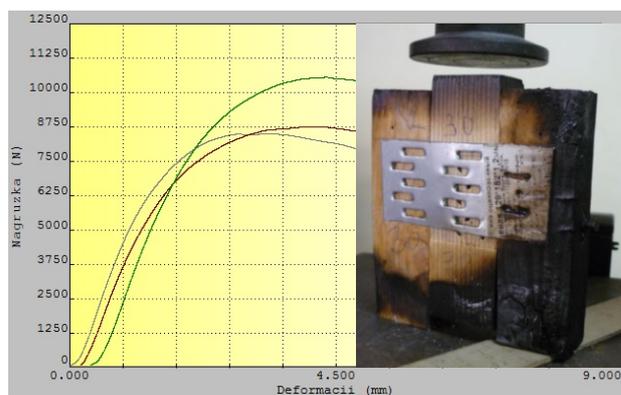


Рисунок 4 – Результаты и характер разрушения образцов серии IV

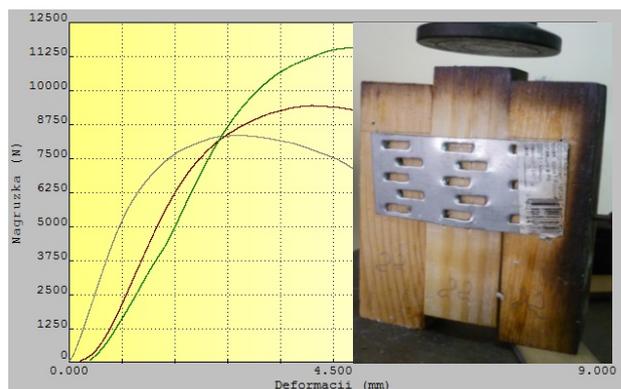


Рисунок 5 – Результаты и характер разрушения образцов серии V

В таблице 1 приводятся результаты испытаний образцов соединений деревянных элементов на МЗП при действии сдвигающих усилий. Несущая способность соединений определялась для пары зубьев при деформации сдвига 1.5 мм [23].

Результаты эксперимента и обсуждение

Анализ характера температурного поля поверхности образцов соединений деревянных элементов на МЗП (рисунок 2) показывает, что возгорание древесины начинается с поверхностных слоев ребер и в зонах внедрения зубьев пластин в древесину из-за быстрого нагревания, испарения влаги и затем разложения компонентов древесины с последующим воспламенением их. Нагрев металлических пластин способствует проникновению высоких температур через зубья в глубину древесины. Отметим, что при извлечении образцов из нагревательной камеры происходит быстрое остывание металла. При осмотре

МЗП после температурного воздействия не обнаружено признаков (нагар, обгорание кромок, деформации), снижающих прочные характеристики стали [24].

Анализ характера разрушения контрольных образцов серии I показал, что на первом этапе нагружения происходит обмятие древесины у основания зуба при защемленном его конце в толще древесины. На последних этапах нагружения зубья пластины выдергиваются из древесины, при этом гнезда зуба имеют форму треугольника. Характер разрушения образцов серий II, III, IV после температурного воздействия показал, что в зонах внедрения зубьев в древесину окраска ее имеет коричневый оттенок, и зубья, имеющие малую толщину «прорезают» древесину, утратившую способность сопротивляться силовому воздействию – гнезда зубьев имеют форму трапеции.

Кратковременная несущая способность одной пары зубьев соединений на МЗП (серия II, III, IV) при деформации сдвига 1,5 мм снизилась на 3–15 % по сравнению с контрольными образцами.

После обработки результатов экспериментальных испытаний методами вариационной статистики [25] установлено, что зависимость несущей способности одной пары зубьев (F_k) при сдвиге от температуры (T) может быть выражена при коэффициенте корреляции 0,906 следующей формулой:

$$F_k = 719,77 - 0,465 T \quad (1)$$

Установка защитного экрана из асбестокартон на металлические пластины (образцы серии V) позволила защитить древесину под экраном от обугливания (рисунок 2). При этом кратковременная несущая способность одной пары зубьев при деформации сдвига 1,5 мм снизилась на 19 % по сравнению с контрольными образцами. Одной из причин низкой эффективности защитного экрана, по нашему мнению, является наличие зазора между асбестокартон и древесиной (равного толщине МЗП), что при высокой теплопроводности стали, во много раз превышающую теплопроводность древесины, приводит к нагреванию зубьев и, как следствие этого, к термодеструкции древесины в зоне контакта с металлом, по аналогии с образцами серий II, III, IV, без защитных экранов.

Деформации сдвига соединений на МЗП после воздействия повышенных температур (рисунок 6) при уровне нагрузки равном 0,5F увеличились в 1,16–1,41 раза по сравнению с контрольными образцами.

Таблица 1 – Результаты испытания образцов

Номер серии	Температура нагрева, °C	Разрушающая нагрузка *, Н	Нагрузка при деформации сдвига $\delta = 1,5 \text{ мм}^*$, Н	Особенности реакции на температуру
I	20	7000...9670 8450	680...720 700	–
II	150	7830...10330 9030	670...690 680	Коричневый оттенок древесины в гнездах зубьев
III	200	9200...10160 9530	590...630 620	Обугливание наружных граней крайних элементов на глубину 3–5 мм
IV	230	8670...9640 9080	550...630 600	Обугливание наружных граней крайних элементов на глубину 3–5 мм. Темнокоричневый оттенок древесины в гнездах зубьев
V	200	8300...11800 9470	480...710 570	Обугливание наружных граней крайних элементов на глубину до 2 мм

Примечание – * В числителе – минимальные и максимальные значения, в знаменателе – средние значения.

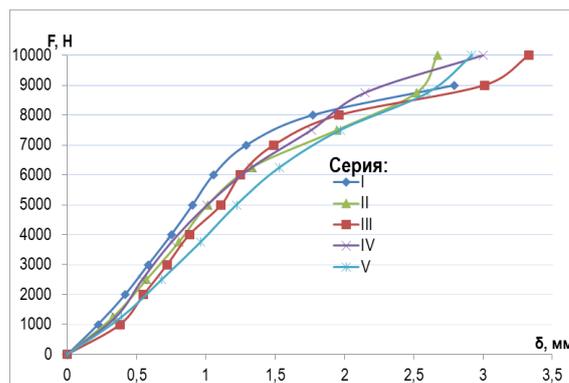


Рисунок 6 – Зависимость деформации от нагрузки

Заключение

На основании выполненных экспериментальных исследований соединений деревянных элементов на МЗП после воздействия умеренно высоких температур можно сделать следующие выводы:

1. Нагрев металлических зубчатых пластин приводит к проникновению высоких температур через зубья в глубину древесины и, как следствие этого, к снижению способности материала сопротивляться силовым воздействиям.
2. Кратковременная несущая способность одной пары зубьев соединений на МЗП при деформации сдвига 1,5 мм (серии IV) при температуре нагрева 230 °C снизилась на 15 % по сравнению с контрольными образцами.
3. При уровне нагрузки равном 0,5 F деформации сдвига соединений серий II–IV увеличились в 1,16–1,41 раза по сравнению с образцами серии I.
4. Данная работа является лишь первым этапом исследования огнестойкости соединений на МЗП. Целесообразно провести экспериментальные исследования на большем количестве образцов с применением и других типоразмеров МЗП, с увеличением диапазона повышенных температур.

Список цитированных источников

1. Проспект компании «Аутомейдит Билдинг Компонентс» Система Gang Nail (Гэнг-Нейл).
2. Informationsdienst holz / Aussteifung von NP-Konstruktionen. Holzbau handbuch. Reihe 2. Teil 12. Folge 3.
3. Проспект фирмы «Вольф-система». Техника со знаком качества.
4. Informationsdienst holz / Konstruktionen gestalten: Bauen mit Nagelplatten.
5. Соединение деревянных конструкций / С. Б. Турковский [и др.] ; Всесоюз. науч.-исслед. ин-т информ. по строительству. – М., 1988. – Вып. 3. – 44 с. – (Строительство и архитектура).
6. Рекомендации по проектированию и изготовлению дощаных конструкций с соединениями на металлических зубчатых пластинах. – М. : ЦНИИСК, 1983. – 40 с.
7. Проспект концерна «Sistembay Wolf». Обрато к природе.
8. Проспект концерна «Sistembay Wolf». Металлические плиты с гвоздевыми соединениями.
9. Штык, А. Огнестойкость деревянных клееных конструкций со стальными вклеенными стержнями / А. Штык // Архитектура и строительство. – 2009. – № 3. – С. 26–27.
10. Курлаков, Д. В. Обследование и усиление деревянных перекрытий после огневого воздействия пожара в зданиях постройки конца XIX начала XX веков / Д. В. Курлаков // Дефекты зданий и сооружений. Усиление строительных конструкций : материалы XVIII науч.-метод. конф. ВИТУ, Санкт-Петербург, 13 марта 2014 г. / ВИ (ИТ) ВА МТО (ВИТУ) ; редкол.: Д. В. Курлаков [и др.]. – СПб., 2014. – С. 76–84.

11. Дмитриев, П. А. Огнестойкость соединений деревянных элементов на стальных цилиндрических нагелях / П. А. Дмитриев, И. М. Заварыкин // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1988. – № 6. – С. 133–137.
12. Романенков, И. Г. Огнестойкость строительных конструкций из эффективных материалов / И. Г. Романенков, В. Н. Зигерн-Корн. – М. : Стройиздат, 1984. – 241 с.
13. Ломакин, А. Д. Защита деревянных конструкций / А. Д. Ломакин. – М. : РИФ «Стройматериалы», 2013. – 424 с.
14. Жук, В. В. Исследование соединений деревянных конструкций на металлических зубчатых пластинах при действии кратковременных нагрузок / В. В. Жук, Д. В. Мелюх // Теория и практика исследований и проектирования в строительстве с применением систем автоматизированного проектирования (САПР) : сб. ст. междунар. науч.-техн. конф., Брест, 30–31 марта 2017 г. / Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: С. М. Семенюк [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2017. – С. 47–50.
15. Исследование работы металлической пластины в соединениях деревянных конструкций и разработка метода расчета : отчёт о НИР / Горьк. инж.-строит. ин-т им. В.П. Чкалова ; рук. Е. А. Кравцов. – Горький, 1981. – 83 с. – № ГР81086250.
16. Иванова, Е. К. Огнестойкость клееных деревянных стоек / Е. К. Иванова // Исследования по деревянным конструкциям / МИСИ им. В. В. Куйбышева ; под общ. ред. В. В. Большакова, А. Е. Кагана. – М. : Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1958. – Сборник трудов № 13. – С. 181–190.
17. Кротов, Е. Г. Технология дерева / Е. Г. Кротов. – 2-е изд. – М.-Л. : Государственное лесное техническое издательство, 1932. – 368 с.
18. Справочное руководство по древесине. Лаборатория лесных продуктов США : пер. с англ. / под ред. С. Н. Горшина [и др.]. – М. : Лесн. пром-сть, 1979. – 544 с.
19. Кошелева, О. Э. Термический анализ древесины. Часть I / О. Э. Кошелева, В. А. Логвиненко // Изв. вузов. Строительство. – 2016. – № 2. – С. 98–103.
20. Кошелева, О. Э. Термический анализ древесины. Часть II / О. Э. Кошелева, В. А. Логвиненко // Изв. вузов. Строительство. – 2016. – № 3. – С. 95–99.
21. Чижек, Я. Свойства и обработка древесностружечных и древесноволокнистых плит : пер. с чешск. / Я. Чижек ; отв. ред. В. Д. Бекетов. – М. : Лесн. пром-сть, 1989. – 392 с.
22. Рекомендации по испытанию соединений деревянных конструкций / ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко. – М. : Стройиздат, 1980. – 40 с.
23. СП 64.13330.2011. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80. – Введ. 05.20.2011. – М. : Минрегион России, 2010. – 86 с.
24. Рекомендации по оценке состояния и усилению строительных конструкций промышленных зданий и сооружений / НИИСК. – М. : Стройиздат, 1989. – 104 с.
25. Герасимович, А. И. Математическая статистика / А. И. Герасимович, Я. И. Матвеева. – Минск : Вышэйшая школа, 1978. – 200 с.
8. Prospekt koncerna «Sistembay Wolf». Metallicheskie plity s gvozdevymi soedinenijami.
9. Shtyk, A. Ognestojkost' derevjannyh kleennyh konstrukcij so stal'nymi vkleennymi sterzhnjami / A. Shtyk // Arhitektura i stroitel'stvo. – 2009. – № 3. – С. 26–27.
10. Kurlakov, D. V. Obsledovanie i usilenie derevjannyh perekrytij posle ognеvogo vozdeystvija pozhara v zdaniyah postrojki konca XIX nachala XX vekov / D. V. Kurlakov // Defekty zdaniy i sooruzhenij. Usilenie stroitel'nyh konstrukcij : materialy XVIII nauch.-metod. konf. VITU, Sankt-Peterburg, 13 marta 2014 g. / VI (IT) VA MTO (VITU) ; redkol.: D. V. Kurlakov [i dr.]. – SPb., 2014. – С. 76–84.
11. Dmitriev, P. A. Ognestojkost' soedinenij derevjannyh jelementov na stal'nyh cilindricheskix nageljah / P. A. Dmitriev, I. M. Zavarykin // Izv. vuzov. Stroitel'stvo i arhitektura. – 1988. – № 6. – С. 133–137.
12. Romanenkov, I. G. Ognestojkost' stroitel'nyh konstrukcij iz jeffektivnyh materialov / I. G. Romanenkov, V. N. Zigern-Korn. – М. : Strojizdat, 1984. – 241 s.
13. Lomakin, A. D. Zashhita derevjannyh konstrukcij / A. D. Lomakin. – М. : RIF «Strojmaterialy», 2013. – 424 s.
14. Zhuk, V. V. Issledovanie soedinenij derevjannyh konstrukcij na metallicheskih zubchatykh plastinah pri dejstvii kratkovremennyh nagruzok / V. V. Zhuk, D. V. Meljuh // Teorija i praktika issledovaniy i proektirovaniya v stroitel'stve s primeneniem sistem avtomatizirovannogo proektirovaniya (SAPR) : sb. st. mezhdunar. nauch.-tehn. konf., Brest, 30–31 marta 2017 g. / Brest. gos. tehn. un-t ; redkol.: S. M. Semenjuk [i dr.]. – Brest : BrGTU, 2017. – S. 47–50.
15. Issledovanie raboty metallicheskoj plastiny v soedinenijah derevjannyh konstrukcij i razrabotka metoda rascheta : otchjot o NIR / Gor'k. inzh.-stroit. in-t im. V. P. Chkalova ; ruk. E. A. Kravcov. – Gor'kij, 1981. – 83 s. – № GR81086250.
16. Ivanova, E. K. Ognestojkost' kleennyh derevjannyh stoev / E. K. Ivanova // Issledovaniya po derevjannym konstrukcijam / MISI im. V. V. Kujbysheva ; pod obshh. red. V. V. Bol'shakova, A. E. Kagana. – М. : Gosudarstvennoe izdatel'stvo literatury po stroitel'stvu, arhitekture i stroitel'nym materialam, 1958. – Sbornik trudov № 13. – S. 181–190.
17. Krotov, E. G. Tehnologija dеrеvа / E. G. Krotov. – 2-e izd. – М.-Л. : Gosudarstvennoe lesnoe tehnikeskoe izdatel'stvo, 1932. – 368 s.
18. Spravochnoe rukovodstvo po drevесине. Laboratorija lesnyh produktov SShA : per. s angl. / pod red. S. N. Gorshina [i dr.]. – М. : Lesn. prom-st', 1979. – 544 s.
19. Kosheleva, O. Je. Termicheskij analiz drevесiny. Chast' I / O. Je. Kosheleva, V. A. Logvinenko // Izv. vuzov. Stroitel'stvo. – 2016. – № 2. – S. 98–103.
20. Kosheleva, O. Je. Termicheskij analiz drevесiny. Chast' II / O. Je. Kosheleva, V. A. Logvinenko // Izv. vuzov. Stroitel'stvo. – 2016. – № 3. – S. 95–99.
21. Chizhek, Ja. Svoystva i obrabotka drevесnostruzhechnykh i drevесnovoloknistykh плит : per. s cheshsk. / Ja. Chizhek ; otv. red. V. D. Beketov. – М. : Lesn. prom-st', 1989. – 392 s.
22. Rekomendacii po ispytaniyu soedinenij derevjannyh konstrukcij / CNIISK im. V. A. Kucherenko. – М. : Strojizdat, 1980. – 40 s.
23. SP 64.13330.2011. Derevjannye konstrukcii. Aktualizirovannaja redakcija SNIp II-25-80. – Vved. 05.20.2011. – М. : Minregion Rossii, 2010. – 86 s.
24. Rekomendacii po ocenke sostojanija i usileniju stroitel'nyh konstrukcij promyshlennyh zdaniy i sooruzhenij / NIISK. – М. : Strojizdat, 1989. – 104 s.
25. Gerasimovich, A. I. Matematicheskaja statistika / A. I. Gerasimovich, Ja. I. Matveeva. – Minsk : Vyshjeshaja shkola, 1978. – 200 s.

References

1. Prospekt kompanii «Automejdit Bilding Kompounents» Sistema Gang Nail (Gjeng-Nejl).
2. Informationsdienst holz / Aussteifund von NP-Konstruktionen. Holzbau handbuch. Reihe 2. Teil 12. Folge 3.
3. Prospekt firmy «Volf-sistema». Tehnika so znakom kachestva.
4. Informationsdienst holz / Konstruktionen gestalten: Bauen mit Nagelplatten.
5. Soedinenie derevjannyh konstrukcij / S. B. Turkovskij [i dr.] ; Vsesojuz. nauch.-issled. in-t inform. po stroitel'stvu. – М., 1988. – Вып. 3. – 44 s. – (Stroitel'stvo i arhitektura).
6. Rekomendacii po proektirovaniyu i izgotovleniju doshnykh konstrukcij s soedinenijami na metallicheskih zubchatykh plastinah. – М. : CNIISK, 1983. – 40 s.
7. Prospekt koncerna «Sistembay Wolf». Obratno k prirode.

Материал поступил 12.04.2023, одобрен 14.06.2023, принят к публикации 14.06.2023

УДК 624.011

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ДРЕВЕСИНЫ В ЗОНЕ КОНТАКТА С ВИНТОМ, УСТАНОВЛЕННЫМ ПОД УГЛОМ К ВОЛОКНАМ И ВОСПРИНИМАЮЩИМ ОСЕВОЕ УСИЛИЕ РАСТЯЖЕНИЯ

А. Я. Найчук¹, Е. В. Маркечко²

¹Д. т. н., доцент, профессор кафедры строительных конструкций УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: atnya@yandex.ru

²Магистр технических наук, старший преподаватель кафедры строительных конструкций УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: bk-2112@mail.ru

Реферат

В статье были установлены закономерности изменения напряженного состояния элемента из древесины в соединении с винтом, воспринимающего осевое усилие растяжения, в зависимости от величины его диаметра d , угла наклона волокон α по отношению к продольной оси винта и длины анкеровки l_{ef} .

Ключевые слова: древесина, винт, установленный под углом к волокнам, длина анкеровки, нормальные напряжения, максимальные касательные напряжения.

FINITE ELEMENT ANALYSIS OF STRESS STATE OF TIMBER IN THE CONTACT AREA WITH INCLINED SCREWS SUBJECTED TO AXIAL TENSION

E. V. Markechko, A. Ya. Naichuk

Abstract

Stress state of timber element of timber joints with screw subjected to axial tension is described in this paper. The relationship between the wood stress values and screw diameter d , angle α between screw axis and grain direction, screw anchorage length l_{ef} is presented and analysed.

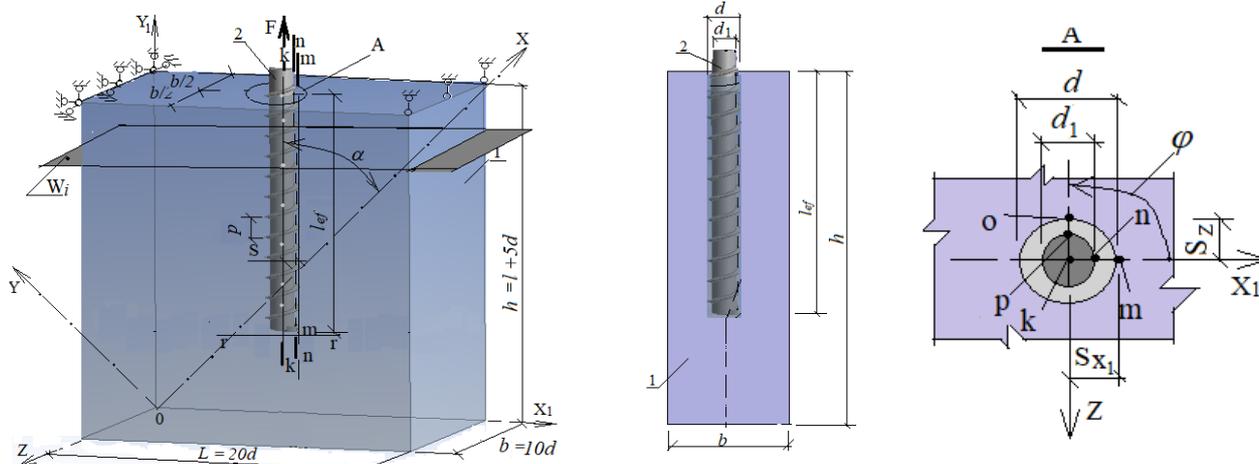
Keywords: timber, inclined screw, screw anchorage length, normal stresses, maximum shear stresses.

Введение

В последнее десятилетие для соединений элементов деревянных конструкций и их усиления все чаще используют стальные винты или шпильки с большим шагом резьбы. Первые, как правило, используют в качестве механических связей в соединениях элементов [1], вторые – в качестве локального армирования деревянных элементов в зонах концентрации напряжений, для восприятия растягивающих поперек волокон напряжений или усиления опорных площадок элементов конструкций [2–4].

Задачей данных исследований являлось выявление закономерностей изменения напряженного состояния древесины в зоне контакта с винтом, воспринимающим действие осевого усилия растяжения, в зависимости от диаметра винта d , угла наклона α продольной оси винта к направлению волокон и его длины анкеровки l_{ef} .

При определении напряженного состояния древесины в зоне контакта с винтом использовался метод конечных элементов в среде «ANSYS Workbench».



1 – элемент из древесины; 2 – стальной винт; W_i – секущая плоскость

Рисунок 1 – Расчетная схема модели соединения винта с древесиной

Методика численных исследований напряженного состояния древесины в зоне контакта с винтом

Моделирование соединения винта с древесиной осуществлялось в соответствии с методикой, приведенной в работе [5]. При определении напряженного состояния геометрические параметры элемента из древесины $b \times h \times L$ (рисунок 1) принимались в зависимости от величины диаметра d винта и длины его анкеровки l_{ef} . Во всех расчетных схемах ширина b элемента 1 составляла $10d$.

Варьируемыми параметрами в расчетных моделях являлись:

- наружный диаметр резьбы винта $d = 11$ мм, 14 мм, 16 мм и 20 мм;
- длина анкеровки винта в массиве древесины $l_{ef} = 6d, 10d, 15d$ и $20d$;
- угол наклона продольной оси винта к направлению волокон древесины $\alpha = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ и 90° .

Значение усилия F , прикладываемого к винту, определялось по формуле (1) в предположении равномерного распределения напряжений сдвига τ по поверхности контакта нарезной части винта с древесиной.

$$F = f_{v, yz} \cdot \pi \cdot d \cdot l_{ef}, \quad (1)$$

где $f_{v, yz} = 2$ МПа – прочность древесины при скалывании в тангенциальной плоскости поперек волокон [6];

d – наружный диаметр резьбы винта;

l_{ef} – длина анкеровки винта.

Для оценки напряженного состояния древесины в зоне контакта с винтом выполняли анализ распределения напряжений на участках длиной l_{ef} в локальной системе координат XYZ в точках, лежащих на линиях, параллельных глобальной оси Y_1 , которые принадлежат плоскостям X_1OY_1 и Y_1OZ соответственно (рисунок 1). Напряжения рассматривались как в древесине по линиям «m-m», «n-n», «p-p» и «o-o», так и вдоль продольной оси винта (линия «k-k»). Расстояние S от продольной оси винта до рассматриваемых линий в направлении осей X_1 и Z принимались равными $S_{X_1} = S_Z = d_1$ и d (рисунок 1). Такой выбор линий и их расположение позволили оценить напряженное состояние в древесине, находящейся между витками резьбы и по внешнему диаметру винта. При выполнении анализа напряженного состояния древесины особое внимание уделялось такому виду, при котором прочность древесины характеризуется наименьшим значением.

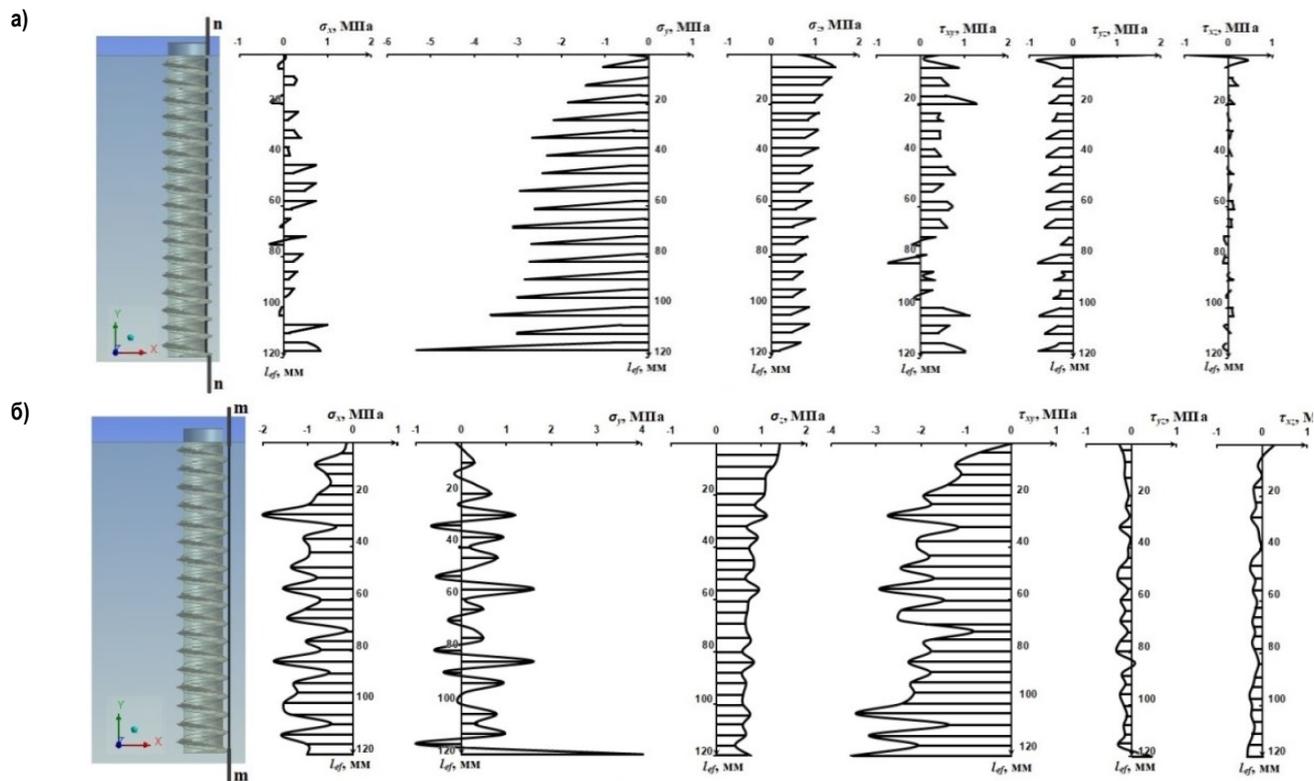
Результаты исследований

В результате выполненных расчетов для соединений с углом $\alpha = 90^\circ$ было установлено, что в древесине, расположенной в зоне анкеровки винта, имеет место концентрация всех компонент напряжений $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}$ и τ_{zx} (некоторые эпюры напряжений в древесине приведены на рисунках 2–3), т. е. древесина работает в условиях сложного неоднородного напряженного состояния. Наличие концентрации напряжений обусловлено локальной передачей усилия F от винта древесине по контактирующим поверхностям на участке l_{ef} .

Следует отметить, что для рассмотренных параметров КЭ-моделей независимо от величины угла α напряженное состояние, возникающее в древесине, расположенной между витками резьбы, существенно отличается от напряженного состояния древесины, расположенной за пределами наружного диаметра d винта (рисунки 2–5).

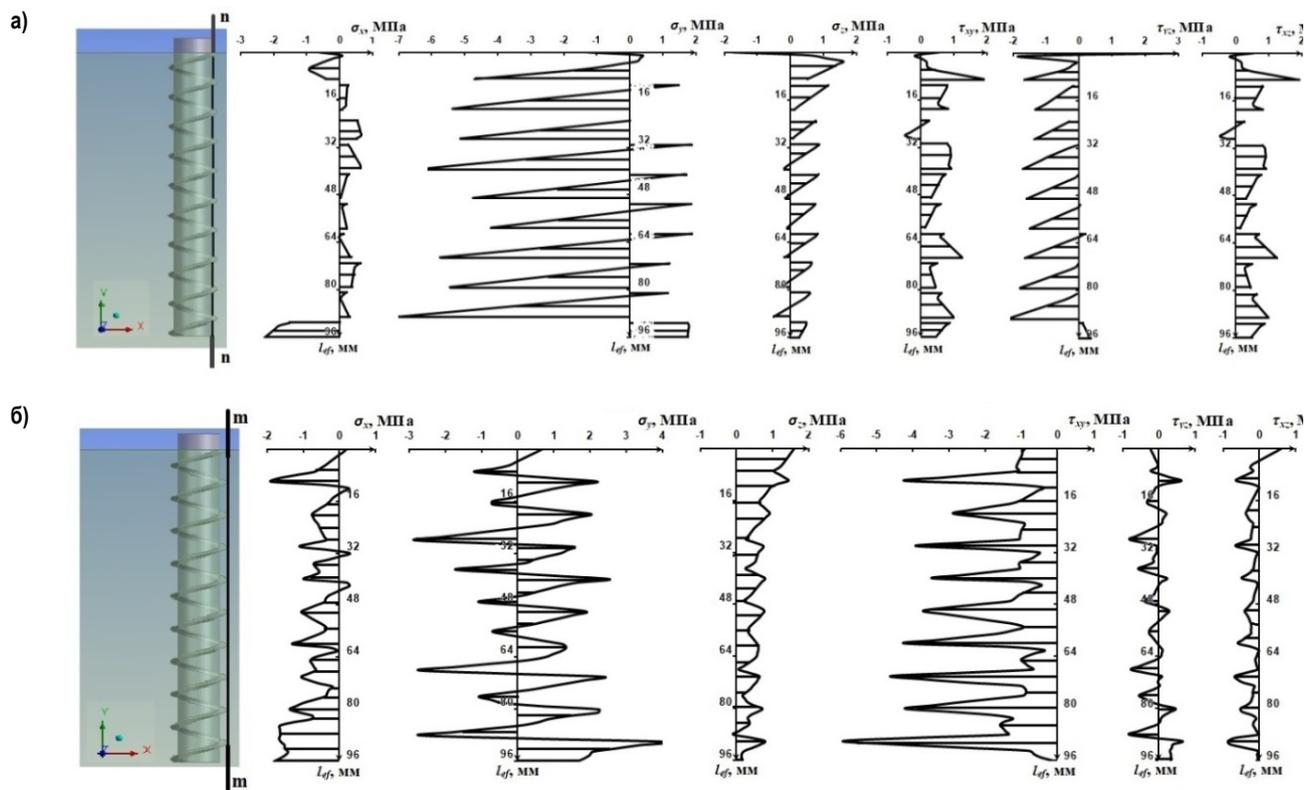
Древесина, находящаяся между витками резьбы, испытывает сжатие поперек волокон, изгиб и скалывание в двух плоскостях (вдоль и поперек волокон), а также срез (перерезывание) поперек волокон (рисунок 2–3). Следует отметить, что прочность древесины срезу (перерезыванию) волокон в 4–5 раз выше прочности скалывания вдоль волокон, т. е. составляет около 30 МПа [7]. Учитывая данное обстоятельство, наиболее опасными, с точки зрения истощения несущей способности соединения, являются напряжения скалывания, действующие поперек и вдоль волокон, а также нормальные напряжения, вызывающие растяжение поперек волокон. Наличие изгиба и скалывания древесины, находящейся между витками резьбы (рисунок 2а, 3а) происходит в двух плоскостях и объясняется тем, что контактирующая поверхность витков наклонена под углом $\beta = (\alpha - \gamma)$ к волокнам древесины (γ – угол подъема резьбы), т. е. угол сжатия древесины уменьшается. Известно, что значение угла γ зависит от диаметра винта d и шага p резьбы, т. е. по-разному сказывается не только на напряженном состоянии для малых и больших диаметров винта, но и на характере разрушения древесины в соединении. Согласно [7], при уменьшении угла наклона оси винта α по отношению к волокнам, прочность древесины при сжатии возрастает, т. е. несущая способность соединения должна увеличиваться. Такой вывод справедлив для одноосного напряженного состояния. Здесь же должны учитываться все компоненты напряженного состояния, действие которых сказывается на прочности древесины и, как результат, несущей способности соединения. Вместе с тем, в рассматриваемых зонах соединения древесина находится в условиях объемного стеснения деформаций, что положительно сказывается на ее прочности [7].

Следует отметить, что с увеличением длины анкеровки винта l_{ef} характер распределения нормальных напряжений σ_y изменяется. Нормальные сжимающие напряжения σ_y достигают своих максимальных значений на уровне второго шага p резьбы от поверхности входа винта в массив древесины. Кроме того, их величина зависит как от длины анкеровки l_{ef} , так и угла φ поворота плоскости X_1OY_1 относительно оси Y_1 , отсчитываемого от оси X_1 в противоположном направлении движения часовой стрелки (рисунок 1, линии «m-m» и «o-o»). При увеличении φ от 0° до 90° , как было установлено в результате расчетов, напряжения σ_y увеличиваются. Это обусловлено изменением жесткости массива древесины, находящегося за пределами витков резьбы (увеличение глубины проникновения винта). При длине $l_{ef} = 6d$ и $d = 20$ мм максимальные значения σ_y на участке $l > (1/3) l_{ef}$ практически равны по всей длине, а при длине $l_{ef} = 20d$ – уменьшаются от верхней грани элемента 1 к устью винта. Для соединений с $l_{ef} > 6d$ предельное состояние древесины, находящейся между витками резьбы, первоначально наступает от сжатия (смятия) поперек волокон на участках, расположенных ближе к верхней грани элемента 1. Такое распределение напряжений σ_y в древесине является близким по характеру распределения нормальных напряжений σ_{y1} в материале винта вдоль его оси. При уменьшении диаметра винта характер распределения максимальных значений напряжений σ_y в древесине практически не изменяется для одинаковых значений соотношения l_{ef}/d . Что же касается их значений, то они ниже, чем при $d = 20$ мм. Это объясняется как уменьшением прикладываемого усилия к винту, так и уменьшением площади контакта резьбы с древесиной (уменьшается высота и шаг резьбы).



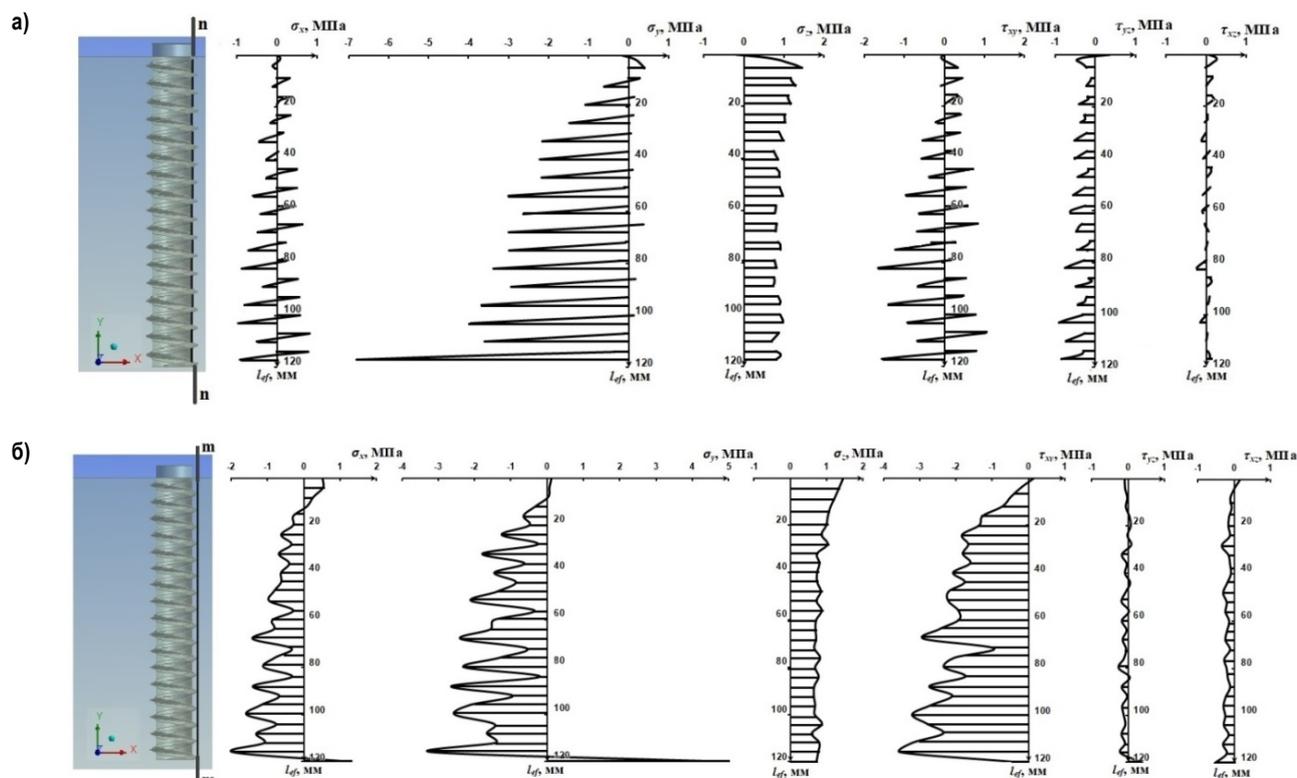
а – в точках по линии «n-n»; б – в точках по линии «m-m»

Рисунок 2 – Распределение напряжений в древесине для винта $d = 20$ мм при длине анкеровки $l_{ef} = 120$ мм и $\alpha = 90^\circ$



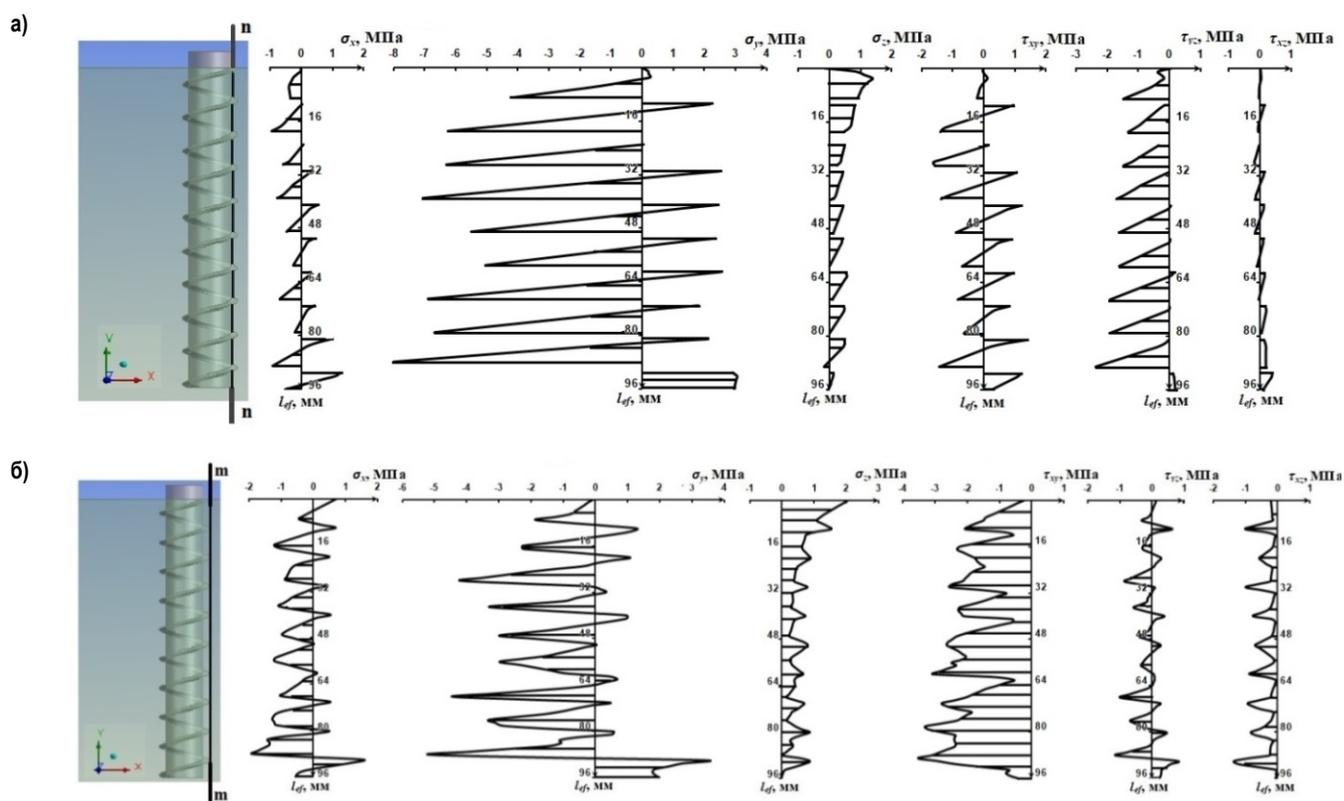
а – в точках по линии «n-n»; б – в точках по линии «m-m»

Рисунок 3 – Распределение напряжений в древесине для винта $d = 16$ мм при длине анкеровки $l_{ef} = 96$ мм и $\alpha = 90^\circ$



а – в точках по линии «n-n»; б – в точках по линии «m-m»

Рисунок 4 – Распределение напряжений в древесине для винта $d = 20$ мм при длине анкеровки $l_{ef} = 120$ мм и $\alpha = 45^\circ$



а – в точках по линии «n-n»; б – в точках по линии «m-m»

Рисунок 5 – Распределение напряжений в древесине для винта $d = 16$ мм при длине анкеровки $l_{ef} = 96$ мм и $\alpha = 45^\circ$

Анализируя значения напряжения σ_x и σ_z в древесине, расположенной между витками, при $\alpha = 90^\circ$ можно отметить, что их распределение как по длине l_{ef} , так и в пределах шага резьбы, имеет неравномерный характер (рисунок 2а, 3а). Это объясняется изгибом древесины («консоли») между витками резьбы относительно осей Y и Z . Высота поперечного сечения «консоли» ρ зависит от диаметра винта. Поскольку изгиб «консоли» обусловлен действием напряжений σ_y значения, которых, как было отмечено выше, зависят от параметров l_{ef} и d , то и максимальных значений σ_x и σ_z достигают ближе к поверхности элемента 1. Что же касается касательных напряжений τ_{xy} , τ_{yz} и τ_{xz} , то их максимальные значения возникают ближе к верхней грани элемента 1 (рисунок 2–3). Сопоставляя значения напряжений τ_{xy} , τ_{yz} и τ_{xz} , можно отметить, что максимальные значения τ_{xy} , по абсолютной величине в 1,4 меньше среднего значения $\tau_{mean} = 2$ МПа, принятого при назначении величины усилия F , прикладываемого к винту. Кроме того максимальное значение τ_{xy} в 1,5 раза больше τ_{yz} , а значения τ_{xz} в 4 раз меньше τ_{xy} (рисунок 2).

При уменьшении угла наклона продольной оси винта $\alpha \leq 90^\circ$ по отношению к волокнам древесины, для одинаковых значений l_{ef} и d , максимальные значения напряжений $|\sigma_{y,max}|$, возникающие в древесине по линии «п-п» (рисунок 1), расположенной между витками резьбы, практически не изменяются. Так для $d = 20$ мм и $l_{ef} = 120$ мм при $\alpha = 60^\circ$ напряжения $\sigma_{y,max} = -6$ МПа; при $\alpha = 45^\circ$ – $\sigma_{y,max} = -6,4$ МПа; при $\alpha = 30^\circ$ – $\sigma_{y,max} = -6,13$ МПа (рисунок 2а, 4а). Что же касается изменения длины анкерки l_{ef} , то при ее увеличении для одного и того же угла α абсолютные значения $|\sigma_{y,max}|$ возрастают. Это объясняется увеличением значения прикладываемой нагрузки к винту при одинаковых $\tau_{mean} = 2$ МПа.

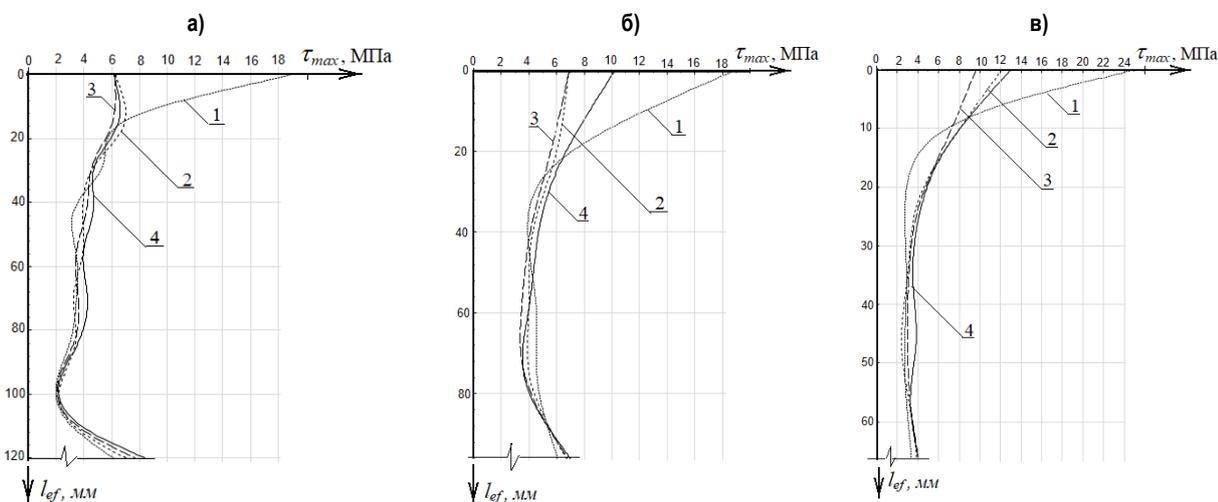
Рассматривая распределение напряжений σ_x , σ_y , σ_z , τ_{xy} , τ_{yz} и τ_{xz} в точках, принадлежащих линии «т-т», можно отметить, что максимальных значений они достигают в зоне входа винта в массив древесины. Что же касается характера распределения напряжений, то

независимо от параметров d , l_{ef} и α он имеет «пилообразную» форму, обусловленную витками резьбы винта, имеющих форму клина, вызывающего концентрацию напряжений в древесине. Для соединений с одним и тем же значением α при увеличении длины анкерки l_{ef} напряжения на участке $(1/3) l_{ef}$ увеличиваются и достигают максимальных значений по абсолютной величине ближе к верхней грани элемента 1. Кроме того, возникающие напряжения σ_y , вызывают растяжение древесины поперек волокон как в точках по линии «т-т», так и в зоне обрыва анкерки винта. Следует отметить, что с увеличением длины l_{ef} , в зоне обрыва анкерки винта напряжения σ_y уменьшаются.

При оценке несущей способности рассматриваемых соединений должны учитываться все компоненты напряженного состояния. Кроме того, здесь следует учитывать, что неустойчивое предельное состояние соединения наступает в результате перерезывания древесины поперек волокон за исключением участка, расположенного на длине между верхней гранью элемента 1 и первым шагом резьбы. Поэтому целесообразным является определение и анализ значений максимальных касательных τ_{max} напряжений для трехосного напряженного состояния. Расчетная процедура по определению τ_{max} реализована в программном комплексе «ANSYS Workbench».

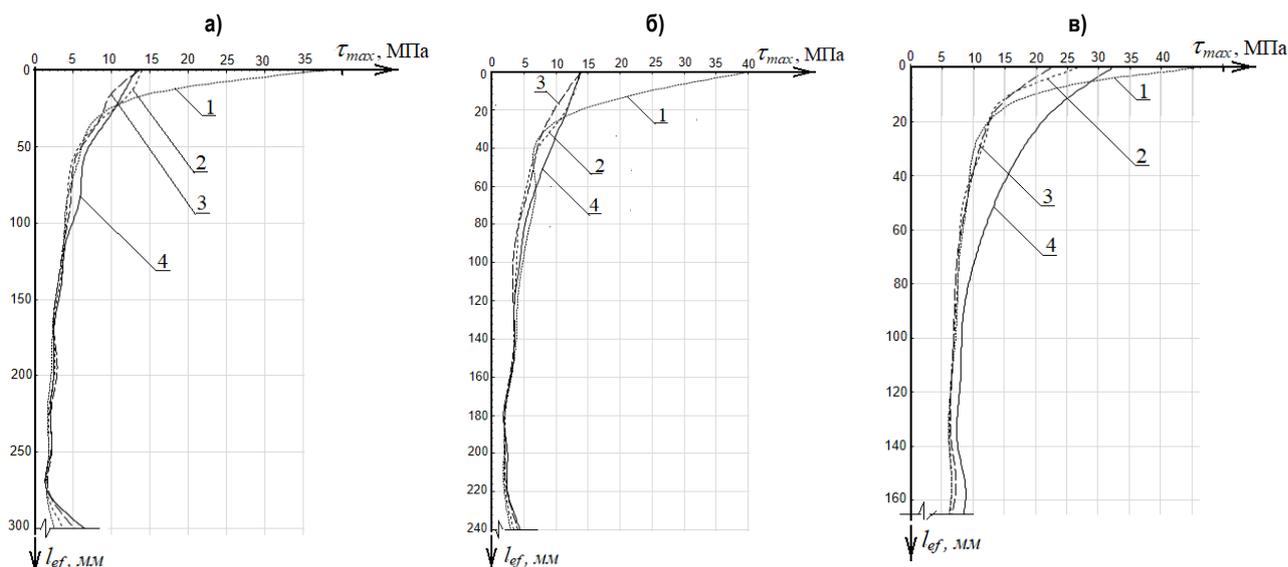
Значения напряжений τ_{max} определяли в плоскостях W_i (рисунок 1), перпендикулярных оси Y_1 . Интервал между секущими плоскостями W_i , начиная от верхней поверхности элемента 1, принимался равным двойному шагу ρ резьбы. Принятое разбиение позволило обеспечить совпадение координат секущих плоскостей по оси Y_1 для одного и того же диаметра винта d с разной длиной анкерки l_{ef} и одинаковое расположение сечения витка резьбы относительно оси X_1 во всех рассматриваемых сечениях элемента 1. Такое расположение секущих плоскостей позволило обосновано выполнить сопоставление значений напряжений τ_{max} и выявить закономерности их изменения в зависимости от угла α для соответствующих значений d и l_{ef} .

Некоторые эпюры распределения напряжений τ_{max} по длине l_{ef} приведены на рисунках 6–7.



1 – при $\alpha = 90^\circ$; 2 – при $\alpha = 60^\circ$; 3 – при $\alpha = 45^\circ$; 4 – при $\alpha = 30^\circ$;
 а – для винтов $d = 20$ мм; б – для винтов $d = 16$ мм; в – для винтов $d = 11$ мм

Рисунок 6 – Распределение максимальных касательных напряжений τ_{max} в древесине по длине анкерки при соотношении $l_{ef}/d = 6$ в зависимости от угла α



1 – при $\alpha = 90^\circ$; 2 – при $\alpha = 60^\circ$; 3 – при $\alpha = 45^\circ$; 4 – при $\alpha = 30^\circ$;
 а – для винтов $d = 20$ мм; б – для винтов $d = 16$ мм; в – для винтов $d = 11$ мм

Рисунок 7 – Распределение максимальных касательных напряжений τ_{max} в древесине по длине анкеровки при соотношении $l_{ef}/d = 15$ в зависимости от угла α

Анализируя распределение напряжений τ_{max} по длине анкеровки l_{ef} , возникающих в древесине, можно отметить, что наибольших значений они достигают в сечениях, находящихся у поверхности входа винта в элемент из древесины. Для одного и того же значения d при $\alpha = 90^\circ$ с увеличением l_{ef} значения τ_{max} увеличиваются, а при уменьшении α – уменьшаются (рисунок 6–7). Такое распределение τ_{max} свидетельствует о том, что начальное разрушение соединения первоначально будет происходить в указанных зонах, т. е. жесткость древесины, находящейся между витками резьбы будет уменьшаться, перераспределяя передачу усилий сдвига на ниже-расположенные по длине l_{ef} слои, не вызывая мгновенного разрушения соединения, а только сказываясь на его диаграмме деформирования. Такой процесс деформирования древесины в соединении с винтом подтверждается характером диаграмм деформирования, полученных при испытании соединений [8], где на диаграмме помимо линейной области имеет место область нелинейного деформирования. Следует отметить, что нелинейная область деформирования обусловлена двумя процессами: нелинейностью деформирования древесины при сжатии под углом β к волокнам, изгибом «консоли» и появлением в ее сечении повреждений в виде скалывающихся вдоль волокон макротрещин. Параметры нелинейной области на диаграмме деформирования в предельном состоянии соединения будут зависеть от длины l_{ef} , угла α и диаметра винта d .

С целью выявления закономерностей изменения значений τ_{max} в зависимости от параметров l_{ef} , α и d был выполнен анализ их распределения в сечении, принадлежащем плоскости W_1 и проходящей на расстоянии $2p$ от верхней грани элемента 1. В результате выполненного анализа было установлено, что для винтов диаметром $14 \text{ мм} \leq d \leq 20 \text{ мм}$ и $l_{ef}/d = 6$, значения τ_{max} практически не зависят от величины угла α в рассмотренном интервале его варьирования (рисунок 6–7). Для соединений с винтом диаметром $d = 11 \text{ мм}$ и $l_{ef}/d = 6$ можно отметить, что при уменьшении угла α от 90° до 30° значения τ_{max} увеличиваются, т.е. несущая

способность соединения будет уменьшаться. Так, при $\alpha = 90^\circ$ значения τ_{max} увеличиваются на 35 % по сравнению с τ_{max} для $\alpha = 60^\circ$ и 30° и на 25 % – для $\alpha = 45^\circ$ (рисунок 6–7). Что же касается τ_{max} для соединений с винтами $14 \text{ мм} \leq d \leq 20 \text{ мм}$ и $l_{ef}/d > 6$, то для одного и того же значения α и d с увеличением длины анкеровки l_{ef} значения τ_{max} увеличиваются нелинейно, а для одного и того же значения l_{ef}/d с увеличением α они практически не изменяются.

Заключение

На основании анализа напряженного состояния древесины в зоне контакта с винтом, воспринимающего осевое усилие растяжения, было установлено, что:

- древесина находится в условиях сложного неоднородного напряженного состояния;
- наиболее вероятной зоной начала разрушения соединения при $l_{ef}/d \geq 10$ является участок древесины, расположенной в зоне анкеровки винта на длине $l < (1/3) l_{ef}$ от поверхности ввинчивания винта в элемент из древесины;
- для соединений с винтами диаметрами $14 \text{ мм} \leq d \leq 20 \text{ мм}$ и соотношением $l_{ef}/d = 6$, установленных под углом α к направлению волокон, значение прочности древесины практически не зависит от величины угла α ;
- для соединений с винтами диаметрами $14 \text{ мм} \leq d \leq 20 \text{ мм}$ несущая способность зависит от величины диаметра d и длины анкеровки l_{ef} ;
- для соединений с винтами диаметрами $6 \text{ мм} \leq d \leq 12 \text{ мм}$ несущая способность соединения зависит от угла α , диаметра d и длины анкеровки l_{ef} винта;
- в зоне обрыва анкеровки винта в древесине возникают растягивающие поперек волокон напряжения, которые могут оказывать влияние на несущую способность элемента деревянной конструкции.

Список цитированных источников

1. Pirnbacher, G. Base Parametrs of self-tapping Screws / G. Pirnbacher, R. Brandner, G. Schickhofer // CIB-W18 Conference Proceedings: Paper 42-7-1, Dübendorf, Schweiz. – 2009.
2. Bejtka, I. Self-tapping screws as reinforcement in beam supports / I. Bejtka, H.J. Blass // CIB-W18 Conference Proceedings: Paper 39-7-2, Florence, Italy. – 2006.
3. Formolo, S. Compression perpendicular to the grain and reinforcement of a pre-stressed timber deck / S. Formolo, R. Granström // Department of Civil and Environmental Engineering Division of Structural Engineering Steel and Timber Structures, CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY – Göteborg, Sweden 2007.
4. Dietsch, Ph. Self-tapping screws and threaded rods as reinforcement for structural timber elements / Ph. Dietsch, R. Brandner // Construction and Buildings Materials. – 2015. – Vol. 97 – P. 78–89.
5. Маркечко, Е. В. КЭ-модель узлового соединения элементов деревянных конструкций, выполненного с использованием винтов, работающих на осевое растяжение / Е. В. Маркечко, А. Я. Найчук // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2023. – № 1(130). – С. 33–36.
6. Ашкенази, Е. К. Анизотропия древесины и древесных материалов / Е. К. Ашкенази. – М: Лесная промышленность, 1978. – 224 с
7. Ашкенази, Е. К. Анизотропия конструкционных материалов: справочник / Е. К. Ашкенази, Э. В. Ганов. – Ленинград: Машиностроение, 1972. – 216 с.
8. Stamatopoulos, H. Characteristic withdrawal capacity and stiffness of threaded rods / H. Stamatopoulos, K.A. Malo // 2nd meeting of the International Network on Timber Engineering Research, INTER. Paper 48-7-2. At: Šibenik, Croatia – 2015.

References

1. Pirnbacher, G. Base Parametrs of self-tapping Screws / G. Pirnbacher, R. Brandner, G. Schickhofer // CIB-W18 Conference Proceedings: Paper 42-7-1, Dübendorf, Schweiz. – 2009.
2. Bejtka, I. Self-tapping screws as reinforcement in beam supports / I. Bejtka, H.J. Blass // CIB-W18 Conference Proceedings: Paper 39-7-2, Florence, Italy. – 2006.
3. Formolo, S. Compression perpendicular to the grain and reinforcement of a pre-stressed timber deck / S. Formolo, R. Granström // Department of Civil and Environmental Engineering Division of Structural Engineering Steel and Timber Structures, CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY – Göteborg, Sweden 2007.
4. Dietsch, Ph. Self-tapping screws and threaded rods as reinforcement for structural timber elements / Ph. Dietsch, R. Brandner // Construction and Buildings Materials. – 2015. – Vol. 97 – P. 78–89.
5. Markechko, E. V. KE-model' uzlovogo soedineniya elementov derevyannykh konstrukcij, vypolnennogo s ispol'zovaniem vintov, rabotayushchih na osevoe rastyazhenie / E. V. Markechko, A. YA. Najchuk // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2023. – № 1(130). – S. 33–36.
6. Ashkenazi, E. K. Anizotropiya drevesiny i drevesnykh materialov / E. K. Ashkenazi. – M: Lesnaya promyshlennost', 1978. – 224 s
7. Ashkenazi, E. K. Anizotropiya konstrukcionnykh materialov: spravochnik / E. K. Ashkenazi, E. V. Ganov. – Leningrad: Mashinostroenie, 1972. – 216 s.
8. Stamatopoulos, H. Characteristic withdrawal capacity and stiffness of threaded rods / H. Stamatopoulos, K.A. Malo // 2nd meeting of the International Network on Timber Engineering Research, INTER. Paper 48-7-2. At: Šibenik, Croatia – 2015.

Материал поступил 14.06.2023, одобрен 15.06.2023, принят к публикации 23.06.2023

УДК 72.025.4(476.7)

СВЯТО-РОЖДЕСТВА-БОГОРОДИЦКАЯ ЦЕРКОВЬ-КРЕПОСТЬ ОБОРОНИТЕЛЬНОГО ТИПА В Д. МУРОВАНКА ГРОДНЕНСКОЙ ОБЛАСТИ КАК ОБЪЕКТ ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Э. А. Тур¹, Е. В. Счасная², С. В. Басов³, О. А. Акулова⁴, В. В. Тричик⁵, Е. Ю. Русак⁶

¹ К. т. н., доцент, заведующий кафедрой инженерной экологии и химии УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Республика Беларусь, e-mail: tur.elina@mail.ru

² Главный архитектор проекта ПМ-2 УП «Институт Гродногражданпроект», Гродно, Беларусь

³ К. т. н., доцент, доцент кафедры инженерной экологии и химии УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: basovs@mail.ru

⁴ К. т. н., заведующий кафедрой начертательной геометрии и инженерной графики УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: akulovabrest@gmail.com

⁵ Студентка строительного факультета УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь

⁶ Студентка факультета инженерных систем и экологии УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь

Реферат

Для Республики Беларусь глубокое изучение и всестороннее использование памятников наследия имеет особое значение. Историко-культурное наследие Республики Беларусь является достоянием белорусского народа. Важнейшей частью проекта по реконструкции и реставрации объектов, включенных в Перечень недвижимых объектов историко-культурного наследия, является раздел «Комплексные научные изыскания». В данной работе были изучены образцы строительных растворов и окрасочных составов, отобранные с фасадов и внутренних стен церкви-крепости в д. Мурованка Гродненской области. Целью исследования являлось изучение особенностей исходных штукатурных растворов, определение первоначальных окрасочных составов и разработка методических рекомендаций по проведению ремонтно-реставрационных работ. Объект был обследован должным образом, определены аутентичные строительные растворы и окрасочные составы. Окрасочные работы и в раннее, и в более позднее время производились составами на минеральной основе. Изначально здание было оштукатурено известково-песчаными растворами и окрашено минеральными составами. Все применяемые материалы для ремонта фасада должны быть совместимы с сохраняемыми материалами по своим физико-механическим характеристикам.

Ключевые слова: историко-культурное наследие, реставрация, комплексные научные изыскания, аутентичные штукатурные растворы, биологическая коррозия.

THE HOLY NATIVITY-BOGORODITSKAYA CHURCH IS A DEFENSIVE-TYPE FORTRESS IN THE VILLAGE OF MUROVANKA, GRODNO REGION, AS AN OBJECT OF HISTORICAL AND CULTURAL HERITAGE OF THE REPUBLIC OF BELARUS

E. A. Tur, E. V. Scasnaya, S. V. Basov, O. A. Akulova, V. V. Trichyk, E. U. Rusak

Abstract

For the Republic of Belarus, in-depth study and comprehensive use of heritage monuments is of particular importance. The historical and cultural heritage of the Republic of Belarus is the property of the Belarusian people. The most important part of the project for the reconstruction and restoration of objects included in the List of immovable objects of historical and cultural heritage is the section "Complex scientific research". In this work, samples of mortars and paint compositions were studied, selected from the facades and internal walls of the fortress church in the village of Murovanka, Grodno region. The purpose of the study was to study the characteristics of the initial plaster solutions, to determine the initial paint compositions and to develop methodological recommendations for carrying out repair and restoration work. The object was examined properly, authentic building solutions and paint compositions were determined. Painting works both in the early and later times were carried out with mineral-based compositions. Initially, the building was plastered with lime-sand solutions and painted with mineral compounds. All materials used to repair the facade must be compatible with the stored materials according to their physical and mechanical characteristics.

Keywords: historical and cultural heritage, restoration, complex scientific research, authentic plaster mortars, biological corrosion.

Введение

Для Республики Беларусь глубокое изучение и всестороннее использование памятников наследия имеет особое значение. Изучение, сохранение и реставрация недвижимых объектов историко-культурного наследия являются необходимым условием предупреждения процесса разрушения национального богатства и сохранению духовности нашего народа. Историко-культурной ценностью признаются объекты, обладающие совокупностью двух признаков: культурной значимостью и юридическим признанием в таком качестве посредством включения в охранный реестр – Государственный список историко-культурных ценностей Республики

Беларусь [1]. Компоненты, включенные в термин «историко-культурные ценности», входят в понятие «историко-культурное наследие». В соответствии с Законом Республики Беларусь от 9 января 2006 г. «Об ахове гісторыка-культурнай спадчыны Рэспублікі Беларусь» материальные историко-культурные ценности делятся на 4 категории.

Самая ценная из данных категорий – категория «0» – историко-культурные ценности, включенные или предложенные для включения в установленном порядке в Список всемирного культурного и природного наследия или Список всемирного наследия, находящегося под угрозой.

Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 3 июня 2016 г. № 437 утвержден перечень историко-культурных ценностей категорий «0», «1» и «2», находящихся в собственности административно-территориальных единиц Республики Беларусь и в собственности религиозных организаций [1, 2].

Объекты категории «0» из Государственного списка:

1. Касцёл Яна Хрысціцеля. 1603–1606 гады, XVIII–XIX стагоддзі. Віцебская вобласць, Пастаўскі раён, в. Камаі.

2. Сафійскі сабор. 1044–1066 гады, 1738–1750 гады. Віцебская вобласць, Полацкі раён, г. Полацк, вул. Замкавая, 1.

3. Палацава-паркавы ансамбль: канец XVIII–XIX стагоддзё. Гомельская вобласць, г. Гомель.

4. Барысаглебская (Каложская) царква: дэкаратыўнае аздабленне царквы: каменны і маёлікавы дэкор на фасадах фрагмент арнаментальнага дэкору падлогі фрагменты жывапісу ў інтэр'еры. XII стагоддзё. Гродзенская вобласць, г. Гродна, правы бераг р. Нёман, вул. Каложа, 6.

5. Царква абарончага тыпу, канец XV – пачатак XVI стагоддзя. Гродзенская вобласць, Зэльвенскі раён, в. Сынкавічы.

6. Замак, XVI–XX стагоддзі. Гродзенская вобласць, Карэліцкі раён, г.п. Мір, вул. Чырвонаармейская, 2.

7. Свята-Раства-Багародзіцкая царква-крэпасць абарончага тыпу. 1524 год. Гродзенская вобласць, Шчучынскі раён, в. Мураванка (рисунок 1).

8. Комплекс былога кляштара езуітаў: касцёл з дэкаратыўным аздабленнем; надмагільныя помнікі і барэльефы; вежа; капліца. XVI–XIX стагоддзі. Мінская вобласць, Нясвіжскі раён, г. Нясвіж, вул. Міцкевіча.

9. Палацава-паркавы ансамбль: замак-палац, брама, прыбрамныя карпусы, паўночна-ўсходняя і паўднёва-заходняя галерэі, льядоўня, стайня; абарончыя збудаванні і мост; тэрыторыя паркаў: Замкавы, Стары, Японскі, Англіійскі, Новы; водная сістэма: Дзікі, Замкавы, Бернардзінскі ставы. XVI–XIX стагоддзі. Мінская вобласць, Нясвіжскі раён, г. Нясвіж [1].



Рисунок 1 – Церковь-крепость в д. Мураванка

3 февраля 2017 года вступил в силу Кодекс Республики Беларусь о культуре, которым регулируются вопросы охраны историко-культурного и археологического наследия Республики Беларусь (Кодекс Республики Беларусь о культуре от 20 июля 2016 года № 413-3,

принят Палатой представителей 24 июня 2016 года, одобрен Советом Республики 30 июня 2016 года) [2]. Кодексом установлена процедура, после выполнения, которой разрешается производить работы на историко-культурной ценности. В составе научно-проектной документации разрабатывается раздел «Комплексные научные изыскания», который состоит из фотофиксации, обмеров, исторических, археологических и химико-физических исследований. Обязательное проведение химико-физических исследований, помогает принять правильные проектные решения по применению отделочных материалов на историко-культурных ценностях и, соответственно, большей долговечности проведенных работ. Так как зачастую ни заказчики работ, ни подрядчики не знают о последствиях применения современных отделочных материалов на зданиях, при строительстве которых использованы известковые растворы.

Ремонтно-реставрационные работы, как правило, начинаются с комплексного технического обследования зданий. При проведении обследования очень часто выясняется, что кроме реставрации самого фасада здания необходимо выполнить комплекс работ по усилению фундамента и устройству гидроизоляции в подвальных помещениях, по устранению причин капиллярного подсоса влаги в ограждающие конструкции здания или сооружения [3, 4].

Основная часть

Церковь-крепость в д. Мураванка является одним из двух, наряду с храмом в Сынковичах, хорошо сохранившихся образцов православной готики оборонного типа в Беларуси, возведена в 1524 г. на средства местного феодала Шимки Мацкевича. Здание имеет трёхнефную четырёхстолпную структуру каменного храма зального типа с одной апсидой, перекрыто сложной системой звёздчатых и кристаллических нервюрных сводов, завершается высокой двускатной медной крышей со шпильцами на торцах. Углы фланкированы круглыми башнями с шатровой кровлей и увенчаны крестами. Диаметр западных башен – около 4,5 м, восточных – около 3 м. Общие размеры храма – 17,6х23,5 м, высота – 23 м. (рисунок 2).

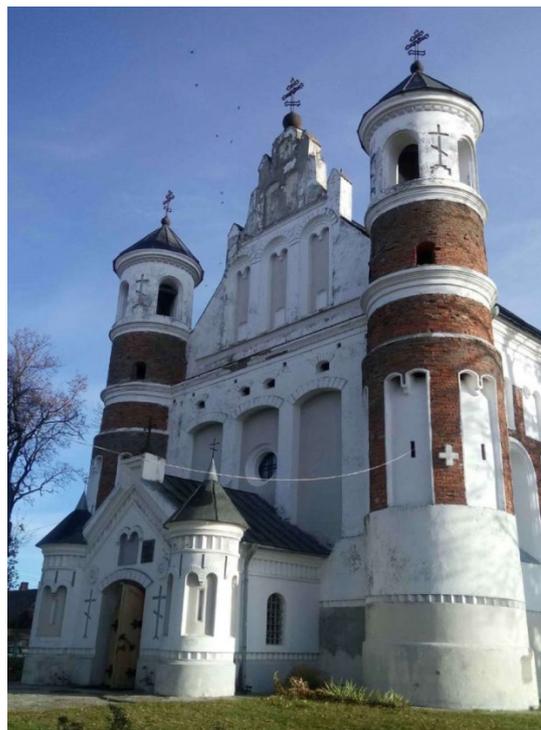


Рисунок 2 – Главный фасад церкви-крепости в д. Мураванка

Распор сводов передаётся на угловые башни и мощные стены толщиной около 2 м, поэтому храм лишён контрфорсов – одного из отличительных элементов готического стиля. Под полом молельного зала устроен сводчатый склеп – крипта. Фундаменты сложены из

необработанных валунов средних и больших размеров на известково-песочном растворе с заполнением пустот битым кирпичом и мелким камнем, глубина заложения до современной дневной поверхности – 2,8–3 м. Цоколь выступает от наружной плоскости стен на 0,5–0,7 м, поэтому общая толщина фундаментов достигает почти 3 м. Уровень древней поверхности XVI в. находится на глубине 0,6 м.

Стены возведены в технике готической кладки из кирпича-пальчатки на известково-песчаном растворе. Швы толщиной 3,5–2 см аккуратно подрезаны и имеют в профиле треугольную форму. Сложные кристаллические своды сложены из квадратного и брусочного кирпича, нервюры звёздчатых сводов – из кирпича стрелоподобной формы (рисунок 3). Композиция фасадов решена в виде чередования изначально только оштукатуренных плоскостей декоративных ниш и открытой кирпичной кладки красного цвета, что придавало живописность внешнему облику храма-крепости. Поверхность стен имеет оборонительные элементы – бойницы и машикули. Декоративные ниши углублены в стены с таким расчётом, чтобы не показывать их реальной толщины. В западных башнях 5 ярусов бойниц, в восточных – 4 яруса. Все ярусы отличаются количеством бойниц, их размерами и формой. По 2 бойницы размещены на щипцах: на восточном фасаде в форме замочной скважины, на западном – в виде окон. Для лицевой кирпичной кладки на фасадах использовался кирпич с различным временем обжига, что влияло на цветовую гамму – от охристого до чёрного. Главный вход в церковь оформлен перспективным порталом, включающим стрельчатую и килевидную арки, обрамляющие невысокий дверной проём арочной формы, вверху сохранилась шахта для опуска железной решётки – герсы. Первоначальное покрытие кровли было выполнено из плоской керамической черепицы местного производства. Покрытие пола молельного зала и алтаря из квадратных майоликовых плиток двух цветов (голубого и зелёного), уложенных в шахматном порядке параллельно стенам, утрачено до нач. XIX в.



Рисунок 3 – Главный вход в церковь-крепость

Хронология ремонтных и исследовательских работ с описью элементов храма:

- 1660-е г. – первые ремонтные работы после повреждений во время русско-польской войны в 1656 г.;
- 1706 г. – сильно повреждена после обстрела войсками Кала XII;
- 1706-1804 гг. – период запустения (отсутствуют окна, протекает крыша);
- 1798 г. – церковь становится униатской;
- 1805 г. – от удара молнии в алтарную часть обрушилась крыша;
- 1808 г. – на южной стене калятором церкви Казимиром Костровицким установлена каменная доска после перезахоронения фундатора возведения храма Шимки Мацкевича;
- 1810 г. – в январе проведены первоочередные ремонтные работы;
- 1810 г. – весной начал общий ремонт церкви;
- 1811 г. – вставлены 4 новых окна, покрашен главный алтарь в белый цвет с позолотой столбиков, в северо-западной башне установлен колокол в 30 пудов (в описи за 1836 г. его уже нет);
- 1817–1822 гг. – ликвидирован ход в стенах по контуру храма с кладкой входов в восточные башни из молельного зала; разобраны

кирпичные лестницы в восточных башнях; понижена отметка крыши с сохранением старой черепицы для ремонта оставшейся кровли; уложены новые деревянные балки; переделан верх щипцов западного и восточного фасадов; бойницы оштукатурены и побелены; отремонтированы оконные проёмы башен с покрытием отливов черепицей; пол выложен кирпичом; сняты тяжёлые металлические двери-герсы на входном портале; царские врата, найденные во время очистки алтаря, отремонтированы, позолочены и поставлены на своё место; на западных башнях установлены флюгера в виде ангелов с трубой и мечом; калятором церкви Казимиром Костровицким на южной стене установлена каменная доска о обновлении храма с установкой нового алтаря римского обряда для желудокских кармелитов;

1825 г. – к главному фасаду пристроен притвор, стилизованный под общий характер церкви;

1836 г. – в храме в связи с подготовкой к ликвидации унии убран орган;

1850-е г. – установлены кованые решетки на оконных проёмах притвора;

1858 г. – начинается изучение храма как памятника архитектуры членами Императорского археологического общества из Санкт-Петербурга Стобедевым и Горностаевым (1864–65 гг.), из Вильнюса – Твердохлёбовым, бароном Нольде и др.;

1863 г. – церковь снова становится православной;

1864 г. – разобран кирпичный пол алтаря и вскрыты могильные плиты склепов под полом, все найденные останки захоронены на погосте рядом с церковью в одной общей могиле;

1871–72 гг. – проведена масштабная реконструкция средневекового храма под руководством специально созданного комитета: достроен верхний ярус на западных башнях для устройства в одной из них колокольни; понижен уровень крыши с устройством карнизов на северном и южном фасадах; увеличены по высоте размеры 6 оконных проёмов на северном и южном фасадах; заложена часть бойниц на всех фасадах; изготовлены новые окна из дуба с железными решётками; установлено 8 резных железных позолоченных 8-конечных крестов, изготовленных в Риге; средневековая лицевая кладка фасадов оштукатурена специальным раствором на гипсоскопической извести; отремонтирована штукатурка стен внутри храма; храм с прилегающим погостом обнесён бутовой оградой с покрытием из гонта; возведена входная брама из кирпича с северной стороны;

1873 г. – освящение церкви после реконструкции;

1906 г. – очередной ремонт церкви на средства Виленского Свято-Духова братства;

1915 г. – во время Первой мировой войны в храме был устроен госпиталь для русской армии, во время немецкой оккупации в церкви размещались военнопленные, которые разрушили каменную ограду и кирпичную браму;

1927–28 гг. – церковь приспособлена под костёл, разобрана стена, отделяющая алтарь от молельного зала, на притворе установлены католические кресты, отремонтирована крыша с частичной заменой черепицы, поставлены новые водостоки, с 8-конечных венчающих крестов снята нижняя косая перекладина, разобран иконостас;

1945 г. – храм включён в список памятников архитектуры республиканского значения;

1947 г. – храм включён в список памятников архитектуры всеоюзного значения;

1946-1987 гг. – бывшая церковь приспособлена под зерносклад, также использовалась для хранения азотных удобрений;

1985 г. – были выполнены первые археологические исследования церкви под руководством А. Кушнеревича с разработкой 7 шурфов (общая площадь – 26,25 кв. м.), которыми установлен уровень древней поверхности (ниже существующего на 0,6 м);

1985–86 гг. – по заказу отдела культуры Гродненского облисполкома проведены комплексные научные исследования под научным руководством Л. Павловой (СНРПМ), разработан проект реставрации «Церковь оборонного типа в д. Маломожейково»;

1988 г. – храм возвращен местной православной общине;

1989 г. – на престольный антиминс освящён митрополитом Филаретом, патриаршим экзархом Белорусской православной церкви;

1990–92 гг. – проведены ремонтные работы за счёт прихода на сумму 15 тысяч рублей (замена черепичной кровли на медную, усиление фундаментов, оштукатуривание стен и восстановление архитектурного декора цементными составами);

1993 г. – настоятелем Виктором Светициком установлен иконостас в 2 яруса, отреставрированный иконописцем П.Жаровым;

2007 г. – по заказу прихода проведены археологические исследования sklepa храма под руководством И. Ганецкой (Институт истории НАН РБ);

2007–2009 гг. – проведение комплексных научных исследований под научным руководством Г. Лаврецкого (БНТУ), раскрытие кладки входного портала с шахтой для герсы;

2010–2012 гг. – проведение комплексных научных исследований под научным руководством Г. Лаврецкого (БНТУ), выполнены раскрытия кладки с орнаментом из кирпича различного времени обжига на оштукатуренных участках западного, северного и южного фасадов;

2015 г. – все раскрытия кладки на фасадах здания оштукатурены цементными составами, устроена система отопления храма от геотермальных источников в виде «теплых полов» с заменой напольного покрытия молельного зала, выполнена отделка нижней часть стен внутри молельного зала и алтаря на высоту 2 м цементными составами с типом финишного декоративного покрытия – «короед»;

2017–18 гг. – заменены все двери в храме.

2019 г. – все открытые проемы бойниц и машикулей изнутри закрыты мелкоячеистой оцинкованной сеткой для защиты от проникновения птиц;

2021 г. – для борьбы с птицами приход оборудовал место для гнездования совы-сипухи на территории возле храма.

В 2021 г. учеными Брестского государственного университета были проведены комплексные научные исследования Свято-Рождества-Богородицкой церкви-крепости, находящейся в д. Мурованка Гродненской области – объекта категории «0» с целью завершения раздела «Комплексные научные изыскания», согласования архитектурного проекта с Министерством культуры Республики Беларусь и получения гранта на выполнение ремонтно-реставрационных работ.

Для исследований были представлены штукатурные, кладочные и затирочные известково-песчаные и известково-цементно-песчаные растворы, а также фрагменты стены здания (зондажи). Для анализа представленных образцов применялись микрохимический, гранулометрический и петрографический методы исследований [3, 4, 5, 6].

Места отбора образцов для проведения физико-химических исследований представлены в сводной таблице 1.

Гранулометрический состав заполнителей определялся путем просеивания через сита с размером ячеек 2, 1, 0,5, 0,25, 0,125, 0,063 мм согласно рекомендациям ОАО «Белреставрация» Министерства Культуры Республики Беларусь (для создания аутентичных строительных растворов недвижимых объектов историко-культурного наследия категории «0», «1» и «2»). Соответствующие растворы очень близки по соотношению компонентов и составу, а также по гранулометрическому составу заполнителя. Ряд растворов кардинально отличается по соотношению компонентов вяжущее:заполнитель и по гранулометрическому составу заполнителя.

Таблица 1 – Сводная таблица мест отбора образцов для проведения физико-химических исследований

Наименование образца	Место отбора образца
Образец 1	Шовный (кладочный) раствор с внутренней поверхности стены северо-западной башни (достройка в 1872 г.)
Образец 2	Нервюра в молельном зале (внутренняя поверхность стены здания) (1524 г.)
Образец 3	Основная плоскость наружной поверхности стены притвора слева от входа в здание (достройка в 1872 г.)
Образец 4	Цоколь, нижняя часть (1524 г.)
Образец 5	Основная плоскость наружной поверхности стены (1524 г.)
Образец 6	Шовный (кладочный) раствор с наружной поверхности стены апсиды (1524 г.)

Аутентичные кладочные и штукатурные растворы (1524 г.) отличаются более высоким содержанием вяжущего (известки). Наименование и характеристики исследованных штукатурных растворов, обнаруженных на внутренних поверхностях стен собора, приведены в таблице 2.

Минеральный состав заполнителя – полевошпатово-кварцевый, в основном, кварцевый песок. Во многих известково-песчаных составах отмечены отдельные вкрапления известки размером 1–2 мм. В обоих кладочных и одном штукатурном составе обнаружено присутствие крупных частиц полевого шпата размером от 4 до 10 мм (таблица 2). Значения pH водных вытяжек растворов – без особенностей (в пределах нормы).

Таблица 2 – Характеристики штукатурных и кладочных растворов, обнаруженных на наружных и внутренних поверхностях стен здания

№ образца; характеристика штукатурного раствора (вид раствора, количественное соотношение вяжущее:заполнитель)	Гранулометрический состав заполнителя по фракциям, %				
	0,125–0,25 мм	0,25–0,5 мм	0,5–1,0 мм	1,0–2,0 мм	более 2 мм
Образец 1 (клад.) изв-песч=1:4,3 – 1:4,5	16,0	28,0	41,0	10,0	5,0**
Образец 2/1 (штук.) изв-песч=1:1	75,0	22,0	2,5	0,5	–
Образец 2/2 (штук.) изв-песч=1:3	53,0	33,0	11,0	2,8	0,2
Образец 3/1 (штук.) изв-песч=1:4,5	17,0	18,0	33,5	25,5	6,0**
Образец 3/2 (штук. ремонтный) изв-цем-песч=1:1:2-1:1:3	19,0	23,0	35,0	21,0	2,0
Образец 3/3 (затирочный, ремонтный) изв-цем-песч=1:1:3	Очень малое количество раствора, невозможно определить гранулометрический состав заполнителя				
Образец 4/1 (штук.) изв-песч=1:2	46,5	46,0	7,0	0,5	–
Образец 4/2 (штук. ремонтный) изв-цем-песч=1:1:2-1:1:3	19,0	23,0	35,0	21,0	2,0
Образец 5 (штук.) изв-песч=1:4,5	39,0	24,5	26,5	8,5	1,5
Образец 6 (клад.) изв-песч=1:4,3 – 1:4,5	14,0	23,0	40,0	21,0	2,0**

Примечание: ** – наличие крупных частиц полевого шпата

В результате анализа проведенных исследований установлено, что соответствующие исследованные аутентичные штукатурные известково-песчаные растворы предположительно одного исторического периода близки по соотношению компонентов (вяжущее:заполнитель) и гранулометрическому составу заполнителя (кварцевого песка).

Штукатурные растворы более позднего исторического периода значительно отличаются от аутентичных как соотношением компонентов, так и гранулометрическим составом заполнителя (кварцевого песка), но также являются известково-песчаными.

Ремонтные штукатурные и затирочные растворы современного исторического периода по составу являются известково-цементно-песчаными.

Значения pH водных вытяжек штукатурных и кладочных растворов приведены в таблице 3. Значения pH водных вытяжек растворов – без особенностей (в пределах нормы).

Таблица 3 – Значения pH водных вытяжек штукатурных и кладочных растворов (pH дистиллированной воды=5,6; температура водных растворов 19,7°C)

№ раствора	Значение pH
Образец 1 (клад.) изв-песч=1:4,3 – 1:4,5	8,49
Образец 2/1 (штук.) изв-песч=1:1	8,51
Образец 2/2 (штук.) изв-песч=1:3	8,59
Образец 3/1 (штук.) изв-песч=1:4,5	9,07
Образец 3/2 (штук. ремонтный) изв-цем-песч=1:1:2-1:1:3	10,36
Образец 3/3 (затирочный, ремонтный) изв-цем-песч=1:1:3	9,90
Образец 4/1 (штук.) изв-песч=1:2	9,16
Образец 4/2 (штук. ремонтный) изв-цем-песч=1:1:2-1:1:3	10,36
Образец 5 (штук.) изв-песч=1:4,5	9,06
Образец 6 (клад.) изв-песч=1:4,3 – 1:4,5	8,89

Цвета лакокрасочных покрытий и окрасочных составов указаны по каталогу «3D plus System» компании CAPAROL, применяемым в настоящее время архитекторами-реставраторами в Республике Беларусь. Цвет покрытия определяли путём визуального сравнения образца с эталонной типографской выкраской [5, 7]. Для устранения метамерии определение цвета проводили при рассеянном естественном освещении:

- Лицевая поверхность нервюры в молельном зале (внутренняя поверхность стены здания) (1524 г.) окрашена составом белого цвета на минеральной основе. Цвет близок к образцу «Natur-Weiß».

- Лицевая поверхность основной плоскости наружной поверхности стены притвора слева от входа в здание (достройка в 1872 г.) окрашена составом серовато-белого цвета на минеральной основе. Цвет близок к образцу «Kühl-Weiß». Отмечено сильное меление состава, сильное грязеудержание, следы фотоокислительной деструкции из-за длительной эксплуатации без ремонта. Возможно, первоначально состав имел белый цвет, близкий к образцу «Natur-Weiß».

- Лицевая поверхность цоколя, нижняя часть (1524 г.), окрашена составом светло-серого цвета на минеральной основе. Цвет близок к образцу «Mint 25». Отмечено сильное меление состава, сильное грязеудержание, следы фотоокислительной деструкции (состав сильно «выгорел») из-за длительной эксплуатации без ремонта.

- Лицевая поверхность основной плоскости наружной поверхности стены (1524 г.) окрашена составом светло-серого цвета на минеральной основе. Цвет близок к образцу «Mint 25». Отмечено сильное меление состава, сильное грязеудержание, следы фотоокислительной деструкции (состав сильно «выгорел») из-за длительной эксплуатации без ремонта. Вся поверхность образца полностью подверглась биологической коррозии – покрыта зелеными водорослями.

- Первоначально нервюра в молельном зале (внутренняя поверхность стены здания) (1524 г.) была окрашена составом белого цвета на минеральной основе. Цвет близок к образцу «Natur-Weiß».

- Первоначально основная плоскость наружной поверхности стены притвора слева от входа в здание (достройка в 1872 г.) была окрашена составом белого цвета на минеральной основе. Цвет близок к образцу «Natur-Weiß».

- Первоначально цоколь, нижняя часть (1524 г.), был окрашен составом белого цвета на минеральной основе. Цвет близок к образцу «Natur-Weiß».

- Первоначально основная плоскость наружной поверхности стены (1524 г.) была окрашена составом белого цвета на минеральной основе. Цвет близок к образцу «Natur-Weiß».

Здание неоднократно перекрашивалось составами на минеральной основе. Первоначальные штукатурные работы производились известково-песчаными составами (без цемента). Следует отметить, что на всех представленных образцах нижележащие окрасочные и затирочные слои не удалялись должным образом, поэтому многие отобранные пробы напоминают «слоёный пирог». Первоначально внутренние и наружные поверхности стен здания были оштукатурены известково-песчаными растворами и окрашены минеральными составами.

Пятна зелёного и чёрного цвета, имеющие место на исследованных поверхностях образцов, представляли собой грибы и водоросли. С поверхностей образцов были взяты пробы, которые рассеяли в чашки Петри с агаризованной средой Чапека. Во всех пробах был выявлен высокий уровень микробной обсеменённости, окраска колоний микроорганизмов соответствовала окраске проб. В пробах с зелёной окраской преобладали микроскопические водоросли рода *Pleurococcus*, в пробах с чёрной окраской – микроскопические грибы рода *Alternaria* [4, 5, 8].

Анализ результатов обследования объекта дал основание предположить, что причиной таких масштабных биоповреждений, является целый комплекс факторов, а именно:

- дефекты кровли;
- отсутствие водосточных труб;
- отскок дождевой воды;
- плохое состояние кирпичной основы.

Для борьбы с биологической коррозией рекомендуется использовать следующие препараты импортного производства, специально предназначенные для удаления биологических загрязнений (грибов, водорослей, плесени) и предотвращения их появления на минеральных строительных материалах, и методы обработки ими фасадов:

- 1) обработка водоразбавляемым фунгицидным, альгицидным и бактерицидным средством, не содержащим фенола и солей тяжёлых металлов;

- 2) предварительная очистка поверхности специальным экологичным средством, не содержащим активного хлора и солей тяжёлых металлов с последующей обработкой бактерицидным, фунгицидным и альгицидным средством, не содержащим фенола, формальдегида и солей тяжёлых металлов [4, 5, 8].

Проведению штукатурных и окрасочных работ должны предшествовать не только восстановление кровли, но и водосточных систем, а также работы по гидроизоляции здания.

Все виды работ на данном объекте категории «0» следует проводить в соответствии с действующим законодательством в сфере охраны историко-культурного наследия Республики Беларусь. При необходимости (по согласованию с научным руководителем объекта) проводить фотофиксацию и иные виды контроля произведенных работ.

Все отделочные слои внутренних и наружных поверхностей здания (штукатурку, окрасочные составы) следует механически удалить до основания. Для этого необходимо использовать жёсткие щётки, а также скребки и шпатели. Не допускается промывка поверхности холодной водой под давлением. Окрасочные составы рекомендуется удалять послойно. В случае обнаружения фрагментов художественных росписей на внутренних поверхностях стен здания следует приостановить ремонтные работы, информировать Министерство культуры, вызвать для обследования, консультации и дальнейших работ специалистов-реставраторов и научного руководителя объекта, а также принять решение о дальнейшем порядке ведения ремонтно-реставрационных работ и необходимости дополнительного обследования внутренних поверхностей здания.

Для восстановления штукатурного слоя рекомендуется использовать штукатурные смеси на основе известкового вяжущего, не содержащие цемента, обладающими водостойкостью, высокой паропроницаемостью и адгезией к основанию. В частности рекомендуется штукатурная сухая смесь отечественных производителей или аналогичная, специально предназначенная для выполнения реставрационных штукатурных работ по основаниям исторических зданий и памятников архитектуры, где требуется применение растворов, не содержащих цементное вяжущее. Для выравнивания неровно затёртой штукатурки и затирки микротрещин рекомендуется использовать известковую затирку на основе диспергированной белой извести [4, 5].

Перед окраской поверхность рекомендуется обработать грунтовкой, изготовленной на основе высокоактивной гидратной извести. Грунтовка должна обладать высокой паропроницаемостью, максимально приближенной к значению паропроницаемости минеральных составов. Грунтование проводится с целью уменьшения водопоглощения основания и улучшения адгезии к основанию последующего слоя лакокрасочного покрытия.

В случае приготовления штукатурного раствора на строительной площадке следует использовать рецептуру раствора, определённую данными исследованиями (таблица 2). Рекомендуется использовать известь с содержанием активных CaO и MgO не менее 65 %. Песок должен соответствовать требованиям ГОСТа и быть отмыт от глинистых примесей.

Восстановление кирпичной кладки рекомендуется на сложном растворе M50F50 с защитным покрытием из цементно-песчаного раствора M100F100. Возможно применение кладочных растворов зарубежных производителей, рекомендованных для реставрационных работ с соответствующей прочностью на сжатие и морозостойкостью.

Окрашивание поверхностей стен следует проводить составами, формирующими покрытие с высокой паропроницаемостью. Для этого в наибольшей степени подходят высококачественные известковые краски, специально предназначенные для реставрационных работ по известковым основаниям, имеющие хорошую паропроницаемость и долговечность. Кроме того, рекомендуются силикатные фасадные краски, предназначенные для проведения реставрационных работ по богатым известью основаниям. Данные краски содержат в своём составе жидкое калиевое стекло с органическими стабилизаторами, обладают высокой укрывистостью и светостойкостью. Производить покраску наружных и внутренних поверхностей стен здания рекомендуется не ранее, чем через 28 суток после выполнения всех подготовительных (в том числе штукатурных) работ [9, 10, 11, 12, 13].

При покраске наружных и внутренних поверхностей стен данного объекта недопустимо использование обычных водно-дисперсионных красок на основе акриловых полимеров. В этом случае может произойти омыление полимерного плёнкообразователя, что сопровождается шелушением краски, отслоением её от подложки и изменением первоначального цвета. Кроме того, низкая паропроницаемость покрытия может привести к его отслоению от минеральной подложки [5, 10, 11, 12].

Заключение

Исследованные известково-песчаные штукатурные растворы раннего и позднего исторических периодов значительно отличались друг от друга как по соотношению компонентов, так и по гранулометрическому составу заполнителя. Более ранние аутентичные растворы имели количественное соотношение компонентов известь:заполнитель = 1:1 – 1:2 (богатые известью растворы). Более поздние аутентичные растворы характеризовались соотношением известь:заполнитель = 1:3 – 1:4,5. Заполнитель (кварцевый песок) ранних и поздних аутентичных штукатурных растворов значительно отличался по гранулометрическому составу. Это позволяет предположить, что в различные исторические периоды кварцевый песок для штукатурных работ был привезен из разных карьеров. Ремонтные штукатурные растворы современного исторического периода являлись известково-цементно-песчаными и имели соотношение компонентов 1:1:2-1:1:3. Первоначально нервюра в молельном зале (1524 г.), цоколь (1524 г.) и основная плоскость наружной поверхности стены (1524 г.) были окрашены составом белого цвета на минеральной основе. Цвет близок к образцу «Natur-Weiß». Основная плоскость наружной поверхности стены притвора слева от входа в здание (достройка в 1872 г.) первоначально была окрашена составом белого цвета на минеральной основе. Цвет близок к образцу «Natur-Weiß».

Здание неоднократно перекрашивалось различными составами. Окрасочные работы и в раннее, и в более позднее время производились составами на минеральной основе. Изначально здание было оштукатурено известково-песчаными растворами и окрашено минеральными составами.

Пятна зелёного и чёрного цвета, имеющие место на исследованных поверхностях образцов, представляли собой грибы и водоросли. В пробах с зелёной окраской преобладали микроскопические водоросли рода *Pleurococcus*, в пробах с чёрной окраской – микроскопические грибы рода *Alternaria* [4, 5, 8]. Анализ результатов обследования объекта дал основание предположить, что причиной таких масштабных биоповреждений является целый комплекс факторов, а именно: дефекты кровли, отсутствие водосточных труб, отсык дождевой воды, плохое состояние кирпичной основы. Для борьбы с биологической коррозией рекомендуется использовать препараты импортного производства, специально предназначенные для удаления биологических загрязнений (грибов, водорослей, плесени) и предотвращения их появления на минеральных строительных материалах.

До проведения основных ремонтно-реставрационных работ следует уделить внимание ремонту кровли, водосточных систем, а также работам по гидроизоляции здания.

Все применяемые материалы для ремонта фасадов и внутренних стен должны быть совместимы с сохраняемыми материалами по своим физико-механическим характеристикам, работать с ними в единой системе, не провоцируя появления и развития дефектов. Долговечность всех применяемых материалов должна быть подтверждена соответствующими лабораторными испытаниями и практикой применения. Окраску следует проводить либо красками на основе исторического связующего – известковыми, либо на силикатном связующем [5, 13, 14, 15]. В случае обнаружения фрагментов художественных росписей на внутренних поверхностях стен здания следует приостановить ремонтные работы, информировать Министерство культуры, вызвать для обследования, консультации и дальнейших работ специалистов-реставраторов и научного руководителя объекта, а также принять решение о дальнейшем порядке ведения ремонтно-реставрационных работ и необходимости дополнительного обследования внутренних поверхностей здания. Все виды работ на данном объекте категории «0» следует проводить в соответствии с действующим законодательством в сфере охраны историко-культурного наследия Республики Беларусь.

Научный подход к вопросам реставрации памятников культуры в Республике Беларусь позволяет сохранить историко-культурное наследие нашей страны. Сохранение историко-культурного наследия нашей страны является обязательной функцией современного государства и составляет одно из направлений его политики в сфере культуры [11, 12, 13, 15]. Историко-культурное наследие Республики Беларусь является достоянием белорусского народа, представляет собой важнейший источник творческих сил нации, выступает эффективным средством национального развития.

Список цитированных источников

1. Дзяржаўны спіс гісторыка-культурных каштоўнасцей Рэспублікі Беларусь / склад. В. Я. Абрамскі, І. М. Чарняўскі, Ю. А. Барысюк. – Мінск : БЕЛТА, 2009. – 684 с.
2. Кодэкс Рэспублікі Беларусь аб культуры. – Мінск : Нац. цэнтр прававой інфарм. Рэсп. Беларусь, 2016. – 272 с.
3. Никитин, Н. К. Химия в реставрации: справ. пособие / М. К. Никитин, Е. П. Мельникова. – Л. : Химия, 1990. – 304 с.
4. Фрессель, Ф. Ремонт влажных и поврежденных солями строительных сооружений / Ф. Фрессель. – М. : ООО «Пэйнт-медиа», 2006. – 320 с.
5. Брок, Т. Европейское руководство по лакокрасочным материалам и покрытиям: пер. с англ. / Т. Брок, М. Гротеклаус, П. Мишке; под ред. Л. Н. Машляковского. – М. : Пэйнт-Медиа, 2004. – 548 с.
6. Пруцын, О. И. Реставрация и реконструкция архитектурного наследия. Теоретические и методические основы реставрации исторического и архитектурного наследия / О. И. Пруцын. – М.: Академия реставрации, 1996. – 91 с.
7. Реставрация памятников архитектуры: учебное пособие для вузов / С.С. Подъяпольский [и др.]; под общ. ред. С. С. Подъяпольского. – 2-е изд. – М. : Стройиздат, 2000. – 288 с.
8. Тур, Э. А. Реставрация Коссовского дворца Пусловских и решение возникших при этом технических проблем / Э. А. Тур, В. Н. Казаков, С. В. Басов // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2017 – № 1: Строительство и архитектура. – С. 128–131.
9. Ивлиев, А. А. Реставрационные строительные работы / А. А. Ивлиев, А. А. Калыгин. – М.: ПрофОбрИздат, 2001. – 272 с.
10. Куртуков, В.А. Об особенностях выбора строительных материалов для реставрации объектов историко-культурного наследия / В. А. Куртуков // Вестник ТГАСУ. – Томск., 2012. – № 2. – С. 66–69.
11. Тур, Э.А. К вопросу о сохранении объектов историко-культурного наследия в г. Бресте / Э.А. Тур, С.В. Басов // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2018. – № 1: Строительство и архитектура. – С. 17-21.
12. Тур, Э. А. Исследование минеральных материалов, использованных при постройке дворцового комплекса Сапегов в Ружанах / Э. А. Тур, С. В. Басов // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2014. – № 1: Строительство и архитектура. – С. 88–91.
13. Комплексные научные исследования фасадов костела святых Петра и Павла в д. Рожанка Гродненской области / Э. А. Тур [и др.] // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2020. – № 1: Строительство и архитектура. – С. 147–152.
14. Скальный, В. С. Проблемы сохранения, причины разрушения и первичное обследование недвижимых памятников архитектуры и истории: монография / В. С. Скальный, Е.В. Косыгин. – Орел: ГАУ, 2003. – 201 с.
15. Комплексные научные исследования руин усадьбы «Наднёман» в д. Наднёман Узденского района Минской области как объекта историко-культурного наследия / Э. А. Тур [и др.] // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2021. – № 1: Технические науки (строительство, машиностроение, геоэкология), экономические науки. – С. 33–38.

References

1. Dzyarzhayny spis gistoryka-kul'turnyh kashtoynascej Respubliki Belarus' / sklad. V. Ya. Ablamski, I. M. CHarnyaŭski, Yu. A. Barysyuk. – Minsk : BELTA, 2009. – 684 s.
2. Kodeks Respubliki Belarus' ab kul'tury. – Minsk : Nac. centr pravavoj infarm. Resp. Belarus', 2016. – 272 s.
3. Nikitin, N. K. Himiya v restavracii: sprav. posobie / M. K. Nikitin, E. P. Mel'nikova. – L. : Himiya, 1990. – 304 s.
4. Fryossel', F. Remont vlazhnyh i povrezhdennyh solyami stroitel'nyh sooruzhenij / F. Fryossel'. – M. : ООО «Pejnt-media», 2006. – 320 s.
5. Brok, T. Evropejskoe rukovodstvo po lakokrasochnym materialam i pokrytiam: per. s angl. / T. Brok, M. Groteklaus, P. Mishke; pod red. L. N. Mashlyakovskogo. – M. : Pejnt-Media, 2004. – 548 s.
6. Prucyn, O. I. Restavraciya i rekonstrukciya arhitekturnogo naslediya. Teoreticheskie i metodicheskie osnovy restavracii istoricheskogo i arhitekturnogo naslediya / O. I. Prucyn. – M.: Akademiya restavracii, 1996. – 91 s.
7. Restavraciya pamyatnikov arhitektury: uchebnoe posobie dlya vuzov / S.S. Pod'yapolskij [i dr.]; pod obshch. red. S. S. Pod'yapolskogo. – 2-e izd. – M. : Strojizdat, 2000. – 288 s.
8. Tur, E. A. Restavraciya Kossovskogo dvorca Puslovskih i reshenie vznikshih pri etom tekhnicheskikh problem / E. A. Tur, V. N. Kazakov, S. V. Basov // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2017 – № 1: Stroitel'stvo i arhitektura. – S. 128–131.
9. Ivliev, A. A. Restavracionnye stroitel'nye raboty / A. A. Ivliev, A. A. Kalygin. – M.: ProfObrIzdat, 2001. – 272 s.
10. Kurtukov, V.A. Ob osobennostyah vybora stroitel'nyh materialov dlya restavracii ob'ektov istoriko-kul'turnogo naslediya / V. A. Kurtukov // Vestnik TGASU. – Tomsk., 2012. – № 2. – S. 66–69.
11. Tur, E. A. K voprosu o sohranении ob'ektov istoriko-kul'turnogo naslediya v g. Breste / E. A. Tur, S. V. Basov // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2018. – № 1: Stroitel'stvo i arhitektura. – S. 17-21.
12. Tur, E. A. Issledovanie mineral'nyh materialov, ispol'zovannyh pri postrojke dvorcovogo kompleksa Sapegov v Ruzhanah / E. A. Tur, S. V. Basov // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2014. – № 1: Stroitel'stvo i arhitektura. – S. 88–91.
13. Kompleksnye nauchnye issledovaniya fasadov kostela svyatyh Petra i Pavla v d. Rozhanka Grodnenskoj oblasti / E. A. Tur [i dr.] // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2020. – № 1: Stroitel'stvo i arhitektura. – S. 147–152.
14. Skal'nyj, V. S. Problemy sohraneniya, prichiny razrusheniya i pervichnoe obsledovanie nedvizhimyh pamyatnikov arhitektury i istorii: monografiya / V. S. Skal'nyj, E.V. Kosygin. – Orel: GAU, 2003. – 201 s.
15. Kompleksnye nauchnye issledovaniya ruin usad'by «Nadnyoman» v d. Nadnyoman Uzden'skogo rajona Minskoj oblasti kak ob'ekta istoriko-kul'turnogo naslediya / E. A. Tur [i dr.] // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2021. – № 1: Tekhnicheskie nauki (stroitel'stvo, mashinostroenie, geoeкологиya), ekonomicheskie nauki. – S. 33–38.

Материал поступил 25.05.2023, одобрен 29.06.2023, принят к публикации 30.06.2023

УДК 72.06

ОЦЕНКА ЭСТЕТИЧЕСКОГО ВОСПРИЯТИЯ ВИЗУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ФАСАДАХ ПЕРВЫХ ЭТАЖЕЙ ЗДАНИЙ

А. В. Толочко

Магистр архитектуры, аспирант кафедры архитектуры и строительства УО «Белорусский государственный университет транспорта», Гомель, Беларусь, e-mail: tolochkoalesya@gmail.com

Реферат

Объектом исследования и анализа в данной статье является то насыщение города, которое в большей степени подвержено изменениям и максимально влияет на восприятие города пешеходами. Такие объекты, выполняя свою главную информационную функцию, одновременно играют существенную роль в формировании эстетического облика города. Также они существенным образом влияют на имидж города, демонстрируют его культуру и уровень развития. На примере города Гомеля показаны как негативные, так и положительные примеры использования объектов визуальной информации в первых этажах зданий. Сделан анализ вывесок и витрин, а также даны рекомендации по гармонизации таких объектов и выбора места их размещения.

Ключевые слова: визуальная информация, вывески, витрины, городская среда.

EVALUATION OF AESTHETIC PERCEPTION OF VISUAL INFORMATION ON THE FACADES ON THE GROUND FLOOR OF BUILDINGS

A. V. Tolochko

Abstract

The object of research and analysis in this article is the saturation of the city, which is more subject to change and has the greatest impact on the perception of the city by pedestrians. Such objects, performing their main information function, at the same time play a significant role in shaping the aesthetic appearance of the city. They also significantly affect the image of the city, demonstrate its culture and level of development. On the example of the city of Gomel, both negative and positive examples of the use of visual information objects in the first floors of buildings are shown. An analysis of signboards and shop windows is made, as well as recommendations are given for the harmonization of such objects, and the choice of their location.

Keywords: visual information, signboards, shop windows, urban environment.

Введение

Эстетическое восприятие визуальной информации является неотъемлемой частью нашей жизни. В наши дни, когда все насыщено визуальными образами, обработка их стала естественной и быстрой. Однако мы часто не задумываемся о том, как воспринимаем окружающие нас объекты, даже если это здания, в которых мы живем или работаем. Когда мы говорим об эстетическом восприятии в первых этажах зданий в городской застройке, важно учесть, что эти объекты в большинстве своем являются коммерческими или офисными. Их внешний вид имеет огромное значение для формирования имиджа компании, привлечения клиентов, но также и просто для создания комфортной и эстетичной городской среды.

Изучением восприятия городской среды занимались отечественные теоретики архитектуры, такие как А. В. Иконников, А. Э. Гутнов, А. А. Высоковский, А. Филько, И. И. Середюк, О. С. Шемелина, Ю. А. Горелова Ю. Р. и др. [1, 2]. Ю. Р. Горелова писала о том, что формирование образа начинается с уровня ощущений. А после к этой первичной информации добавляется информация о прошлых опытах человека и подключается мышление, а также подключаются процессы воображения, тогда формируется ткань образа. Таким образом, в формировании образа присутствуют стадии первичного чувственного восприятия, логического осмысления, активизируются процессы памяти и воображения. При этом образ лишен коллажности и мозаичности, напротив, образ всегда предполагает целостность картинки [3]. Сегодня внимание архитекторов и дизайнеров направлено на решение проблем создания комфортной визуальной среды города, на изучение зрительно-пространственной среды, включающих цветовую и световую палитры улиц, композиционное решение архитектурных объектов и форм, ландшафтный дизайн, витрины, рекламу, автотранспорт и другое.

Тема эстетического восприятия городской среды изучается давно и широко, но до сих пор является актуальной. Сегодня существует определенная проблема, связанная с перенасыщением города визуальной информацией. А многие крупные города имеют облик «рекламного журнала». Такое изобилие визуальных объектов затрудняет ориентацию в городе, а также бывает порой сложно определить наиболее привлекательные и полезные для посещения участки города. Но, несмотря на это, человек нуждается в утолении своего информационного голода. А значит необходимо структурировать эти объекты, вносить четкость в их объем, количество и места размещения, чтобы городская среда была в меру очевидна, интересна и легка в распознавании [4].

В данной статье речь идет об объектах визуальной информации располагаемых в первых этажах зданий. Здесь можно часто увидеть большие витрины, лаконичное оформление фасада, необычные идеи или, наоборот, яркие плотно оформленные, загроможденные витрины и фасады. Однако эстетическое восприятие не ограничивается только внешним видом зданий. Важно также учитывать их функциональность и комфортность для пользователей. В первых этажах зданий, кроме офисов и магазинов, также могут находиться кафе, рестораны, салоны красоты, банки и другие учреждения. Важно, чтобы эти места были не только стилизованными и красивыми, но и понятными с функциональной точки зрения. Необходимо отметить, что развитие и изменение объектов визуальной информации идет непрерывно. И споры между «рекламщиками», которые зарабатывают на размещении рекламных носителей и архитекторами, которые заинтересованы в сохранении эстетического и целостного облика городской среды идут постоянно. Целью данной статьи является попытка проанализировать эстетические требования к содержанию, цветовым решениям, размерам, размещению и материальной составляющей объектов визуальной информации в первых этажах зданий на примере города Гомеля [5].

Основная часть. Анализ объектов визуальной информации на фасадах первых этажей зданий в городе Гомеле

В первых этажах центральных улиц города Гомеля, как и во многих других городах, располагаются магазины, кафе, банки, почтовые отделения и др. Но здания в большинстве своем старые и несут историко-культурную ценность, а значит вся красота фасадов, лепнины, цветового решения не должна быть утеряна. Старые постройки не предполагали размещение на себе рекламы. Они уже сами по себе являются носителями информации, но информации другого характера, они несут в себе историю, память, чувства, возможно уже ностальгию. И здесь уже нужно постараться повесить вывеску кафе или магазина так, чтобы она читалась, но не был нарушен облик здания. На это будет влиять и размеры, и место размещения, и цвет вывесок. В первых этажах зданий располагается большое количество визуальной информации, которая может быть использована для различных целей, таких как привлечение внимания прохожих, информирование о продукции, услугах, приглашении посетить конкретное место и т. д. Все варианты визуальной информации, которая может быть размещена на первых этажах зданий, можно условно разделить на виды: вывески, эмблемы, витрины, дополнительная текстовая информация, дополнительное оборудование (рисунок 1).



Рисунок 1 – Виды визуальной информации на фасадах первых этажей зданий

Вывески — это рекламные конструкции, предназначенные для привлечения внимания людей к месту расположения организации или объекта. Вывески могут быть выполнены из различных материалов (пластик, металл, стекло, дерево и др.), иметь разную форму и размер, содержать текстовую или графическую информацию. Многие считают, что вывески и другие рекламные элементы в первых этажах зданий могут вредить архитектуре и визуальному облику города. Этот аргумент основывается на том, что вывески могут нарушать единство и красоту архитектурного облика здания или окружающей застройки. Однако к вопросу о том, вредят ли вывески архитектуре, можно подойти с разных сторон. Вывески и рекламные элементы на зданиях могут дополнить его внешний вид и подчеркнуть его индивидуальность. Кроме того, вывески могут представлять историческую, культурную или условную ценность, например как символ города или места. В конечном итоге разумное использование рекламных элементов и вывесок может улучшить визуальный облик здания и города в целом, не нарушая единства архитектурной композиции (рисунок 2).

К вывескам, закрепленным на фасадах зданий, должны предъявляться особые требования. А при проектировании и установке вывесок на зданиях, имеющих историко-культурную ценность, следует учитывать строгие требования к сохранению исторических и архитектурных особенностей здания и его окружения. Выбор материалов, стиля и размеров должен соответствовать архитектурному стилю здания и его историческому контексту. Важно использовать материалы, которые соответствуют материалам, используемым при строительстве здания. Выбирать стиль и шрифт, соответствующие времени постройки здания.

Устанавливать вывески необходимо таким образом, чтобы они не загромождали и не нарушали архитектуру. Также такие конструкции не должны перекрывать собой декоративные элементы зданий.



Рисунок 2 – Вывеска на здании универмага на улице Советская в городе Гомеле

Вывеска должна быть четкой и лаконичной, чтобы ее можно было прочитать быстро и легко. Она должна отображать ключевую информацию без лишних деталей и лишнего текста. Важным критерием при разработке дизайна объекта визуальной информации будет его цветовое решение. Цвет вывесок, табличек, указателей должен гармонировать с цветовой гаммой архитектуры. Для лучшей читаемости важно делать такие объекты на несколько тонов темнее или светлее фона. Не плохие результаты достигаются, при использовании на зданиях, являющихся историко-культурной ценностью, монохромных вывесок, табличек, логотипов. Черно-белые цвета не так часто используются в рекламе и на сегодняшний день они способны привлечь внимание.

Эмблема — это графическое изображение, символ или знак, который используется компанией или организацией для идентификации себя и своих продуктов. Эмблема может быть выполнена в разных форматах и стилях и может включать в себя текст, графические элементы и символы. Эмблемы на фасадах зданий также могут вредить их внешнему виду, если они выполнены не соответствующим образом. К внешнему виду эмблем предъявляются те же требования, что и к вывескам. Часто бывает так, что бренд уже популярен и узнаваем, имея свой цвет логотипа, не сочетающийся с цветом фасада. Здесь, на мой взгляд, нужно обратить внимание на размер и месторасположение вывески на фасаде. В первую очередь она не должна иметь слишком большие габариты, а во-вторую, ее следует расположить в свободной от декора плоскости.

Витрины — это прозрачное стеклянное или пластиковое окно, расположенное на фасаде, которое используется для демонстрации предлагаемых продуктов или услуг. Витрины обычно обрамляются декоративными элементами и могут иметь подсветку, которая позволяет продуктам выглядеть более привлекательными. Существует много различных видов витрин в первых этажах зданий, которые могут использоваться для привлечения внимания прохожих и потенциальных клиентов. Витрины могут быть открытого и закрытого типа, а также иметь различную тематическую направленность. При использовании открытых витрин стирается граница между интерьером и экстерьером, прохожему через стекло виден весь торговый объект. Закрытые витрины имеют перегородку, отделяющую витрину от зала, что позволяет в большей степени акцентировать внимание на рекламной экспозиции. Возможно также создание комбинированных вариантов, где перегородка условно разделяет зал от витрины. По оформлению витрины можно разделить на предметные и тематические. Предметные витрины демонстрируют товар, которым торгует магазин, оповещают о скидках, распродаже, поступлении новых коллекций. Тематические витрины посвящены определенной теме или событию. Они могут быть сделаны в праздничной тематике или относительно актуальных новостей. Их цель — создать настроение, показать идеи и образы.

Витрины играют важную роль в формировании городской среды, так как являются одним из элементов визуальной культуры города.

Хорошо оформленные витрины способны преобразить уличные пространства, добавить им жизни и уюта, а также повысить культурный уровень городской среды. Кроме того, витрины могут служить местом выставления художественных работ, что придает городу дополнительную культурную ценность и способствует развитию творческого потенциала горожан. Кроме этого, витрины могут выражать характер и стиль города, отображая культурные и исторические особенности. Также витрины могут стать площадкой для общественных и культурных мероприятий. Например, их можно использовать для выставок картин и фотографий, концертов и театральных представлений. Это позволяет создавать атмосферу общения и обмена идеями, которая в свою очередь способствует культурному и социальному развитию города. В целом витрины выполняют множество задач, которые помогают создать уютную атмосферу в городской среде. Они позволяют создавать настроение и привлекать внимание к различным точкам, а также помогают передавать идеи и взгляды на мир. Без витрин город был бы менее интересным и менее привлекательным для жителей и туристов.

В городе Гомеле оформлению витрин уделяется недостаточно внимания. Часто можно встретить окна первых этажей, заклеенные глухой пленкой с яркой рекламой. Такой вариант не является эстетическим как для общей картины города, так и с маркетинговой точки зрения. Хочется сказать, что хорошо оформленный, красивый город заставляет людей выходить на улицы, гулять, общаться, посещать заведения, а это не плохой способ развития экономики города. Также визуальная привлекательность важна не только для рекламы и маркетинга, но для эстетической удовлетворенности горожан. Когда на все окна здания наклеивают пленку, то неважно, какая на них может быть реклама или информация – создается впечатление заброшенности, отсутствия жизни и движения (рисунок 3).



Рисунок 3 – Пример витрин торгового центра в г. Гомеле

Дополнительная информация может включать в себя информационные таблички (расписание работы, информация о мероприятиях, планы здания и т. д.), мультимедийные устройства (дисплеи, светодиодные экраны, проекторы и т. д.), фотографии продукции или услуг и т. д. Такая информация должна быть ограниченной и нести исключительно дополнительное информирование. Может быть в виде отдельной таблички, закрепленной на фасаде, или наносится на окна и двери.

К дополнительному оборудованию можно отнести уличную мебель (скамейки, стулья, столы и т. д.), окошки, киоски, террасы и летние кафе, интерактивные экспозиции – игровые автоматы, сенсорные экраны, информационные стенды для посетителей, цветы и озеленение (рисунок 4). Зелень и цветы на фасадах и витринах – это эффективный способ привлечь внимание к зданию или магазину. Они могут добавить цвета, жизни и уюта в окружающую среду, а также повысить визуальный интерес к торговому объекту. Зелень и

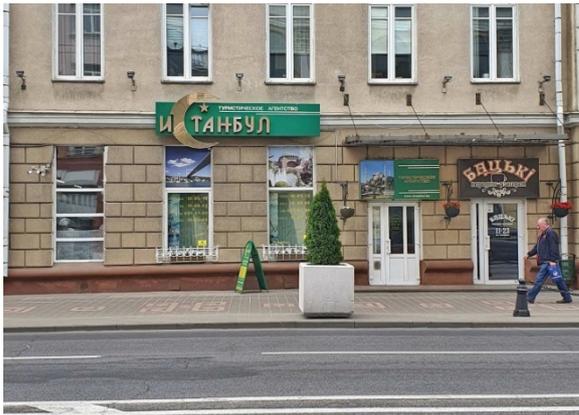
цветы на фасадах и витринах могут играть важную роль в гармонизации городской среды и делать её более приятной и экологичной для жизни. В городах, где большинство зданий и домов построены из бетона и стекла, добавление зелени и цветов может создать концентрацию внимания как на конкретных зданиях, так и на городском ландшафте в целом. Это может создать ощущение того, что город более благоприятный для жизни и приведет к увеличению количества людей, желающих жить в нем. Кроме того, зелень и цветы могут улучшить качество воздуха и выступать хорошим средством шумопоглощения в городских районах.



Рисунок 4 – Дополнительное оборудование (уличная мебель, озеленение) возле кафе на проспекте Ленина г. Гомеле

Кроме грамотного продуманного размера, цвета, формы и места размещения вывески, стоит обратить внимание на такие средства гармонизации эстетической среды, как освещение. Подсветка витрин и вывесок может быть эффективным средством гармонизации городской среды, создавая привлекательные и уютные пространства для прохожих. Правильно подобранная подсветка витрин и вывесок может создать красивую ночную иллюминацию, которая может стать гордостью города и привлечь еще больше туристов. Эффективное и красивое использование подсветки витрин и вывесок может стать ключом к созданию уникальной и гармоничной городской среды, улучшать качество жизни жителей. Практически все конструкции информационного характера разрабатываются с возможностью многократной смены информации. Торговые объекты на первых этажах зданий открываются, закрываются, переезжают. Поэтому вся дополнительная информация на фасадах не должна причинять физический вред зданию и не нарушать его эстетическую целостность. И это то, что актуально на сегодняшний день. Сменяемость должна быть быстрой, легкой и как можно менее материалозатратной. При выборе вида информирования на фасаде здания о деятельности компании первоочередным будет фасад здания. То есть, исходя из архитектуры, дизайна и общей концепции фасада, необходимо выявить наилучшие места для размещения визуальной информации, далее определиться с размерами, которые вывеска может занимать на фасаде и определить возможные цветовые решения на конкретном фасаде. И только потом должны подключаться дизайнеры и рекламщики для создания макета по установленному регламенту. В городе достаточно примеров, когда эта последовательность была нарушена, а соответственно и нарушена вся задумка фасада. Однако хочется отметить, что достаточно примеров грамотных решений входных групп в первых этажах зданий. В таблице 1 приведены примеры таких входных групп с указанием положительных и отрицательных сторон.

Таблица 1 – Анализ визуальной информации входных групп первых этажей зданий

ПРИМЕР ВХОДНОЙ ГРУППЫ	АНАЛИЗ
	<p>Вывеска большого размера, закрывающая карниз. Много лишней дополнительной информации. Заклеена вся площадь окон. Зеленый цвет не используется на фасаде здания. Сделана попытка создания вывесок над двумя разными входами одного размера и формы, однако они не сочетаются, так как одна из них несет дополнительную информацию. Морально устаревшее оформление входной группы.</p>
	<p>Лаконичные вывески, панели-кронштейны расположенные по ходу движения пешеходов. Сохранение светопрозрачности оконных проемов. Сохранение архитектурных элементов.</p>
	<p>Вывески разных цветов, не сочетающихся с цветом фасада. Вывески размещены на разных уровнях и имеют разные размеры. Отсутствует общая задумка решения фасада.</p>
	<p>Цвет обрамления окон сочетается с цветом цоколя всего здания. Дополнительная информация нанесена лаконично, частично закрывая оконные проемы. В оформлении вывески сделана попытка повторить декоративный элемент, как над оконными проемами. Оформлены открытые предметные витрины с возможностью смены инсталляций.</p>

Также в городе существует вариант оформления входной группы как произведения искусства (рисунок 4). Такой способ максимально отличает это место от других и привлекает к себе внимание. Но такой вариант подходит для тихих, узких улиц, пешеходных улиц и для фасадов зданий, не имеющих декоративного оформления. В целом визуальная информация на первых этажах зданий играет важную роль для привлечения внимания и формирования узнаваемости места.



Рисунок 5 – Декоративное оформление входной группы в городе Гомеле

В нашей жизни есть много вещей, которые со временем уходят в прошлое. Это относится и к наружной рекламе, а точнее, к морально устаревшим вывескам и витринам. Морально устаревшее оформление вывесок может отличаться от современных трендов и модных стилей. Это может быть связано с устаревшими графическими решениями, нерациональным использованием пространства, низким качеством материалов и другими факторами. Также могут быть устаревшими витрины, оформленные в ярких или несколько безвкусных цветах, которые не соответствуют современным трендам. Однако следует отметить, что иногда устаревшее оформление вывесок может быть использовано как стилистический прием для создания атмосферы времени. Но в таком случае, за счет отсутствия следов физического износа такие визуальные объекты не несут вреда эстетике городской среды.

Заключение

Таким образом, эстетическое восприятие визуальной информации в первых этажах зданий является важным аспектом, который должен учитываться при проектировании и оформлении зданий. Внимание к деталям и учет функциональности и комфортности поможет создать гармоничную и приятную городскую среду. Анализируя объекты визуальной информации на фасадах первых этажей зданий в городе Гомеле, можно сказать, что существует разница в оформлении главных и второстепенных улиц города. Встречаются не совсем приятные для глаза места, нуждающиеся в корректировке. Первые этажи должны быть привлекательными, функциональными и открытыми для людей. Они должны быть наполнены достойным контентом и товаром, представлять атмосферу, необходимую для комфортного пребывания покупателей и гостей города. Оформление первых этажей в городе является важным фактором городской застройки, который может улучшить визуальный облик города и создать более приветливую и безопасную городскую среду. Все вышесказанное демонстрирует, что дизайн первых этажей является важной частью общей концепции города. Поэтому при планировании и застройке города необходимо уделять особое внимание оформлению первых этажей, чтобы сделать город всеми любимым местом, где люди будут с удовольствием жить и работать.

Список цитированных источников

1. Иконников, А. В. Искусство, среда, время : Эстетическая организация городской среды / А. В. Иконников. – Москва : Советский художник, 1985. – 336 с., ил.
2. Шемелина, О. С. Особенности восприятия городской среды жителями малых городов (на примере городов новосибирской области) / О. С. Шемелина, О. Е. Ванина // Баландинские чтения: сб. ст. 8 науч. чтений памяти С. Н. Баландина, Новосибирск, 18–20 апр. 2013 г. – Новосибирск, 2014. – С. 386–395.
3. Горелова, Ю. Р. Образ города в восприятии горожан: монография [Электронное издание] / Ю. Р. Горелова. – М.: Институт Наследия, 2019. – 154 с. – Режим доступа: <https://heritage-institute.ru/?books=gorelova-yu-r-obraz-goroda-v-voSPIriyatii>.
4. Малков, И. Г. Классификация объектов архитектурно-визуальной информации и условия их размещения / И. Г. Малков, А. В. Толочко // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F, Строительство. Прикладные науки. – 2022. – № 8. – С. 89–95.
5. Малков, И. Г. Архитектура Гомеля : моногр. / И. Г. Малков, И. И. Малков, А. В. Евстратенко. – Гомель : БелГУТ, 2021. – 176 с.

References

1. Ikonnikov, A. V. Iskusstvo, sreda, vremya : Esteticheskaya organizatsiya gorodskoj sredy / A. V. Ikonnikov. – Moskva : Sovetskij hudozhnik, 1985. – 336 s., il.
2. SShemelina, O. S. Osobennosti voSPIriyatii gorodskoj sredy zhityeliami malyh gorodov (na primere gorodov novosibirskoj oblasti) / O. S. SShemelina, O. E. Vanina // Balandinskie chteniya: sb. st. 8nauch. chtenij pamyati S. N. Balandina, Novosibirsk, 18–20 apr. 2013 g. – Novosibirsk, 2014. – S. 386–395.
3. Gorelova, Yu. R. Obraz goroda v voSPIriyatii gorozhan: monografiya [Elektronnoe izdanie] / Yu. R. Gorelova. – M.: Institut Naslediya, 2019. – 154 s. – Rezhim dostupa: <https://heritage-institute.ru/?books=gorelova-yu-r-obraz-goroda-v-voSPIriyatii>.
4. Malkov, I. G. Klassifikatsiya ob"ektov arhitekturno-vizual'noj informatsii i uslo-viya ih razmeshcheniya / I. G. Malkov, A. V. Tolochko // Vestnik Polockogo gosudarstvenno-go universiteta. Seriya F, Stroitel'stvo. Prikladnye nauki. – 2022. – № 8. – S. 89–95
5. Malkov, I. G. Arhitektura Gomelya : monogr. / I. G. Malkov, I. I. Malkov, A. V. Evstratenko. – Gomeľ : BelGUT, 2021. – 176 s.

Материал поступил 31.05.2023, одобрен 11.06.2023, принят к публикации 12.06.2023

УДК 624

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБРАЗЦОВ БЕТОНА МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ ПО НЕКОТОРЫМ ХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

Н. В. Левчук¹, К. А. Олехнович²

¹ К. т. н., доцент, доцент кафедры инженерной экологии и химии УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: 961896@bstu.by

² Студент гр. М-156 факультета инженерных систем и экологии УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: kirilolehnovich@gmail.com

Реферат

По результатам исследования образцов бетона элементов мостовых сооружений, таких как балки, плиты перекрытий, насадки, опоры, возможно дать предварительную оценку воздействия внешних агрессивных факторов на инженерное сооружение. В образцах бетонов, взятых при обследовании некоторых мостовых сооружений Республики Беларусь, определяли содержание ионов хлора, кальция, pH в водных вытяжках. Исследовались пробы воды, отобранные в местах эксплуатации инженерных сооружений. Предварительные результаты на данном этапе исследований дают возможность установить зависимость содержания некоторых химических элементов в образцах бетона от воздействия внешних факторов, таких как атмосферные осадки, качество воды водных объектов, хозяйственная деятельность человека.

Ключевые слова: элементы мостовых сооружений, инженерное сооружение, содержание ионов хлора, кальция, водные вытяжки, пробы воды.

EXPERIMENTAL-THEORETICAL RESEARCH OF CONCRETE SAMPLES OF BRIDGE STRUCTURES FOR SOME CHEMICAL INDICATORS

N. V. Levchuk, K. A. Olekhovich

Abstract

Based on the results of the study of concrete samples of elements of bridge structures, such as beams, floor slabs, nozzles, supports, it is possible to give a preliminary assessment of the impact of external aggressive factors on an engineering structure. In concrete samples taken during the examination of some bridge structures of the Republic of Belarus, the content of chlorine, calcium, and pH ions in water extracts was determined. The samples of water taken in the places of operation of engineering structures were studied. Preliminary results at this stage of research make it possible to establish the dependence of the content of some chemical elements in concrete samples on the impact of external factors, such as precipitation, water quality of water bodies, and human economic activity.

Keywords: elements of bridge structures, engineering structure, content of chlorine and calcium ions, water extracts, water samples.

Образование в конструкциях дефектов и повреждений различного происхождения является важной причиной исследования процессов разрушения инженерных гидротехнических и мостовых сооружений. При эксплуатации мостовых сооружений, постоянно подвергающихся воздействию агрессивной водной среды, атмосферных осадков, действию механических сил, необходимо учитывать то, что до механического разрушения материал может быть поврежден в результате внутренних физико-химических процессов, таких как коррозия бетона и арматуры, дегидратация, перекристаллизация, образование новых солей в поровом пространстве материала и других [1].

Климатические условия, связанные с перепадами температур с одновременными частыми атмосферными осадками, способствуют ускорению процессов коррозии строительных материалов инженерных сооружений. При взаимодействии с атмосферными осадками большой вред окружающей среде и сооружениям наносят источники газообразных выбросов. К ним относятся промышленные предприятия, транспорт, природные и техногенные пожары. В составе газообразных выбросов содержатся оксиды двух и четырехвалентного углерода (CO и CO₂), оксиды двух и трех валентной серы (SO₂ и SO₃), оксиды азота различной валентности (NO и NO₂), сероводород (H₂S). Нормативное содержание CO₂ в атмосферном воздухе составляет 0,03–0,04 %. Повышение содержания углекислого газа во влажном воздухе способствует процессам карбонизации в поровом

пространстве бетонов мостовых и гидротехнических сооружений, трубопроводов.

Влияние на мостовые сооружения водных объектов также является причиной повреждений и процессов, приводящих к снижению коррозионной стойкости материалов. С этой целью в работе определялись некоторые показатели качества воды в пробах из водных объектов. К основным показателям качества воды природного водоема относится водородный показатель – pH. Нормативное значение pH для водных объектов находится в пределах от 6,5 до 8,5. Отклонение значения pH в природной воде от установленной нормы вызывают загрязнения воздуха кислотными примесями, которые с атмосферными осадками попадают в водоем. Изменение pH могут вызывать недостаточно очищенные и не очищенные сточные воды промышленных предприятий, создавая агрессивную среду по отношению к гидротехническим и мостовым сооружениям.

Качество природной воды в значительной степени зависит от содержания в ней растворенных солей минерального происхождения. Основное солесодержание обусловлено соединениями кальция и магния, которые характеризуют жесткость воды. Содержание анионов хлора, сульфат анионов, карбонатов и гидрокарбонатов, катионов железа и других ионов обуславливают минерализацию природных водных объектов. Для каждого из ионов соли установлено нормативное значение ПДК [2].

Таблица 1 – Основные показатели предельно допустимых концентраций компонентов, создающих минерализацию воды

Катионы и анионы солей	ПДК (предельно допустимая концентрация)
Кальций Ca ²⁺	200 мг/л
Магний Mg ²⁺	100 мг/л
Сульфат SO ²⁻	500 мг/л
Хлорид Cl ⁻	350 мг/л
Железо общее Fe ²⁺ Fe ³⁺	0,3 мг/л

Для оценки воздействия водных объектов на мостовые сооружения в местах их эксплуатации были отобраны пробы из рек Птичь, Уса, Карпиловка и Поплавка. В пробах определялись жесткость воды, содержание хлоридов, водородный показатель. Результаты исследований приведены в таблице 2.

Анализируя результаты исследований проб воды в реках, можно сделать вывод о том, что исследуемые показатели не превышают установленные нормативы качества воды в природных водных объектах. Однако известно, что естественное содержание сульфатов в поверхностных и грунтовых водах обусловлено выветриванием пород и биохимическими процессами, происходящими в водоносных слоях. Предельное содержание сульфат-ионов в воде источников централизованного водоснабжения не должно превышать 500 мг/л, но, как правило, в речной воде концентрация сульфатов составляет 100–150 мг/л. Повышенная концентрация сульфатов может свидетельствовать о загрязнении водного объекта производственными сточными водами.

Хлориды являются составной частью большинства природных вод. Однако в воде рек концентрация хлоридов невелика – обычно она не превышает 10–30 мг/л, поэтому повышенное количество хлорид-ионов указывает на загрязнение водного объекта сточными водами. В соответствии с нормативами качества воды природных водных объектов концентрация хлоридов не должна превышать 350 мг/л. При некоторых соотношениях сульфатов и хлоридов вода становится агрессивной по отношению к различным типам бетонов [3].

Содержание ионов кальция и магния в пробах показало, что вода в реках относится к категории вод средней жесткости.

Известно, что при снижении жесткости воды, т. е. содержании ионов Ca²⁺, Mg²⁺ и увеличении значения водородного показателя pH, вероятность присутствия в воде свободного CO₂ увеличивается, что ускоряет процессы коррозии арматуры и карбонизации бетона мостовых и гидротехнических сооружений.

Таблица 2 – Показатели качества воды в пробах природных водных объектов

Название реки	pH	Жесткость мгэкв/л Ca ²⁺ /Mg ²⁺	Хлориды мг/л	Сульфаты мг/л
Уса	8,06	5,5	45,67	57,2
Карпиловка	7,42	4,4	101,18	48,8
Поплавка	7,86	4,3	49,70	58,7

В результате длительной эксплуатации гидротехнических и мостовых сооружений, при действии химически активных по отношению к цементному камню ионов водной среды, таких как хлориды, нитраты, сульфаты, способствующих разрушению бетонов и арматуры, одним из основных факторов является скорость диффузии и скорость химических реакций, с продуктами гидратации минералов цемента. Скорость проникновения в глубину бетона активных компонентов зависит как от характера среды, так и структуры бетона [4]. Необходимо учитывать свойство гигроскопичности солей нитратов, сульфатов и хлоридов, притягивающих воду и влагу из атмосферы, т. е. с увеличением содержания солей в материале увеличивается и содержание воды.

При эксплуатации инженерных сооружений, контактирующих с агрессивной средой, необходимо учитывать длительные и кратковременные нагрузки, такие как давление грунта, возникающее при деформации оснований и конструкций, и температурных воздействий; давление наносов; поровое давление в водонасыщенных грунтах при нормальном подпорном уровне и нормальной работе противодиффузионных и дренажных устройств. К кратковременным нагрузкам относятся волновые, снеговые, судовые, ледовые и др. В категорию особых временных выделены нагрузки, отличающиеся случайным характером проявления. К ним относятся гидростатическое и фильтрационное давления воды при форсированном подпорном уровне или при нарушении работы противодиффузионных, дренажных устройств.

С целью защиты элементов мостовых сооружений, контактирующих с агрессивной средой, предусмотрены меры по гидроизоляции и герметизации материалов, а также применяются водонепроницаемые бетоны и фибробетоны рекомендуемых классов прочности на сжатие (B20–B60). Для приготовления бетонных смесей для сборных и монолитных конструкций следует применять бездобавочный портландцемент и портландцемент с минеральными добавками по ГОСТ 31108, ГОСТ 30151, ГОСТ 969, ГОСТ 22266 характеристики, которых определяют по ГОСТ 310.1–310.4 [5]. При агрессивных воздействиях на бетонные и железобетонные конструкции в процессе эксплуатации, цемент выбирают в соответствии с СН 2.01.07 – 2020 Защита строительных конструкций от коррозии.

Однако в результате длительной эксплуатации инженерных сооружений, бетон, содержащий некоторый объем пор, способен поглощать и транспортировать влагу и содержащиеся в ней растворенные кислотные оксиды, снижающие значение pH в вытяжках бетона. Бетоны различного состава могут быть не устойчивы к воздействию как кислой, так и щелочной среды.

Для оценки состояния эксплуатируемого гидротехнического сооружения первоначально проводится осмотр сооружения с целью определения дефектов. При наличии в конструкциях мостовых сооружений трещин, отслоений, шелушений и других повреждений бетона возникает необходимость определения качественного состава воды водного объекта и химического состава бетона. С этой целью отбираются пробы бетона с поврежденных участков сооружений.

В работе исследовались водные вытяжки из образцов бетона взятых в местах дефектов деталей мостовых сооружений и путепроводов, а также пробы воды из рек где эксплуатируются мосты. По количественному содержанию химических веществ в водных вытяжках образцов бетона, таких как ионы хлора, pH, ионы кальция, карбонизация, оценивался уровень воздействия внешних агрессивных факторов на инженерные гидротехнические сооружения и путепроводы.

Содержание ионов хлора в водных вытяжках бетонных образцов определялось в соответствии с ГОСТ 26425 – 85. Почвы. Методы определения ионов хлора в водной вытяжке. Для определения ионов хлора в водных вытяжках проводилось динамическое титрование до точки эквивалентности азотнокислым серебром на приборе 848 Titrip plus (рисунок 1). Затем производился расчет в соответствии с методикой определения хлоридов [6], процентное содержание которых представлено в таблице 3.



Рисунок 1 – Определение ионов хлора в водных вытяжках

Полученные результаты предварительно проведённых исследований указывают на зависимость содержания ионов кальция, хлора и pH в вытяжках образцов бетона из различных частей мостовых сооружений (стойки, опоры, балки, плиты перекрытий, насадки) (рисунок 3), что позволяет определить элементы сооружений, в наибольшей степени подвергающиеся внешнему воздействию.

В пробах образцов элементов мостовых сооружений, расположенных в вертикальной плоскости, к ним относятся стойки и опоры, определяется более высокое содержание ионов кальция, что соответствует более высокому значению pH.

При этом содержание хлорид ионов в вытяжках этих элементов преимущественно меньше, чем в образцах элементов, расположенных в горизонтальной плоскости, т. е. в плитах перекрытий, насадках и балках.

При анализе результатов исследований необходимо учитывать сроки эксплуатации мостовых сооружений. Мост через р. Птичь эксплуатируется более 40 лет. Более высокое содержание ионов кальция в вертикальных конструкциях этого моста указывает на переход кальция в растворимые соединения, которые вымываются из бетона просачивающейся водой или атмосферными осадками. Высокое содержание хлоридов в крайней балке моста (более 0,2 %) может указывать на многолетнее использование соли при зимней эксплуатации сооружения.

Таблица 3 – Результаты определения химических показателей в водных вытяжках образцов бетона

Элементы мостовых сооружений	Химические показатели			
	pH	содержание Ca ²⁺ (мг / л)	содержание Cl ⁻ мг экв / 100г	содержание Cl ⁻ в %
Мост река Птичь				
Опора 5	9,08	55	2,14	0,075
Насадка	9,26	16	2,34	0,082
Балка 1	9,13	37	5,99	0,209
Балка 3	9,43	56	3,99	0,138
Мост река Уса				
Опора 2	10,54	32	1,54	0,054
Насадка 2	9,74	24	0,48	0,017
Балка 2	9,63	14	0,75	0,026
Мост река Карпиловка				
Опора 2	8,94	13	0,25	0,009
Плита	8,95	11	1,45	0,051
Мост река Поплавка				
Насадка 3	10,56	30	1,16	0,02
Насадка 4	8,49	30	1,68	0,059
Насадка 5	9,11	40	1,68	0,059
Стойка	9	34	1,67	0,059
Балка 1	9,79	26	0,76	0,03

Относительно высокое содержание хлоридов в р. Карпиловка (101,18 мг/л), при небольшой жесткости воды (4,4 мгэкв/л), способствует процессам миграции воды в бетоне в результате поверхностной диффузии и капиллярной проводимости и, как следствие, вымыванию растворимых солей кальция из бетона. Это подтверждают низкие значения pH водных вытяжек (8,95) и, как следствие, низкое содержание ионов кальция.



Рисунок 2 – Содержание кальция в водных вытяжках конструкций мостовых сооружений

В сравнении с отдельными конструкциями мостовых сооружений в вытяжках стоек и опор содержание ионов кальция преимущественно больше, чем в других конструкциях.

Показатель pH определялся потенциометрическим способом на приборе HANNA pH 211 Microprocessor pH Meter.

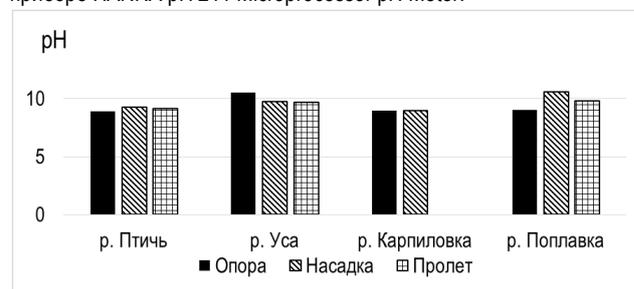


Рисунок 3 – Анализ значений водородного показателя pH

Полное содержание хлоридов является суммой свободных хлорид ионов в поровом растворе и связанных хлоридов на поверхности гидратов, поэтому в общем случае содержание хлоридов зависит от пористости и вида вяжущего. Учитывая высокую водонепроницаемость бетонов и низкую пористость, содержание хлоридов на поверхности гидратов пор в работе не определялось.

Для определения зависимости содержания хлоридов необходимо оценивать расположение каждого отдельного элемента конструкции моста и учитывать влияние процессов карбонизации бетонов.

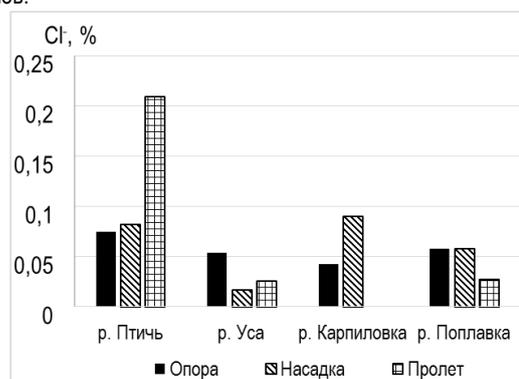


Рисунок 4 – Содержание ионов хлора (%) в водных вытяжках конструкций мостовых сооружений

В дальнейшем планируется определить степень карбонизации бетона представленных мостовых сооружений. Это позволит выявить более точную зависимость содержания ионов кальция и хлора в элементах конструкций мостов как от внешних факторов, так и внутренних физико-химических преобразований, происходящих в процессе эксплуатации мостов.

Такой подход к оценке состояния инженерных объектов позволяет прогнозировать коррозионные процессы, происходящие в отдельных конструкциях сооружений, своевременно производить ремонт, рационально использовать строительные материалы, правильно эксплуатировать транспортные коммуникации.

Комплексная оценка внешних факторов, влияющих на долговечность инженерных сооружений, таких как качественный и количественный состав водных объектов и атмосферных осадков, хозяйственная деятельность человека, а также внутренние процессы, происходящие в бетоне, например, коррозия арматуры, перекристаллизация в результате изменения температур и временной фактор, позволяют выявить закономерности старения отдельных бетонных конструкций.

Список цитированных источников

1. Мясникова, А. А. Особенности применения строительных материалов на объектах историко-культурного наследия / А. А. Мясникова // Архитектура, градостроительство и дизайн. – 2021. – № 27. – С. 45–51.
2. Воронов, Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод : учебник для вузов / Ю. В. Воронов, С. В. Яковлев. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 704 с.
3. Линник, Л. И. Химия воды и микробиология : конспект лекций для студентов специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»; специализация 1-70 04 03 02 «Техническая эксплуатация и реконструкция систем водоснабжения и водоотведения» / Л. И. Линник. – Новополоцк : ПГУ, 2015. – 228 с.
4. Фрессель, Ф. Ремонт влажностных и поврежденных солями строительных сооружений / Ф. Фрессель. – М. : ООО «Пэйнт-Медиа», 2006 – 320 с.
5. Ляхевич, Г. Д. Бетон для мостовых и тоннельных конструкций, армированный органическими волокнами : пособие для студентов специальности 1-70 03 02 «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены» / Г. Д. Ляхевич, В. А. Гречухин, С. Ю. Рожанцев. – Минск : БНТУ, 2022. – 102 с.
6. Почвы. Методы определения иона хлорида в водной вытяжке. – ГОСТ 26425 – 85. – М. : Изд-во стандартов, 1986. – 9 с.

References

1. Myasnikova, A. A. Osobennosti primeneniya stroitel'nykh materialov na ob'ektah istoriko-kul'turnogo naslediya / A. A. Myasnikova // Arhitektura, gradostroitel'stvo i dizajn. – 2021. – № 27. – S. 45–51.
2. Voronov, Yu. V. Vodootvedenie i ochildka stochnykh vod : uchebnik dlya vuzov / Yu. V. Voronov, S. V. Yakovlev. – M. : Izdatel'stvo Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov, 2006. – 704 s.
3. Linnik, L. I. Himiya vody i mikrobiologiya : konspekt lekcij dlya studentov special'nosti 1-70 04 03 «Vodosnabzhenie, vodootvedenie i ohrana vodnykh resursov»; specializatsiya 1-70 04 03 02 «Tekhnicheskaya ekspluatatsiya i rekonstruktsiya sistem vodosnabzheniya i vodootvedeniya» / L. I. Linnik. – Novopolock : PGU, 2015. – 228 s.
4. Fressel', F. Remont vlazhnostnykh i povrezhdennykh solyami stroitel'nykh sooruzhenij / F. Fressel'. – M. : ООО «Pejnt-Media», 2006 – 320 s.
5. Lyahevich, G. D. Beton dlya mostovykh i tonnel'nykh konstrukcij, armirovannyj organicheskimi voloknami : posobie dlya studentov special'nosti 1-70 03 02 «Mosty, transportnye tonneli i metropoliteny» / G. D. Lyahevich, V. A. Grechuhin, S. Yu. Rozhancev. – Minsk : BNTU, 2022. – 102 s.
6. Pochvy. Metody opredeleniya iona hlorida v vodnoj vytyazhke. – GOST 26425 – 85. – M. : Izd-vo standartov, 1986. – 9 s.

Материал поступил 09.06.2023, одобрен 05.07.2023, принят к публикации 06.07.2023

УДК 628.543

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ЖИДКОСТЕЙ В ВИХРЕВЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СМЕСИТЕЛЯХ

Е. А. Урецкий¹, А. П. Дарманиян², В. В. Мороз³

¹Начальник научно-исследовательской лаборатории, Республиканское унитарное предприятие «Белорусский государственный проектный институт», Витебск, Беларусь, e-mail: euretsky@yandex.by

²Д. т. н., профессор кафедры Электрооборудования и электрохозяйства предприятий АПК ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет», Волгоград, Россия, e-mail: adarma@inbox.ru

³К. т. н., доцент, доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: vovavall@mail.ru

Реферат

Проведены исследования эффективности работы вихревого центробежного смесителя, предназначенного для смешения реагентов со сточными водами, и на их основании разработан малозатратный ресурсосберегающий вихревой смеситель для предварительного смешения реагентов со сточными водами защищённый а. с. на изобретение. Установлено, что такой смеситель обеспечивает предварительное смешение реагентов со сточными водами со степенью сегрегации до 90 %. При этом совокупность стадий перемешивания сточных вод и реагентов при их широком спектре расходов, практически приближается к идеальному смесителю.

Ключевые слова: вихревой смеситель, химический реактор, механические мешалки, pH, гидродинамика, структура потоков, микроперемешивание, реагенты.

STUDY OF THE EFFICIENCY OF MIXING LIQUIDS IN VORTEX CENTRIFUGAL MIXERS

E. A. Uretsky, A. P. Darmanyanyan, V. V. Moroz

Abstract

The efficiency of operation of a vortex centrifugal mixer designed for mixing reagents with wastewater has been studied, and on their basis, a low-cost resource-saving vortex mixer for preliminary mixing of reagents with wastewater protected by an a.s. has been developed for an invention. It has been established that such a mixer provides preliminary mixing of reagents with wastewater with a degree of segregation of up to 90 %. At the same time, the set of stages of mixing wastewater and reagents, with their wide range of costs, practically approaches the ideal mixer.

Keywords: vortex mixer, chemical reactor, mechanical stirrers, pH, hydrodynamics, flow structure, micromixing, reagents.

Введение

Перемешивание – одна из технологических операций, широко применяемых в химической промышленности для осуществления различных физических процессов и служащая для выравнивания полей концентраций и температур, и зачастую определяющая скорость протекания этих процессов, поскольку в этом случае оказывает влияние не только на скорость процесса, но и на качество очистки. Для расчета химических реакторов наряду с данными по кинетике химических процессов необходимо знать уровень смешения реагентов, а также состояние потоков реагентов, подаваемых в аппарат.

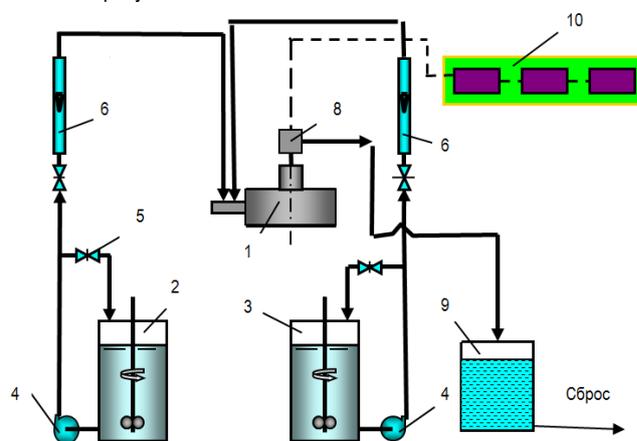
В химической промышленности и в частности при очистке сточных вод широко используют аппараты с механическими мешалками [1, 2, 3, 4].

Состояния предварительной смешанности можно добиться в таких аппаратах с помощью специальных мер [5, 10], но при этом необходимо обеспечить высокие скорости вращения мешалки, что приводит к значительному усложнению конструкции. В связи с этим, важное значение приобретают малые по объёму смесители, в которых для перемешивания реагентов используется кинетическая энергия потоков. Эти смесители применяются в химической промышленности для осуществления процессов перемешивания в различных системах (жидкость-жидкость, жидкость-газ, жидкость-твёрдое тело).

Основная часть. Исследование эффективности перемешивания и расчет статических смесителей

Широкое использование статических смесителей в промышленности ограничено из-за отсутствия методических материалов по их расчёту. Теоретическое описание перемешивания реагентов представляет значительные трудности, а систематических экспериментальных исследований пока недостаточно.

Поэтому на базовом предприятии ОАО «Брестский электромеханический завод» (ОАО «БЭМЗ») для проведения исследований по работе статических смесителей была смонтирована установка, показанная на рисунке 1.



- 1 – статический смеситель; 2, 3 – ёмкости для реагентов; 4 – насосы;
- 5 – вентили; 6 – ротаметры; 7 – смеситель;
- 8 – кондуктометрическая ячейка; 9 – сборная ёмкость;
- 10 – измерительная система;
- 9 – система для замера электропроводности

Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки (а. с. на изобретение № 160616)

Установка состояла из статического смесителя непрерывного действия 1, в который из ёмкостей 1 и 2 с помощью насоса 4 подавались растворы реагентов (едкого натрия и ацетилацетата). Расход реагентов регулировался с помощью вентилей 4 и регистрировался с ротаметрами 6. Растворы реагентов поступали в смеситель, перемешивались и вступали в химическое взаимодействие, а затем проходили кондуктометрическую ячейку 8 и поступали в сборную ёмкость 9, из которой периодически сливались. Электропроводность смеси, а вместе с ней и степень превращения реагентов регистрировалась с помощью измерительной системы 10.

Для проведения экспериментов был сконструирован смеситель объёмом 110 см³, показанный на рисунке 2. Он состоял из цилиндрического корпуса диаметром 64 мм, закрытого с обеих сторон крышками и снабжённым тангенциальным патрубком и двумя штуцерами для подвода перемешивающихся жидкостей.

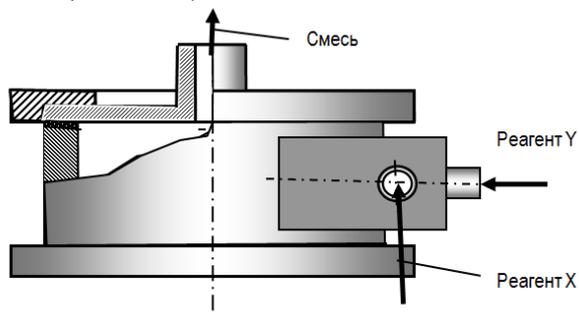


Рисунок 2 – Схема экспериментальной установки вихревого центробежного смесителя

Для вывода смеси использовался осевой отводящий патрубок. Перемешивание реагентов в статическом смесителе осуществлялось за счёт турбулизации потока во всём объёме смесителя.

Эффективность перемешивания в этом смесителе оценивалась как с точки зрения модели структуры потоков (кривых РВП-распределения времени пребывания), так и с точки зрения перемешивания химических реагентов на молекулярном уровне, т. е. микроперемешивания кривых на макро-, так и на молекулярном уровне, т. е. микроперемешивания.

Кривые РВП в виде кривых отклика на импульсное возмущение индикатором, в качестве которого был выбран KCl, регистрировались с помощью кондуктометрической ячейки.

Анализ полученных кривых отклика показал, что в широком интервале значений расхода жидкости 0,15–0,59 л/мин, что соответствует времени пребывания $\tau = 11 \pm 43$ с, модель структуры потоков центробежного смесителя отвечает модели идеального перемешивания.

Для оценки эффективности перемешивания в данном устройстве с точки зрения эффективности перемешивания использовался метод модельной химической реакции, применяемой для изучения аппаратов с мешалками и детально описанной в работе [9].

Согласно этому методу на вход в смеситель подавались два потока химических реагентов с известной кинетикой реакции, а на выходе из смесителя измерялась степень превращения вещества. Полученные значения сравнивались с максимально возможной величиной превращения вещества, которое имеет место в том случае, когда входящие потоки смешиваются на входе в устройство и не теряют свою индивидуальность вплоть до выхода из устройства, т. е. в состоянии полной сегрегации предварительно смешанных потоков. Всякое снижение степени смешения вещества ниже максимального свидетельствует о неполном смешивании входящих потоков жидкости, т. е. как раз о перемешивании на микроуровне.

В настоящем исследовании в качестве модельной реакции для исследования процесса микроперемешивания реагентов использовалась известная и хорошо изученная реакция омыления ацетата имеющая достаточную скорость уже при комнатной температуре, что позволило создать идеальные изотермические условия. Проведение этой реакции в вихревом центробежном смесителе при различных расходах реагентов позволило получить зависимость степени превращения вещества X % от критерия Дамкеллера $Da = KC_0T$, которая приведена на рисунке 3.

При изучении микроперемешивания использовали следующую методику: в ёмкости заливали растворы реагентов с требуемой начальной концентрацией, затем тарировали ротаметры по каждому потоку, после чего подавали оба реагента через смеситель.

На выходе через определённые интервалы времени брали пробы реакционной массы. Реакция в пробе останавливалась раствором щавелевой кислоты, избыток которой потом оттитровывался раствором щёлочи на приборе ЭВ-74. При этом каждый эксперимент повторялся 2–3 раза, а расчёт степени превращения вещества X_в осуществлялся как среднее в нескольких (трёх-четырёх) параллельных опытах, что позволило достигнуть точности

0,5–1,0 % по X_в.

В опытах варьировались начальные и конечные концентрации реагентов, расходы и соотношения реагентов, скорости истечения реагентов из сопел, температура смеси.

При любых технологических условиях соблюдалось требование, что средние значения концентраций реагентов по всему объёму смесителя равны между собой $C_{A0} = C_{B0}$. Степень превращения веществ X_в по результатам титрования вычислялась по формуле

$$X_v = 1 - \frac{C_{B_v}}{C_{B_0}} = 1 - \frac{2n \cdot V_r \cdot C_r - V_m \cdot C_m}{C_{B_j} \cdot n \cdot V_{пр}}$$

где V_{пр} – объём пробы после добавления в щавелевую кислоту реакционной массы;

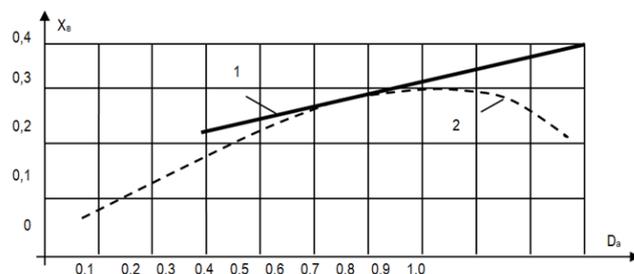
V_r – объём раствора, отбираемого на анализ;

V_t – объём раствора щёлочи, пошедшей на титрование;

Ст – концентрация раствора щёлочи, применяемая для титрования;

Сг – концентрация щавелевой кислоты, применяемой для остановки реакции в пробе;

n – доля объёма пробы, взятой на титрование.



1 – теоретическая кривая; 2 – экспериментальные значения, полученные при следующих условиях эксперимента: начальная концентрация реагентов $C_0 = 0,2$ моль/л, константа скорости химической реакции $K = 0,125$ моль/л · с при $T = 26$ °C, время пребывания $\tau = 11 \pm 43$ с

Рисунок 3 – Зависимость степени превращения вещества X_в, % от критерия Дамкеллера

На этом же рисунке приведена зависимость X от Da для крайнего состояния полной сегрегации предварительно смешанных потоков. Как видно из рисунка 3, при малых значениях Da меньше или равно 0,5 (малых τ , что то же самое, больших расходах жидкости) превращение вещества соответствует максимально возможному. Это свидетельствует о том, что на входе в смеситель произошло смешение реагентов на молекулярном уровне.

При уменьшении расхода жидкости, когда $Da > 0,5$, превращение вещества снижается и становится ниже максимального значения. Это свидетельствует о том, что в смесителе часть объёма занята непроперемешанными реагентами, или как согласно [5, 9] часть входящих потоков в течение некоторого времени остаётся сегрегированной. Таким образом, несмотря на то, что модель структуры потоков исследуемого смесителя отвечает модели идеального перемешивания, качество смешения реагентов зависит от расхода жидкости, т. е. от энергии входящих потоков. Поэтому при расчёте и проектировании таких устройств необходимо определять область их эффективной работы с точки зрения микроперемешивания.

Эффективность работы химических реакторов в значительной мере зависит от того, в каком состоянии подаются в аппарат потоки реагентов [5, 6] – предварительно смешанными или предварительно не смешанными.

Состояние предварительной смешанности гарантирует высокую степень превращения. Такое состояние входных потоков можно обеспечить различными методами: подачей реагентов в зону интенсивного перемешивания на края лопастей мешалки [7, 8, 9] либо использованием перед реакторами статических смесителей различной конструкции [7, 8, 9].

Схемы статических смесителей представлены на рисунке 4.

Перемешивание реагентов в статическом смесителе осуществляется за счет кинетической энергии потоков поступающих в смеситель реагентов. Объем смесительной камеры:

$$V = \tau (q_{v1} + q_{v2})$$

где: τ – время пребывания в смесительной камере 20 – 30 с.

Время пребывания, необходимое для обеспечения смешения

потоков [5, 6]:

$$\tau = \frac{0.5}{k \cdot C_0}$$

Сечение сопла, необходимое для обеспечения смешения потоков, по которому подается поток, обладающий более высокой скоростью:

$$f_1 = \frac{q_{v1}}{V_1},$$

$$V_1 \leq (2 - 4) \text{ м/с}$$

соотношение скоростей: $\frac{V_1}{V_2} \geq 5$ [9]

сечение сопла, по которому поступает медленный поток:

$$f_2 = \frac{q_{v2}}{V_2}$$

сечение выходного патрубка:

$$f_3 = \frac{q_{v1} + q_{v2}}{V_3}$$

скорость движения жидкости в выходном патрубке: $V_3 \leq 1.0 \text{ м/с}$

Соотношения геометрических размеров даны на рисунке 4.

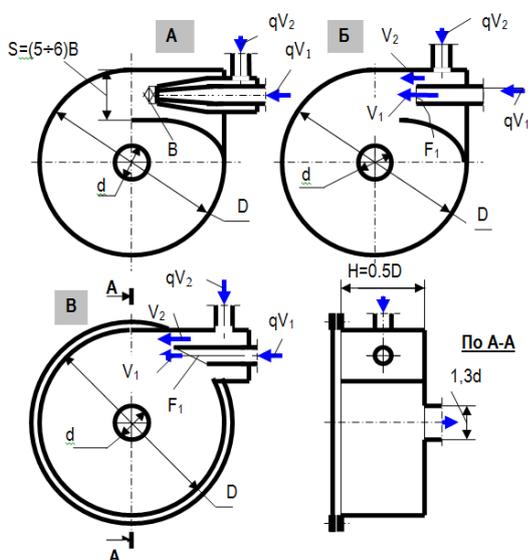


Рисунок 4 – Конструктивные схемы смесителей

В своё время авторами статьи в содружестве с сотрудниками кафедры «Процессы и аппараты химической технологии» ФГБОУ ВО «Волгоградский ГАУ» д.т.н. Дармьяном и д.т.н. Тишиным была

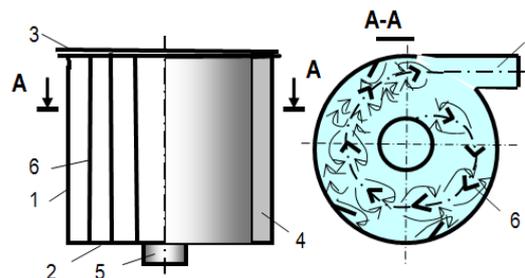
проделана работа для изучения режимов работы статического смесителя, совместно с которыми была создана соответствующая конструкция, защищённая а.с. № 1606167 [10] на изобретение, приведенная на рисунке 5.

Заключение

1. Для обеспечения эффективной работы смесителей необходимо обеспечить следующие условия: $D_a = 0.4$; $\Delta = 4 - 5$.

2. Использование статических смесителей предложенной конструкции позволит интенсифицировать процессы перемешивания химических реагентов.

3. Полученные данные можно использовать при проектном расчёте статических смесителей.



1 – цилиндрический корпус; 2 – крышка; 3 – тангенциальный патрубок; 4 – входной патрубок; 5 – выходной патрубок; 6 – турбулизаторы

Рисунок 5 – Вихревой смеситель (а.с. № 1606167 на изобретение.)

Использование таких смесителей резко уменьшает объем основного реактора, а в отдельных случаях позволяет обойтись и без него.

Эксперименты показали, что в широком диапазоне изменения расходов структура потоков соответствует модели идеального перемешивания и лишь при незначительных расходах происходит трансформация модели идеального перемешивания в диффузионную модель. Было также выяснено, что, несмотря на малое время пребывания реакционной массы в смесителе (от 8 до 40 с), степень превращения вещества соответствует расчетной.

Таким образом, статические смесители при больших расходах, создающих высокую турбулентность, позволяют обеспечить время перемешивания менее двух секунд и устойчивое функционирование систем очистки промышленных сточных вод. Такие устройства позволяют на входе в основную зону аппарата с мешалкой иметь один поток с перемешанной на молекулярном уровне смеси. Это исключает проски не прореагировавших веществ на выходе из аппарата, обеспечивает сокращение времени пребывания сточных вод в аппарате за счет высокой скорости химических процессов в состоянии полной сегрегации.

Экспериментальные исследования по микроперемешиванию показали, что превращение вещества, соответствующее полной сегрегации, может быть достигнуто в аппаратах с мешалками при подаче реагентов и сточных вод в зону интенсивного перемешивания (на края лопастей). Или в комбинированном аппарате, состоящем из последовательно соединенного статического смесителя и типового аппарата с перемешивающим устройством. В качестве аппаратного оформления процесса реагентной очистки могут быть приняты оба варианта.

Расчет производительности аппарата заключается в определении времени пребывания химических реагентов, обеспечивающего заданное превращение вещества. Как известно, степень превращения вещества зависит от скорости химических реакций, модели структуры потоков и от качества смешения реагентов на молекулярном уровне. В состоянии полной сегрегации, когда потоки химических реагентов и обрабатываемых сточных вод смешиваются на входе в аппарат и остаются сегрегированными до выхода, долю не прореагировавшего вещества можно определить по формуле:

$$\frac{C_e}{C_0} = \int_0^{\infty} \left(\frac{C_e}{C_0}\right)_{\text{пер}} * dF$$

где $\frac{C_e}{C_0}$ - кинетическая зависимость, полученная в аппарате периодического действия,

dF - функция распределения времени пребывания, полученная при изучении реакции системы на ступенчатое или импульсное возмущение.

Интерпретация данного выражения в графической форме позволяет определить необходимое значение (C_e/C_0) . Учитывая ранее полученные данные о микроперемешивании, можно считать, что при предварительной гомогенизации потоков в устройствах различных типов в аппарате имеет место состояние полной сегрегации.

Для любого значения pH среды можно рассчитать необходимое время пребывания смеси, а производительность аппарата определить по формуле:

$$q_v = \frac{V \cdot \varphi}{\tau}$$

где: φ - коэффициент заполнения аппарата,

V - номинальный объем аппарата.

Таким образом, можно определять производительность реакторной части установки для любого pH среды и выбранного объема аппарата.

Расчеты, произведенные на компьютерах по специально составленным программам, показали, что в стандартных аппаратах с перемешивающими устройствами при незначительных доработках по рекомендациям авторов можно резко интенсифицировать процессы обезвреживания промышленных сточных вод. При этом сокращение времени пребывания обрабатываемых сточных вод достигает 8 - 10 раз меньше чем установлено СНИПом и ТУ.

Список цитированных источников

1. Degremont. Справочник по обработке воды: в 2-х т. пер. с фр. – СПб.: Новый журнал, 2007. – 1696 с.
2. Очистка промышленных сточных вод: пер. с нем. – СПб.: Новый журнал, 2012. – 384 с.
3. Справочник по современным методам и технологиям очистки природных и сточных вод и оборудованию / ДАНСЭЕ, отдел по Восточной Европе. – Копенгаген, 2001. – 253 с.
4. Новый справочник химика. Ч II. – СПб.: НПО. «Профессионал». Процессы и аппараты химических технологий. МММ. – 2006. – 916 с.
5. Исследование эффективности перемешивания жидкосткостей в вихревых центробежных смесителях / С.И. Романов [и др.] // Сб. науч. трудов ВолгПИ. – Волгоград, 1986. – 136 с.

6. Использование статических смесителей для интенсификации процесса перемешивания жидких сред / А.И. Дарманян [и др.] // Тезисы докладов Всесоюзного совещания «Повышение эффективности и надёжности машин и аппаратов в основной химии». – Сумы, 1988.
7. Урецкий Е.А. Ресурсосберегающие технологии в водном хозяйстве промышленных предприятий : монография / Е.А. Урецкий. – Брест : БГТУ, 2007. – 396 с.
8. Урецкий, Е.А. Ресурсосберегающие технологии промышленного водоснабжения и водоотведения : монография / Е.А. Урецкий. – Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 360 с.
9. Урецкий, Е.А. Оптимизация существующих и разработка новых ресурсосберегающих технологий в водном хозяйстве предприятий приборо- и машиностроения : монография / Е.А. Урецкий, Е.С. Гоги-на, В.В. Мороз. – М. : АСВ, 2022. – 620 с.
10. А.с. 1606167 СССР В 01 F 5/00, В 04 С 3/00 ВПИ Вихревой аппарат / Е.А. Урецкий, Б.А. Митин, С.Н. Романов, О.А. Тишин, А.П. Дарманян, Н.В. Тябин. – 4 с.

References

1. Degremont. Spravochnik po obrabotke vody: v 2-h t. per. s fr. – SPb.: Novyj zhurnal, 2007. – 1696 s.
2. Ochistka promyshlennyh stochnyh vod: per. s nem. – SPb.: Novyj zhurnal, 2012. – 384 s.
3. Spravochnik po sovremennym metodam i tekhnologiyam ochistki prirodnyh i stochnyh vod i oborudovaniyu / DANSEE, otдел po Vostochnoj Evrope. – Kопengagen, 2001. – 253 s.
4. Novyj spravochnik himika. CH II. – SPb.: NPO. «Professional». Processy i apparaty himicheskikh tekhnologij. MMIM. – 2006. – 916 s.
5. Issledovanie effektivnosti peremeshivaniya zhidkostkостей v vihrevykh centroběžnyh smesitel'yah / S.I. Romanov [i dr.] // Sb. nauch. trudov VolgPI. – Volgograd, 1986. – 136 s.
6. Ispol'zovanie staticheskikh smesitelej dlya intensivatsii processa peremeshivaniya zhidkikh sred / A.I. Darmanyan [i dr.] // Tezisy dokladov Vsesoyuznogo soveshchaniya «Povyshenie effektivnosti i nadyozhnosti mashin i apparatov v osnovnoj himii». – Sумы, 1988.
7. Ureckij, E.A. Resursosberegayushchie tekhnologii v vodnom hozyajstve promyshlennyh predpriyatij : monografiya / E.A. Ureckij. – Brest : BGTU, 2007. – 396 s.
8. Ureckij, E.A. Resursosberegayushchie tekhnologii promyshlennogo vodosnabzheniya i vodootvedeniya : monografiya / E.A. Ureckij. – Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 360 s.
9. Ureckij, E.A. Optimizatsiya sushchestvuyushchih i razrabotka novyh resursosberegayushchih tekhnologij v vodnom hozyajstve predpriyatij priboro- i mashinostroeniya : monografiya / E.A. Ureckij, E.S. Gogina, V.V. Moroz. – M. : ASV, 2022. – 620 s.
10. A.s. 1606167 SSSR V 01 F 5/00, V 04 S 3/00 VPI Vihrevoj apparat / E.A. Ureckij, B.A. Mitin, S.N. Romanov, O.A. Tishin, A.P. Darmanyan, N.V. Tyabin. – 4 s.

Материал поступил 10.01.2023, одобрен 20.02.2023, принят к публикации 29.03.2023

УДК 614.841.332:691.33

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТОЙКОСТИ ВЫСОКОПРОЧНОГО, МОДИФИЦИРОВАННОГО И ЦЕНТРИФУГИРОВАННОГО БЕТОНОВ ПРИ ПОЖАРЕ

И. И. Полевода¹, Д. С. Нехань²

¹К.т.н., доцент, начальник государственного учреждения образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», Минск, Беларусь, e-mail: ip@uscр.by

²К.т.н., доцент кафедры пожарной безопасности государственного учреждения образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», Минск, Беларусь, e-mail: denis_nechany@mail.ru

Реферат

Для железобетонных конструкций предел огнестойкости является показателем, определяющим область их применения в строительстве и характеризующим промежуток времени, при котором конструкция сохраняет свои несущие и ограждающие функции при пожаре. Для теоретического определения предела огнестойкости необходимо знать основные характеристики материалов в нормальных условиях и характер их изменения при высокотемпературном нагреве, в частности при решении прочностной задачи огнестойкости – физико-механические свойства.

В настоящей статье представлена теоретическая модель стойкости высокопрочного, модифицированного и центрифугированного бетонов при пожаре, использование которой позволяет прогнозировать поведение конструкций из него при пожаре и оценить их предел огнестойкости. Указанная модель разработана на основании проведенного комплекса лабораторных и теоретических исследований высокопрочного, модифицированного и центрифугированного бетонов при высокотемпературном нагреве.

Ключевые слова: стойкость бетона при пожаре, прочность бетона на сжатие, высокотемпературный нагрев, коэффициент условий работы бетона при пожаре, высокопрочный бетон, модифицированный бетон, центрифугированный бетон.

THEORETICAL MODEL OF RESISTANCE OF HIGH-STRENGTH, MODIFIED AND SPUN CONCRETE IN FIRE

I. I. Palevoda, D. S. Nekhan

Abstract

For reinforced concrete structures the fire resistance is an indicator that determines the area of their application in construction and characterizes the period of time when the structure retains its load-bearing and enclosing functions in case of fire. For theoretical determination of the fire resistance it is necessary to know the main characteristics of materials in normal conditions and the nature of their changes during high-temperature heating, in particular, when solving the strength problem of fire resistance – physical and mechanical properties.

This paper presents a theoretical model of high-strength, modified and spun concrete resistance in fire, the use of which allows to predict the behavior of structures made of it in fire and to estimate their fire resistance. This model was developed on the basis of a set of laboratory and theoretical studies of high-strength, modified and spun concrete under high-temperature heating.

Keywords: fire resistance of concrete, compressive strength of concrete, high-temperature heating, coefficient allowing for decrease of characteristic strength of concrete, high-strength concrete, modified concrete, spun concrete.

Введение

При пожаре в железобетонных конструкциях происходит необратимое снижение прочности бетона вследствие нагрева, что оказывает существенное влияние на рабочие функции конструкций в нагретом или охлажденном состоянии [1–3]. Знание основных характеристик материалов в нормальных (начальных) условиях и характер их изменения при высокотемпературном нагреве – необходимые условия для теоретической оценки огнестойкости строительных конструкций. Для оценки свойств бетона, влияющих на огнестойкость выполненных из него конструкций, используется понятие стойкости бетона при пожаре. При этом стойкость бетона при пожаре как нормируемый показатель не задается, а оценивается через предел огнестойкости строительных конструкций, выполненных из него.

Для конструкций из высокопрочного бетона отсутствуют обоснованные данные для расчета в части влияния его прочности на сжатие, состава бетонной смеси, добавок на поведение при пожаре, для центрифугированного бетона – обоснованные данные для расчета прочности бетона на сжатие по сечению при пожаре (с учетом технологии его получения). Существующий ряд проблем требует проведения дополнительных теоретических и экспериментальных

исследований с доработкой действующих правил расчета пределов огнестойкости. Поэтому актуальным сегодня является изучение стойкости высокопрочного, модифицированного, центрифугированного бетонов при пожаре, под которой в данном контексте понимается совокупность прочностных свойств бетона, способствующих обеспечению нормируемой огнестойкости железобетонных конструкций.

Основы стойкости бетонов при пожаре

Приведенные в настоящей работе исследования стойкости бетона при пожаре являются частью комплексного эксперимента, рассмотренного в работах [1, 4–10], и служат основой для оценки огнестойкости железобетонных конструкций.

Термин «стойкость бетона при пожаре» в настоящей работе принимается эквивалентным термину «стойкость при кратковременном высокотемпературном нагреве», поскольку деструктивное воздействие вследствие высокой температуры при пожаре существенно превосходит эффект от воздействия других факторов пожара. Под высокотемпературным нагревом понимается нагрев конструкций свыше 200 °С от огневого воздействия, а также нагрев материалов до таких температур с использованием электрокамер-

ной печи. Температуры в интервале от 50 °С до 200 °С являются повышенными. Кратковременным высокотемпературным нагревом считается воздействие пожара (температур в печи) на конструкцию (материал) продолжительностью от нескольких минут до нескольких часов [11].

За основу для исследований приняты высокопрочный, модифицированный [4, 5] и центрифугированный бетоны [10]. В качестве характеристики стойкости бетона при пожаре принят коэффициент условий работы при пожаре $k_c(\theta)$. Данный параметр носит комплексный характер и применяется для интегральной модели стойкости бетона при пожаре. Коэффициент условий работы бетона при пожаре $k_c(\theta)$ учитывает изменение прочности бетона на сжатие при увеличении температуры. Он характеризует стойкость бетона к нагреву и показывает долю оставшейся прочности бетона на сжатие при заданной температуре от начальной [12, 13]. На основе исследований изменений характеристик бетона при высокотемпературном нагреве представляется возможным разработать теоретическую модель стойкости бетонов при пожаре, применение которой позволит расчетным путем определять значение коэффициента условий работы бетона при пожаре $k_c(\theta)$ при заданной температуре нагрева в зависимости от состава бетонной смеси, технологии его получения, а также рассчитывать поправочные коэффициенты для указанного коэффициента при введении добавок.

Для определения значений коэффициента условий работы бетона при пожаре $k_c(\theta)$ были проведены лабораторные исследования порядка 2200 бетонных образцов [1, 5, 10]. Полученная совокупность экспериментальных данных в дальнейшем была использована для разработки аналитической зависимости, позволяющей на базе анализа состава бетонной смеси определять коэффициент $k_c(\theta)$, а также аналитической зависимости $k_c(\theta)$ для центрифугированного бетона при пожаре от температуры и координаты от центра тяжести поперечного сечения изделия, – что позволило разработать теоретическую модель стойкости высокопрочного, модифицированного и центрифугированного бетонов при пожаре и методику расчета коэффициента условий работы бетона при пожаре на ее основе.

Для удовлетворения требований по безопасности следует назначать такие начальные показатели качества конструкции, чтобы с назначенной степенью надежности не происходило ее разрушение любого характера при самых неблагоприятных сочетаниях воздействий. Значения характеристик бетона, в частности прочности на сжатие, определяются с учетом их статистической изменчивости [14, 15]. На этапе изготовления железобетонных и бетонных конструкций в заводских условиях статическая изменчивость прочности бетона учитывается коэффициентом вариации, на основании чего ему присваивается соответствующий класс. При проектировании зданий и сооружений вводятся дополнительные коэффициенты безопасности к свойствам бетона и арматуры, а также принятым силовым нагрузкам. В расчетах огнестойкости принимается воздействие на строительные конструкции стандартного пожара, являющегося редким явлением, который представляет с точки зрения нагрева строительных конструкций один из наиболее неблагоприятных случаев. Таким образом, назначение коэффициентов, устанавливаемых в зависимости от опасности достижения предельных состояний, является одним из основных направлений обеспечения безопасности железобетонных конструкций.

Расчетная прочность бетона на сжатие f_{cd} при нормальных условиях определяется путем умножения характеристической прочности бетона на сжатие f_{ck} на коэффициент безопасности k_{CF} , принимающий значения менее 1. Коэффициент k_{CF} в рассматриваемом случае обратно пропорционален частному коэффициенту безопасности для бетона [16], учитывающему возможность отклонения в геометрических размерах сечений и разницу между прочностями бетона на опытных образцах и в конструкции, и прямо пропорционален коэф-

фициенту, учитывающему длительное действие силовой нагрузки и неблагоприятный способ ее приложения, а в случае применения высокопрочных бетонов – прямо пропорционален коэффициенту безопасности, учитывающему их хрупкий характер разрушения [14].

Рассчитанные значения коэффициента безопасности k_{CF} при $\eta_{fi} = 0,7$ для бетонов классов $C^8/10 \dots C^{90}/105$ находятся в диапазоне 0,31...0,40 (с повышением класса бетона k_{CF} уменьшается) [1].

Сравнительная оценка коэффициентов k_{CF} и $k_c(\theta)$ проводится с использованием зонного метода [13], который подразумевает деление сечения конструкции на элементарные зоны, в пределах которых бетон равномерно нагрет до одной температуры и обладает, соответственно, одинаковыми физико-механическими свойствами. Условие безопасности по огнестойкости, заключающееся в том, что остаточное расчетное предельное усилие, воспринимаемое конструкцией при пожаре, должно быть выше расчетного значения результата воздействия при пожаре [13], с учетом рассмотрения стойкости бетона при пожаре, допустимо записать следующим образом:

$$k_c(\theta) \geq k_{CF} \cdot \eta_{fi} \quad (1)$$

Анализ неравенства (1) показывает, что пластическое разрушение элементарной зоны при заданных граничных условиях не может произойти, пока величина коэффициента условий работы бетона при пожаре выше произведения коэффициента безопасности k_{CF} (для нормальных условий эксплуатации) и уровня нагрузки при пожаре η_{fi} , что позволяет установить критическую температуру θ_{cr} , соответствующую моменту пластического разрушения конструкции при пожаре (рисунок 1).

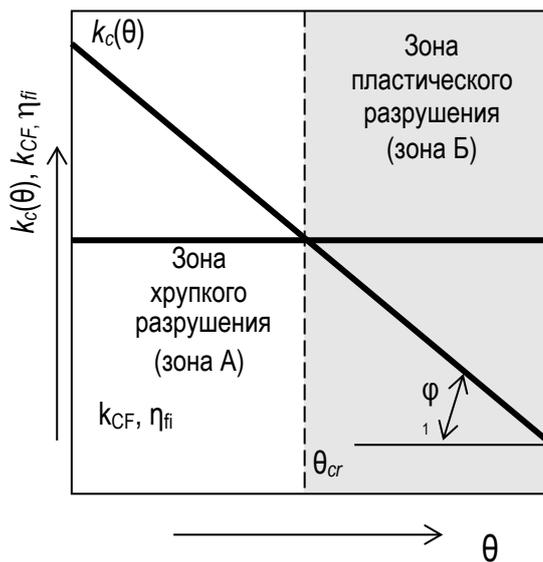


Рисунок 1 – Принципиальная зависимость $k_c(\theta)$ и k_{CF} от температуры нагрева θ

Определенные с использованием формулы (1) значения критических температур при значениях коэффициента $k_c(\theta)$, заложенных в Eurocode 2 [13], RakMK B4 [17], ТКП 45-2.02-110 [18], «Рекомендации...» [19] представлены в таблице 1 [1, 5].

Таблица 1 – Критическая температура (θ_{cr} , °C)

Класс бетона	Eurocode 2	ТКП 45-2.02-110	Рекомендации...	RakMK B4
C ⁸ / ₁₀ – C ⁶⁰ / ₇₅	520	600	485	750
C ⁷⁰ / ₈₅ – C ⁹⁰ / ₁₀₅	420	640	525	500

Таким образом, пластическое разрушение бетона при самом неблагоприятном сочетании коэффициентов невозможно при температурах нагрева бетона менее 400 °C (таблица 1). Анализ результатов исследований коэффициента условий работы бетонов при пожаре [1, 5, 10] показывает, что при 800 °C бетон сохраняет в среднем 5–20 % от первоначальной прочности, что приводит к разрушению конструкции. Следовательно, наиболее вероятный интервал критических температур нагрева 400–800 °C.

Закономерности влияния состава бетонной смеси на стойкость бетона при пожаре

Наибольшее влияние на снижение прочности бетона оказывает температура нагрева, свойства составляющих его материалов и протекающих структурообразующих и деструктивных процессов [1, 20]. Проблема анализа состава бетонной смеси затруднена сложностью происходящих при нагревании процессов, поскольку для различных температурных интервалов значимость влияния составных элементов композиций меняется [20]. Анализ свойств высокопрочных бетонов при нагреве [1] показал, что можно условно выделить две зоны изменения прочностных свойств бетона (рисунок 1) в зависимости от температуры нагрева: от 20 до 400 °C (зона А) и от 400 до 800 °C (зона Б).

В зоне А образцы бетона, как правило, сохраняют свои свойства не ниже начальных. Разрушение может проходить только хрупко. Процессы в данном интервале температур обусловлены влиянием цементного камня (далее – ЦК), а именно обезвоживанием и уплотнением гидросиликатной фазы, образованием новых структурных связей в контактной зоне и увеличением объема твердой фазы. Изменение $k_c(\theta)$ в пределах зоны А целесообразно определять с учетом изначального накопления дефектов структуры бетона. Введем коэффициент α_k , учитывающий накопленные дефекты структуры бетона при температуре 400 °C, с целью математического описания $k_c(\theta)$. С учетом результатов исследований, представленных в работе [5], α_k может быть представлен как произведение трех составляющих:

$$\alpha_k = \alpha_{в/ц} \cdot \alpha_{ТВО} \cdot \alpha_A, \tag{2}$$

где $\alpha_{в/ц}$ – коэффициент учета влияния водоцементного отношения для температуры 400 °C; $\alpha_{ТВО}$ – коэффициент учета температуры изотермического нагрева при тепловлажностной обработке (далее – ТВО) для температуры 400 °C; α_A – коэффициент учета влияния добавок для температуры 400 °C.

Увеличение температуры выше 400 °C (зона Б) приводит к усилению деструктивных процессов в бетоне. Процессы, происходящие в данной зоне, в первую очередь, обусловлены влиянием величин температурных деформаций ЦК и заполнителей, а также дегидратацией клинкерных минералов цементного камня и характеризуются нарастающей скоростью деструктивных процессов.

С учетом вышеописанных процессов в зоне Б введем коэффициент интенсивности деструктивных процессов ξ с целью математического описания $k_c(\theta)$ в интервале температур 400–800 °C. Аналогично α_k коэффициент ξ записывается как произведение трех компонентов:

$$\xi = \xi_G \cdot \xi_{ТВО} \cdot \xi_A, \tag{3}$$

где ξ_G – коэффициент учета объемных концентраций компонентов для температур 400–800 °C; $\xi_{ТВО}$ – коэффициент учета температуры изотермического нагрева при ТВО для температур 400–800 °C; ξ_A – коэффициент учета добавок для температур 400–800 °C.

Результаты эксперимента [5] показывают, что коэффициент учета накопленных дефектов α_k практически не зависит от относительной массы цементного камня $m_{цк}$ и соотношения мелкого и крупного заполнителей; n_G . Однако прослеживается связь указанных параметров с коэффициентом интенсивности деструктивных процессов ξ (рисунки 2 и 3).

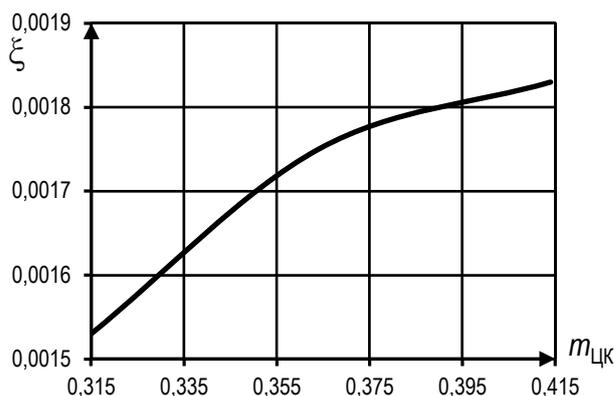


Рисунок 2 – Зависимость ξ от $m_{цк}$

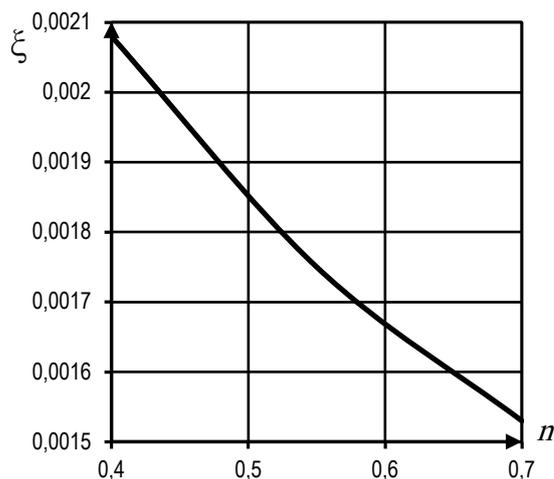


Рисунок 3 – Зависимость ξ от n_G

Проведенная обработка экспериментальных данных позволила при других фиксированных параметрах (при $\xi_{ТВО} = 1$ и $\xi_A = 1$) [5] вывести зависимости коэффициента интенсивности деструктивных процессов от относительного содержания цементного камня $m_{цк}$ и соотношения мелкого и крупного заполнителей n_G :

$$\xi = \xi_G = -0,0292m_{цк}^2 + 0,0243m_{цк} - 0,0032; \tag{4}$$

$$\xi = \xi_G = 0,0005 - 0,0005 \ln n_G \quad (5)$$

Исходя из специфики процессов, происходящих при нагреве в бетоне, не представляется возможным рассматривать влияние указанных компонентов ($m_{цк}$ и n_G) по отдельности. Оба параметра не оказывают существенного негативного влияния на коэффициент α_k . Вместе с тем результаты испытаний образцов 1-й (варьируемым параметром является $m_{цк}$) и 6-й (варьируемым параметром является класс бетона) серий [1, 5] показали, что ξ однозначно возрастает с увеличением суммы

относительной массы цементного камня $m_{цк}$ и крупного заполнителя $m_{кз}$ в бетоне, выраженной величиной Φ_0 :

$$\Phi_0 = m_{цк} + m_{кз} = \frac{1 + m_{цк} n_G}{1 + n_G} \quad (6)$$

Результаты испытаний показали, что варьирование параметра Φ_0 в достаточно широком диапазоне (от 0,68 до 0,78) значительно не отражается на величине ξ_G , которая составляет 0,00187 (таблица 2).

Таблица 2 – Значения Φ_0 и ξ_G для температур 400–800 °С

Серия	Состав [1]	$m_{цк}$	$m_{кз}$	$m_{мз}$	Φ_0	ξ_G
1	1-1	0,315	0,429	0,257	0,744	0,00153
	1-2	0,363	0,398	0,239	0,761	0,00175
	1-3	0,414	0,364	0,222	0,778	0,00183
2	2-1	0,369	0,372	0,259	0,741	0,00153
	2-2	0,369	0,408	0,223	0,777	0,00175
	2-3	0,369	0,450	0,181	0,819	0,00208
3	3-1	0,369	0,408	0,223	0,777	0,00187
	3-2	0,599	0,000	0,401	0,599	0,00153
	3-3	0,481	0,000	0,519	0,481	0,00153
6	6-1	0,239	0,448	0,313	0,686	0,00187
	6-2	0,314	0,433	0,252	0,748	0,00187
	6-3	0,310	0,411	0,279	0,721	0,00187
	6-4	0,352	0,417	0,230	0,770	0,00187
	6-5	0,356	0,417	0,227	0,773	0,00187
	6-6	0,351	0,420	0,229	0,771	0,00187

Примечание: составы бетонной смеси подобраны исходя из варьируемого параметра бетонной смеси [1]. Так, для составов 1-ой серии варьируемым параметром является $m_{цк}$, 2-ой серии – n_G , 3-ей серии – вид композиционного материала (далее – ВКМ); 6-ой серии – прочность бетона, обусловленная его классом.

В интервале температур 400...800 °С могут иметь место более низкие скорости деструктивных процессов, что характерно для составов 1-1, 1-2, 2-1, 2-2 (таблица 2). Анализ показал, что данные результаты в интервале $0,68 \leq \Phi \leq 0,78$ носят во многом случайный характер. При этом результаты испытания образцов 6-ой серии указывают на однозначное снижение скорости деструктивных при $\Phi_0 \leq 0,68$, что подтверждается при анализе результатов 3-ей серии. Таким образом, для $\Phi_0 \leq 0,68$ коэффициент интенсивности деструктивных процессов может быть принят $\xi_G = 0,00153$. В целях получения гарантированного результата использована практика «аналогичного худшего случая» по ISO/TR 10158, в соответствии с которой в интервале $0,68 \leq \Phi_0 \leq 0,78$ принимается $\xi_G = 0,00187$.

Анализ результатов 2-ой серии показал, что увеличение суммы относительной массы ЦК и крупного заполнителя свыше 0,78 негативно сказывается на процессах, протекающих в бетоне при пожаре, увеличивая скорость деструктивных процессов [1]. Проведенная обработка экспериментальных данных для составов с $\Phi_0 > 0,78$ позволила вывести следующую зависимость коэффициента ξ_G от Φ_0 :

$$\xi_G = 0,0032 \Phi_0^{2,13} \quad (7)$$

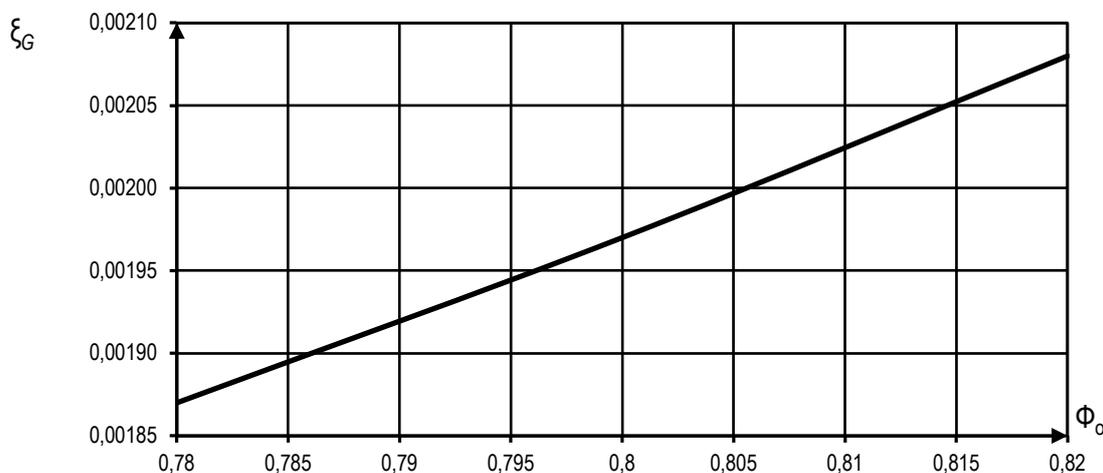


Рисунок 4 – Зависимость ξ_G от Φ_0 при $\Phi_0 > 0,78$

Таким образом, для бетонов с $\Phi_o < 0,68$ $\xi_G = 0,00153$; для интервала $0,68 \leq \Phi_o \leq 0,78$ $\xi_G = 0,00187$. Для $\Phi_o > 0,78$ необходимо использовать формулу (7).

Экспериментально также установлено, что при $V/C \geq 0,35$ величина водоцементного отношения практически не оказывает влияния на значение коэффициента $k_c(\theta)$ во всем интервале температур нагрева [1, 5] (рисунок 5). Однако снижение водоцементного отношения ниже 0,35 приводит к росту коэффициента α_k (рисунок 5).

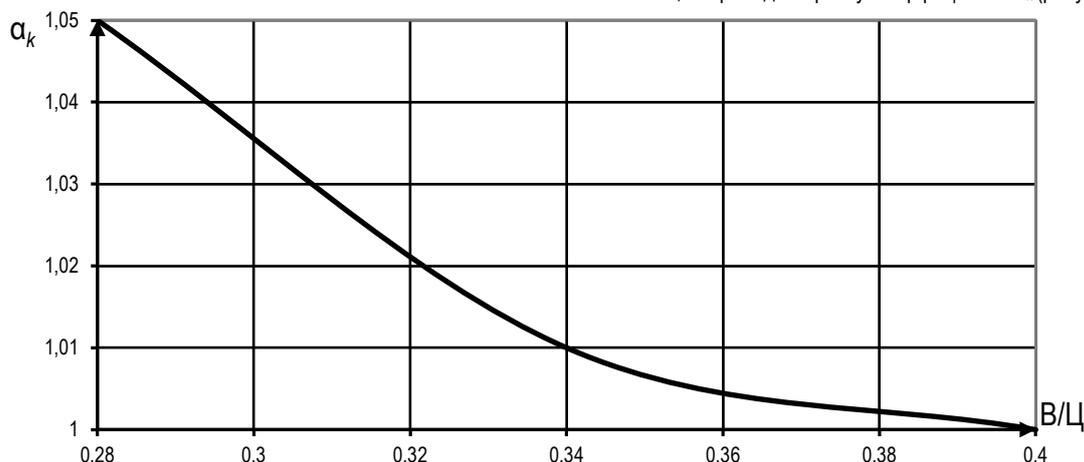


Рисунок 5 – Зависимость α_k от водоцементного отношения

В интервале $V/C < 0,35$ получена следующая зависимость уточняющего коэффициента $\alpha_k = \alpha_{V/C}$ при других фиксированных значениях ($\alpha_{TBO} = 1$, $\alpha_A = 1$) от водоцементного отношения (испытания образцов 4-ой серии [1, 5]):

$$\alpha_{V/C} = 0,79 \cdot \left(\frac{V}{C} \right)^{-0,22}, \quad (8)$$

Таким образом, значение коэффициента учета влияния водоцементного отношения при $V/C \geq 0,35$ принимается равным $\alpha_{V/C} = 1$, а при $V/C < 0,35$ определяется по формуле (8). Зависимость коэффициента ξ от водоцементного отношения не прослеживается во всем интервале температур нагрева.

Величина температуры изотермического нагрева при ТВО в интервале температур до 60 °С практически не сказывается на расчетных коэффициентах α_k , ξ . Результатом повышения температуры изотермического нагрева до 80–100 °С является повышение прочности бетона при нагреве до 400 °С на 16 % и увеличение интенсивности деструктивных процессов на 22 %. Следует отметить,

что проведение ТВО увеличивает также вероятность хрупкого взрывообразного разрушения бетона [21]. В целом, проведение ТВО не является перспективным методом повышения огнестойкости, поскольку приводит к накоплению структурных дефектов на стадии изготовления, что впоследствии приводит к снижению долговечности таких конструкций. При температуре изотермического нагрева до 60 °С коэффициент учета ТВО принимается равным $\xi_{TBO} = 1,03$ и $\alpha_{TBO} = 1$, а выше указанной температуры – $\xi_{TBO} = 1,22$ и $\alpha_{TBO} = 1,16$ [1].

Закономерности влияния модифицирующих добавок на стойкость бетона при пожаре

Результаты экспериментальных исследований [1, 5] позволили выявить положительный эффект от введения в композиции бетона добавок микрокремнезема и доломитового утяжелителя. Полученные поправочные коэффициенты α_d и ξ_d представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Экспериментальные исследования модифицирующих добавок [1]

Состав	Вид добавки	Расход добавки, кг/м ³	α_d	ξ_d
6-5	МК	55	1,03	0,83
6-6	МК	75	1,07	0,79
7-1	ПВК+СЗ	6	1,00	1,17
7-2	Суперпластификатор СЗ	5,4	1,01	1,00
7-3	Пластификатор СПС	5,4	0,93	1,00
8-1	ДУ	75	1,11	1,14
8-2	ДУ	150	1,18	1,22
8-3	ПКМ	305	0,90	0,42
8-4	ПСМ 1 (Ц;П;Щ;Дн)	113	1,05	1,07
8-5	ПСМ 2 (Ц;П;Дн)	122	1,18	1,15
8-6	ПСМ 3 (Ц;Дн)	135	1,29	1,33
8-7	Состав на цементе НЦ-30		1,40	1,14

Примечание: ДУ – доломитовый утяжелитель; Ц – цемент; П – песок, Щ – щебень; Дн – добавка (тонкодисперсный наполнитель); ПВК – полиметаллический водный концентрат; НЦ – напрягающий цемент; ПСМ – полые микросферы на основе стекла; ПКМ – полые микросферы на основе керамики.

При введении в состав на 1 м^3 бетонной смеси 55 кг МК полученные коэффициенты $\alpha_d = 1,03$ и $\xi_d = 0,83$, а при введении 75 кг МК – $\alpha_d = 1,07$ и $\xi_d = 0,79$ соответственно. При этом следует отметить, что происходит не только рост прочности при $400 \text{ }^\circ\text{C}$, но и снижается интенсивность деструктивных процессов при более высоких температурах нагрева. Эксперимент показал, что положительный эффект возрастает с увеличением концентрации МК. Поскольку расход АМД ограничен 10–15 % от массы вяжущего ввиду снижения прочности высокопрочного бетона при дальнейшем увеличении дозировки [22, 23], то примененная в составе 6-б концентрация является предельно допустимой, исходя из условий нормальной эксплуатации. Для дальнейшего практического использования указанных коэффициентов при промежуточных концентрациях МК следует линейную интерполяцию.

При введении 75 кг ДУ на 1 м^3 бетонной смеси $\alpha_d = 1,11$ и $\xi_d = 1,14$, а при введении 150 кг соответственно – $\alpha_d = 1,18$ и $\xi_d = 1,22$. Приводя к более значительному, чем МК, увеличению прочности при $400 \text{ }^\circ\text{C}$, ДУ увеличивает интенсивность деструктивных процессов при более высоких температурах нагрева.

Для получения жаростойкого бетона количество тонкомолотой добавки должно быть не менее 30 % веса смешанного вяжущего при ограниченном водоцементном отношении. В противном случае при нагреве наблюдается резкое снижение прочности, вызванное нарушением структуры ЦК парами уходящей влаги [15]. Поскольку примененная концентрация ниже требуемой, изначально бетон как жаростойкий не рассматривается.

Применение полых микросфер позволило получить положительный эффект [1]. Мелкозернистые бетоны с полной заменой песка на ПСМ и ПКМ обладают более высокими значениями $k_c(\theta)$ по сравнению с обычными бетонами. Использование ПКМ позволяет получить бетон с характеристиками близкими к огнеупорам ($\xi_d = 0,42$). Более высокие характеристики бетонов с добавками ПКМ объясняются тем, что по составу и дисперсности они близки к микрокремнезему. В относительных величинах эффект от введения ПСМ больше, чем от других добавок ($\alpha_d = 1,29$).

Бетонные образцы на цементе НЦ-30 при высокотемпературном нагреве показали значения $\alpha_d = 1,4$ и $\xi_d = 1,14$. Анализ показывает, что в бетонах на цементах с наличием расширяющих добавок при нагреве до $500 \text{ }^\circ\text{C}$ практически исключается усадка ЦК, что способствует уплотнению структуры композита и исключает разнозначные деформации, способствующие росту трещин в бетоне. Подобное явление позволяет бетону сохранять при нагреве до $550 \text{ }^\circ\text{C}$ прочность не ниже начальной. Происходящие при дальнейшем нагреве деструктивные процессы идут со скоростью на 14 % выше, чем для бетонов на портландцементе без расширяющих добавок. Но сделанный в начальной стадии нагрева задел позволяет сохранить при $800 \text{ }^\circ\text{C}$ примерно 40 % от начальной прочности [5]. В целом, процессы в интервале температур нагрева $200 \dots 800 \text{ }^\circ\text{C}$ протекают по стандартной схеме без существенных отличий.

Закономерности влияния центрифугирования бетонной смеси на стойкость бетона при пожаре

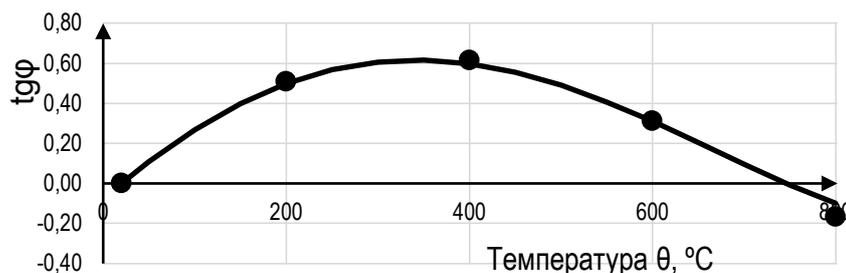
В работах [1, 10] было установлено влияние центрифугирования бетонной смеси на стойкость бетона при пожаре. Эксперимент подтвердил неоднородность физико-механических свойств центрифугированного бетона в поперечном сечении изделия: средняя плотность бетона в образцах наружного слоя оказалась выше на 8 %, чем в образцах внутреннего слоя, а прочность на сжатие – на 34 % [24]. В результате исследований прочности бетона на сжатие на образцах, послойно выпиленных из центрифугированной бетонной стойки толщиной 160 мм, была установлена эмпирическая закономерность ее изменения по толщине стенки в нормальных условиях [24]. С учетом того что уменьшение толщины центрифугированной железобетонной конструкции влечет повышение ее однородности, зависимость изменения прочности центрифугированного бетона по толщине поперечного сечения имеет следующий вид [24]:

$$f_c(\delta, b) = f_{c0} \cdot (0,975 - 2,36b + 4,6b\delta), \quad (9)$$

где индекс «0» соответствует прочности бетона на сжатие в конструкции в целом; b – толщина стенки центрифугированного изделия, м; δ – относительное расстояние (отношение расстояния от внутренней поверхности центрифугированного изделия до рассматриваемой точки к толщине его стенки).

Результаты исследований [1, 8] показали, что стойкость центрифугированного бетона к высокотемпературному нагреву изменяется от наружной к внутренней поверхности готового изделия. Установление физико-химических процессов, происходящих с центрифугированным бетоном на различных температурных интервалах ($20 \dots 800 \text{ }^\circ\text{C}$) [10], позволили математически описать закономерность влияния центрифугирования бетонной смеси на $k_c(\theta)$. За основной параметр, оказывающий влияние на стойкость центрифугированного бетона при пожаре, принят δ , поскольку в нем заключены особенности распределения бетонной смеси вследствие центрифугирования по толщине стенки изделия. Далее был построен график в координатах « $k_c(\theta)\delta$ » с соответствующими аппроксимирующими прямыми [10] и установлен характер изменения $k_c(\theta)$ для центрифугированного бетона (рисунок 6) в конструкции толщиной 160 мм, исследованной в работе [10]. Описание изменения $k_c(\theta)$ представлено тангенсом угла φ наклона аппроксимирующих прямых $k_c(\theta)$ к оси абсцисс δ . Значения $\text{tg}\varphi$ показывают скорость изменения $k_c(\theta)$ по поперечному сечению центрифугированного изделия при заданной температуре нагрева. Обработка экспериментальных данных коэффициента $k_c(\theta)$ для центрифугированного бетона, полученных при температурах $20 \dots 800 \text{ }^\circ\text{C}$, позволила математически описать $\text{tg}\varphi$ в зависимости от температуры нагрева [1]:

$$\text{tg}\varphi(\theta) = 4,4 \cdot 10^{-12} \theta^4 - 3,8 \cdot 10^{-9} \theta^3 - 5,0 \cdot 10^{-6} \theta^2 + 0,004\theta - 0,079. \quad (10)$$



● Эксперимент Эксперимент [10] – Зависимость (4.25) Зависимость (11)

Рисунок 6 – Зависимость скорости изменения $k_c(\theta)$ по толщине поперечного сечения конструкции (толщиной 160 мм) от температуры нагрева

С повышением температуры наблюдается увеличение значений $tg\varphi$ и, как следствие, разницы в значениях $k_c(\theta)$ по сечению (рисунок 6). При температурах 300–400 °С, соответствующих максимальному набору прочности на сжатие бетоном периферийных слоев конструкции, $tg\varphi$ достигает предельных значений [10]. Тангенс угла наклона аппроксимирующих прямых $tg\varphi$ (рисунок 6) составляет более 0,6. После 400 °С из-за более высокой интенсивности деструктивных процессов в бетоне наружных слоев centrifугированной конструкции, чем внутренних, уменьшение $tg\varphi$ более стремительное. При температуре около 750 °С полученные кривые пересекают ось абсцисс (рисунок 6), что свидетельствует о равенстве $k_c(\theta)$ по сечению конструкции. После пересечения кривыми оси абсцисс значения $tg\varphi$ продолжают уменьшаться, что говорит о более высоких значениях относительной прочности бетона на сжатие для внутренних слоев конструкции. При температуре 800 °С $tg\varphi \approx -0,2 \dots -0,1$. Дальнейшее повышение температуры будет увеличивать его значение до нуля, поскольку прочность бетона на сжатие у наружного слоя исчерпана [10], а внутреннего будет уменьшаться из-за проходящих в его структуре процессов, ведущих к полному разрушению [2, 17]. Для конструкций толщиной отличной от 160 мм изменение $tg\varphi$ следует принимать с учетом повышения однородности centrifугированной конструкции при уменьшении ее толщины.

Методика расчета коэффициента условий работы бетона при пожаре

При разработке методики расчета коэффициента условий работы при пожаре основной задачей является определение аналитического описания стойкости высокопрочного, модифицированного и centrifугированного бетонов в зависимости от температуры нагрева, состава бетонной смеси и технологии его изготовления. По результатам эксперимента предлагается описать $k_c(\theta)$ в интервале от 20 до 400 °С и в интервале от 400 до 800 °С следующими зависимостями:

$$k_c(\theta) = 1 - 0,00263 \cdot (\theta - 20) \cdot (1 - 0,88 \cdot \alpha_k); \tag{11}$$

$$k_c(\theta) = 0,88\alpha_k - \xi \cdot (\theta - 400), \tag{12}$$

где α_k – коэффициент, определяемый по формуле (2);
 ξ – коэффициент, определяемый по формуле (3).

Определенные расчетные значения α_k , ξ в зависимости от состава бетонной смеси [1, 5] представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Коэффициенты α_k и ξ

Состав [1]	Варьируемый параметр	Значение	α_k	ξ
1-1	Относительное содержание цементного камня ($m_{цк}$)	0,315	1,00	0,00153
1-2		0,364	1,00	0,00175
1-3		0,414	1,00	0,00183
2-1	Соотношение концентраций мелкого и крупного заполнителей (n_G)	0,40	1,00	0,00208
2-2		0,55	1,00	0,00175
2-3		0,70	1,00	0,00153
3-1	Вид композиционного материала (ВКМ)	Бетон	1,00	0,00187
3-2		Раствор	1,00	0,00153
3-3		ЦК	0,76	0,00150
4-1	Водоцементное отношение (В/Ц)	0,40	1,00	0,00187
4-2		0,34	1,01	0,00187
4-3		0,28	1,05	0,00187
5-1	Температура изотермического нагрева при ТВО ($\theta_{из}$, °С)	нет	1,00	0,00187
5-2		40	1,00	0,00193
5-3		60	1,00	0,00193
5-4		80	1,16	0,00228
5-5		100	1,16	0,00228
6-1	Прочность бетона, обусловленная его классом	C ¹⁶ /20	1,00	0,00187
6-2		C ²⁵ /30	1,00	0,00187
6-3		C ⁴⁵ /55	1,00	0,00187
6-4		C ⁶⁰ /75	1,00	0,00187
6-5		C ⁷⁰ /85	1,03	0,00155
6-6		C ⁸⁰ /95	1,07	0,00148

Анализ полученных в работе [10] значений $k_c(\theta)$, определенных на образцах из centrifугированного бетона, схож с характером изменения $k_c(\theta)$ для вибрированных бетонов, в том числе приведенных в ТНПА. Из этого следует, что для оценки огнестойкости centrifугированных железобетонных конструкций допустимо использование значений $k_c(\theta)$, определенных по формулам (11), (12), с введением поправочного коэффициента k_{cor} .

При определении значений коэффициента k_{cor} исходили из того, что указанный коэффициент должен учитывать влияние переменной прочности бетона на сжатие в поперечном сечении конструкции. Для рассматриваемой элементарной зоны (слоя), в пределах которых бетон равномерно нагрет до одной температуры, определим следующую зависимость k_{cor} :

$$k_{cor} = k_t \cdot k_p, \tag{13}$$

где k_t – коэффициент, учитывающий различие $k_c(\theta)$ по толщине поперечного сечения конструкции с ростом температуры, определяемый по формуле [25]:

$$k_t = 1 + 6,25b \cdot (\delta - 0,5) \cdot tg\varphi; \tag{14}$$

k_p – коэффициент, учитывающий различие прочности centrifугированного бетона на сжатие в поперечном сечении конструкции в начальных условиях, численно равный $f_c(\delta, b)/f_{c0}$ и определяемый из уравнения (9):

$$k_p = 0,975 - 2,36b + 4,6b\delta. \tag{15}$$

Полученные с учетом k_{cor} зависимости прочности бетона на сжатие для слоев (зон) с $\delta = 0,31$, $\delta = 0,50$ и $\delta = 0,69$ в конструкции с $b = 0,16$ м от температуры показали удовлетворительное соответствие экспериментальным значениям (рисунок 7).

Численные значения коэффициентов k_{cor} , k_t , k_p для центрифугированных железобетонных колонн с толщиной стенки 55 и 160 мм, рассчитанные по формуле (13) приведены в таблице 5.

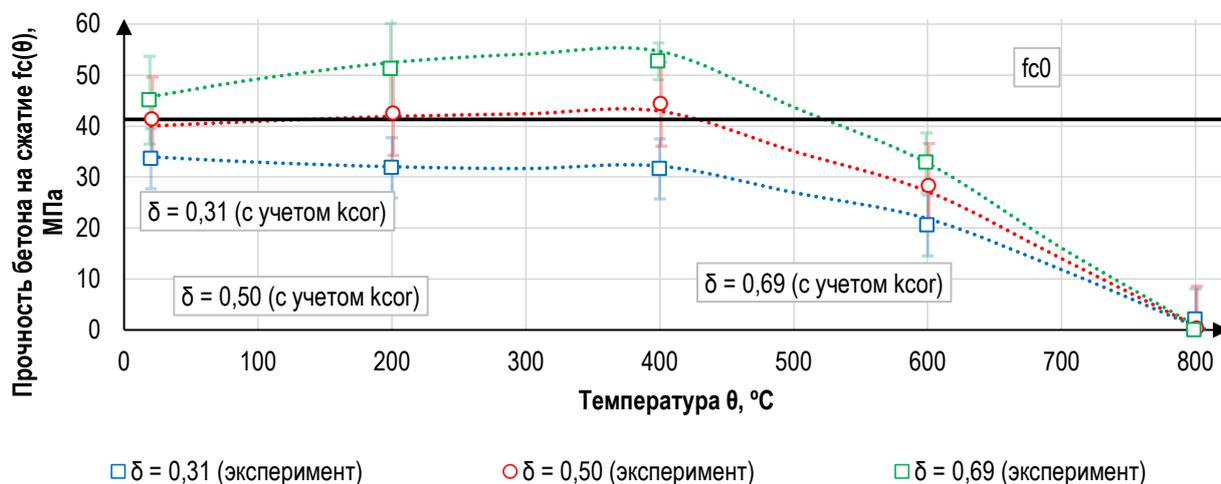


Рисунок 7 – Зависимость прочности бетона на сжатие от температуры для различных слоев центрифугированной конструкции

Таблица 5 – Коэффициенты k_{cor} , k_t , k_p для центрифугированного бетона

Температура θ , °C	$\delta = 0,0$		$\delta = 0,2$		$\delta = 0,4$		$\delta = 0,6$		$\delta = 0,8$		$\delta = 1,0$	
	Толщина стенки конструкции b , мм											
	55	160	55	160	55	160	55	160	55	160	55	160
Коэффициент k_t												
20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
200	0,91	0,75	0,95	0,85	0,98	0,95	1,02	1,05	1,05	1,15	1,09	1,25
400	0,90	0,70	0,94	0,82	0,98	0,94	1,02	1,06	1,06	1,18	1,10	1,30
600	0,95	0,86	0,97	0,92	0,99	0,97	1,01	1,03	1,03	1,08	1,05	1,14
800	1,04	1,11	1,02	1,07	1,01	1,02	0,99	0,98	0,98	0,93	0,96	0,89
Коэффициент k_p												
–	0,85	0,60	0,90	0,75	0,95	0,90	1,00	1,04	1,05	1,19	1,10	1,34
Поправочный коэффициент k_{cor}												
20	0,85	0,60	0,90	0,75	0,95	0,90	1,00	1,04	1,05	1,19	1,10	1,34
200	0,77	0,45	0,85	0,64	0,93	0,85	1,02	1,09	1,10	1,37	1,19	1,67
400	0,76	0,42	0,84	0,62	0,93	0,84	1,02	1,10	1,11	1,40	1,21	1,73
600	0,81	0,52	0,87	0,69	0,94	0,87	1,01	1,07	1,08	1,29	1,15	1,52
800	0,88	0,67	0,92	0,80	0,95	0,91	0,99	1,02	1,02	1,11	1,06	1,19

Примечание: значения коэффициентов k_{cor} , k_t , k_p при промежуточных значениях толщины стенки конструкции и температуры определяются линейной интерполяцией.

Анализ значений k_{cor} (таблица 5) показывает, что прочность центрифугированного бетона на сжатие при высокотемпературном нагреве в наружных слоях конструкции при прочих равных условиях оказывается выше, чем во внутренних. Таким образом, как в нормальных условиях, так и при пожаре, они будут воспринимать основную нагрузку. Вместе с тем нагрев наружных слоев до критических температур будет вызывать перераспределение нагрузки на внутренние слои, которые, как оказалось, обладают более высоким относительным снижением прочности на сжатие при нагреве.

Следует также отметить, что при проведении расчетов с целью недопущения понижения уровня безопасности, задаваемого соответствующими коэффициентами безопасности на этапах изготовления и проектирования железобетонных конструкций, в расчетах по оценке пределов огнестойкости железобетонных конструкций коэффициент $k_c(\theta)$ необходимо принимать равным 1, если определенные значения $k_c(\theta)$ с учетом коэффициента k_{cor} превышают 1.

Заключение

По результатам исследований разработана теоретическая модель стойкости бетонов при пожаре, учитывающая его прочность, состав бетонной смеси, в том числе наличие добавок, условия изготовления и позволяющая с использованием коэффициента условий работы бетона при пожаре $k_c(\theta)$ объективно проводить прочностной расчет строительных конструкций из высокопрочного, модифицированного и центрифугированного бетонов при оценке их огнестойкости. При этом установлено, что разрушение железобетонных конструкций при пожаре происходит при исчерпании соответствующих коэффициентов безопасности, устанавливаемых в зависимости от опасности достижения предельных состояний.

Экспериментальные данные позволили определить влияние на $k_c(\theta)$ относительного содержания цементного камня, отношения крупного и мелкого заполнителей, вида композиционного материала, водоцементного отношения, прочности бетона, вида применяемых пластификаторов, ускорителей твердения, микрозаполнителей и добавок, а также технологии изготовления. Каждый из указанных компонентов учитывается в теоретической модели соответствующими поправочными коэффициентами.

На основании обработки экспериментальных данных выведены расчетные зависимости коэффициентов учета накопленных дефектов и интенсивности деструктивных процессов в зависимости от состава бетонной смеси, в том числе наличия модифицированных добавок. Использование указанных коэффициентов позволяет расчетным путем определять значение коэффициента $k_c(\theta)$ при заданной температуре нагрева в зависимости от состава бетонной смеси.

Получена зависимость изменения прочности центрифугированного бетона на одноосное сжатие по толщине поперечного сечения конструкции, учитывающая ее физико-механические и геометрические характеристики. Установлена зависимость скорости изменения коэффициента условий работы центрифугированного бетона при пожаре по толщине поперечного сечения конструкции от температуры нагрева. На основе указанных зависимостей определены значения поправочного коэффициента $k_{кор}$ для значений $k_c(\theta)$ вибрированных бетонов, в том числе приведенных в действующих ТНПА, который учитывает неоднородность прочности центрифугированного бетона на сжатие по толщине поперечного сечения конструкций заданной толщины в начальных условиях и при нагреве.

Список цитированных источников

- Огнестойкость современных строительных конструкций из железобетона : монография / И. И. Полевода, С. М. Жамойдик, Н. В. Зайнудинова, Д. С. Нехань : под ред. И. И. Полеводы. – Минск : Ун-т гражданской защиты, 2023. – 420 с.
- Яковлев, А. И. Расчет огнестойкости строительных конструкций / А. И. Яковлев. – М. : Стройиздат, 1988. – 143 с.
- Милованов, А. Ф. Стойкость железобетонных конструкций при пожаре / А. Ф. Милованов. – М. : Стройиздат, 1998. – 304 с.
- Касперов, Г. И. Расчетно-экспериментальная методика оценки огнестойкости строительных конструкций из высокопрочного бетона / Г. И. Касперов, И. И. Полевода // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2003. – № 4 (14). – С. 24–32.
- Касперов, Г. И. Оценка факторов, влияющих на прочность бетонов классов В20–В100 при пожаре / Г. И. Касперов, И. И. Полевода, М. Н. Рыскин // Вестн. Белорусского нац. техн. ун-та. – 2003. – № 2. – С. 17–21. – DOI: 10.21122/2227-1031-2003-0-2-17-21.
- Полевода, И. И. Результаты натурных огневых испытаний центрифугированных железобетонных колонн кольцевого сечения / И. И. Полевода, Д. С. Нехань // Вестн. Ун-та гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2020. – Т. 4, № 2. – С. 142–159. – DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-2.142. – EDN: ASBKFB.
- Полевода, И. И. Огнестойкость железобетонных колонн с конструктивной огнезащитой / И. И. Полевода, С. М. Жамойдик, Д. С. Нехань // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2022. – № 2. – С. 67–81. – DOI: 10.25257/FE.2022.2.67-81.
- Полевода, И. И. Огнестойкость центрифугированных железобетонных колонн / И. И. Полевода, Д. С. Нехань // Вестн. Ун-та гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2021. – Т. 5, № 2. – С. 139–158. DOI: 10.33408/2519-237X.2021.5-2.139
- Полевода, И. И. Огнестойкость изгибаемых железобетонных конструкций из высокопрочного бетона / И. И. Полевода // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2004. – № 5. – С. 65–78.
- Полевода, И. И. Поведение центрифугированного бетона при пожаре / И. И. Полевода, Д. С. Нехань, Д. С. Батан // Вестн. Ун-та гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т. 2, № 1. – С. 455–469.
- Бетонные и железобетонные конструкции. Правила обеспечения огнестойкости и огнесохранности : СП 468.1325800.2019. – Введ. 11.06.20. – М. : Стандартинформ, 2020. – 86 с.
- Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона : ГОСТ 24452-80. – Введ. 01.01.1982. – М. : Стандартинформ, 2005. – 14 с.
- Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-2. Общие правила определения огнестойкости : ТКП EN 1992-1-2:2009 (02250). – Введ. 01.01.10. – Минск : Мин-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2010. – 96 с.
- Железобетонные конструкции. Основы теории, расчета и конструирования: курс лекций для студентов строительных специальностей / Н. П. Блещик [и др.] ; под ред. Т. М. Пецольда и В. В. Тура. – Брест : БГТУ, 2003. – 380 с.
- Неверович, И. И. Железобетонные конструкции / И. И. Неверович. – Минск : МИПК и ПК БНТУ, 2013. – 211 с.
- Бетонные и железобетонные конструкции : СП 5.03.01-2020 – Введ. 01.07.03 (с отменой на территории Респ. Беларусь СНиП 2.03.01-84 и СНБ 5.03.01-02). – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 244 с.
- Phan, L. T. Code provisions for high strength concrete strength-temperature relationship at elevated temperatures / L. T. Phan, N. J. Carino // Material and Structures. – 2003. – Vol. 36 (256). – P. 91–98.
- Строительные конструкции. Порядок расчета пределов огнестойкости: ТКП 45-2.02-110-2008 (02250). – Введ. 01.01.09 (с отменой на территории Респ. Беларусь П1-02 к СНБ 2.02.01-98). – Минск : Мин-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2008. – 135 с.
- Рекомендации по расчету пределов огнестойкости бетонных и железобетонных конструкций / НИИЖБ. – М. : Стройиздат, 1986. – 40 с.
- Жуков, В. В. Основы стойкости бетона при действии повышенных и высоких температур : дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.05 / В. В. Жуков. – М., 1981. – 437 л.
- Рекомендации по защите бетонных и железобетонных конструкций от хрупкого разрушения при пожаре / НИИЖБ. – М. : Стройиздат, 1979. – 21 с.
- Зенков, Н. И. Строительные материалы и поведение их в условиях пожара / Н. И. Зенков. – М. : ВИПТШ МВД СССР, 1974. – 174 с.
- Разработка основ структурной теории прочности и деформативности бетона : Отчет НИР (заключит.) / БГПА; Рук. темы Н. П. Блещик. – № ГР 19991004 (шифр ГБ 99-19). – Минск, 2000. – 134 с.
- Исследование физико-механических свойств центрифугированного бетона / И. И. Полевода [и др.] // Наука и техника. – 2019. – Т. 18, № 4. – С. 319–329. DOI: 10.21122/2227-1031-2019-18-4-319-329.

25. Нехань Д. С. Решение статической задачи огнестойкости центрифугированных железобетонных колонн / Д. С. Нехань, И. И. Полевода // Вестн. Полоцкого гос. ун-та. Серия F. – 2021. – № 8. – С. 94–106.
- References**
- Ognestojkost' sovremennyh stroitel'nyh konstrukcij iz zhelezobetona : mono-grafiya / I. I. Polevoda, S. M. Zhamojdik, N. V. Zajnudinova, D. S. Nekhan' : pod red. I. I. Polevody. – Minsk : Un-t grazhdanskoj zashchity, 2023. – 420 s.
 - Yakovlev, A. I. Raschet ognestojkosti stroitel'nyh konstrukcij / A. I. Yakovlev. – M. : Strojizdat, 1988. – 143 s.
 - Milovanov, A. F. Stojkost' zhelezobetonnyh konstrukcij pri pozhare / A. F. Milovanov. – M. : Strojizdat, 1998. – 304 s.
 - Kasperov, G. I. Raschetno-eksperimental'naya metodika ocenki ognestojkosti stroitel'nyh konstrukcij iz vysokoprochnogo betona / G. I. Kasperov, I. I. Polevoda // Chrezvychajnye situacii: preduprezhdenie i likvidaciya. – 2003. – № 4 (14). – S. 24–32.
 - Kasperov, G. I. Ocenka faktorov, vliyayushchih na prochnost' betonov klassov V20–V100 pri pozhare / G. I. Kasperov, I. I. Polevoda, M. N. Ryskin // Vestn. Belorusskogo nac. tekhn. un-ta. – 2003. – № 2. – S. 17–21. – DOI: 10.21122/2227-1031-2003-02-17-21.
 - Polevoda, I. I. Rezultaty naturnyh ognevnyh ispytaniy centrifugirovannyh zhelezobetonnyh kolonn kol'cevogo secheniya / I. I. Polevoda, D. S. Nekhan' // Vestn. Un-ta grazhdanskoj zashchity MCHS Belarusi. – 2020. – T. 4, № 2. – S. 142–159. – DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-2.142. – EDN: ASBKFB.
 - Polevoda, I. I. Ognestojkost' zhelezobetonnyh kolonn s konstruktivnoj ogneza-shchitoy / I. I. Polevoda, S. M. Zhamojdik, D. S. Nekhan' // Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashchenie, likvidaciya. – 2022. – № 2. – S. 67–81. – DOI: 10.25257/FE.2022.2.67-81.
 - Polevoda, I. I. Ognestojkost' centrifugirovannyh zhelezobetonnyh kolonn / I. I. Polevoda, D. S. Nekhan' // Vestn. Un-ta grazhdanskoj zashchity MCHS Belarusi. – 2021. – T. 5, № 2. – S. 139–158. DOI: 10.33408/2519-237X.2021.5-2.139
 - Polevoda, I. I. Ognestojkost' izgibaemyh zhelezobetonnyh konstrukcij iz vysokoprochnogo betona / I. I. Polevoda // Chrezvychajnye situacii: preduprezhdenie i likvidaciya. – 2004. – № 5. – S. 65–78.
 - Polevoda, I. I. Povedenie centrifugirovannogo betona pri pozhare / I. I. Polevoda, D. S. Nekhan', D. S. Batan // Vestn. Un-ta grazhdanskoj zashchity MCHS Belarusi. – 2018. – T. 2, № 1. – S. 455–469.
 - Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii. Pravila obespecheniya ognestojkosti i ognesohrannosti : SP 468.1325800.2019. – Vved. 11.06.20. – M. : Standartinform, 2020. – 86 s.
 - Betony. Metody opredeleniya prizmennoj prochnosti, modulya uprugosti i koef-ficienta Puassona : GOST 24452-80. – Vved. 01.01.1982. – M. : Standartinform, 2005. – 14 s.
 - Evrokod 2. Proektirovanie zhelezobetonnyh konstrukcij. CHast' 1-2. Obshchie pravila opredeleniya ognestojkosti : TKP EN 1992-1-2-2009 (02250). – Vved. 01.01.10. – Minsk : Min-vo arhitektury i str-va Resp. Belarus', 2010. – 96 s.
 - Zhelezobetonnye konstrukcii. Osnovy teorii, rascheta i konstruirovaniya: kurs lekcij dlya studentov stroitel'nyh special'nostej / N. P. Bleshchik [i dr.] ; pod red. T. M. Pecol'da i V. V. Tura. – Brest : BGTU, 2003. – 380 s.
 - Neverovich, I. I. Zhelezobetonnye konstrukcii / I. I. Neverovich. – Minsk : MIPK i PK BNTU, 2013. – 211 s.
 - Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii : SP 5.03.01-2020 – Vved. 01.07.03 (s otmenoj na territorii Resp. Belarus' SNIp 2.03.01-84 i SNB 5.03.01-02). – Minsk : Min-strojarhitektury, 2020. – 244 s.
 - Phan, L. T. Code provisions for high strength concrete strength-temperature relationship at elevated temperatures / L. T. Phan, N. J. Carino // Material and Structures. – 2003. – Vol. 36 (256). – P. 91–98.
 - Stroitel'nye konstrukcii. Poryadok rascheta predelov ognestojkosti: TKP 45-2.02-110-2008 (02250). – Vved. 01.01.09 (s otmenoj na territorii Resp. Belarus' P1-02 k SNB 2.02.01-98). – Minsk : Min-vo arhitektury i str-va Resp. Belarus', 2008. – 135 s.
 - Rekomendacii po raschetu predelov ognestojkosti betonnyh i zhelezobetonnyh konstrukcij / NIIZHB. – M. : Strojizdat, 1986. – 40 s.
 - Zhukov, V. V. Osnovy stojkosti betona pri dejstvii povyshennyh i vysokih temperatur : dis. ... d-ra tekhn. nauk : 05.23.05 / V. V. Zhukov. – M., 1981. – 437 l.
 - Rekomendacii po zashchite betonnyh i zhelezobetonnyh konstrukcij ot hrupkogo raz-rusheniya pri pozhare / NIIZHB. – M. : Strojizdat, 1979. – 21 s.
 - Zenkov, N. I. Stroitel'nye materialy i povedenie ih v usloviyah pozhara / N. I. Zenkov. – M. : VIPTSH MVD SSSR, 1974. – 174 s.
 - Razrabotka osnov strukturnoj teorii prochnosti i deformativnosti betona : Otchet NIR (zaklyuchit.) / BGPA; Ruk. temy N. P. Bleshchik. – № GR 19991004 (shifr GB 99-19). – Minsk, 2000. – 134 s.
 - Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh svojstv centrifugirovannogo betona / I. I. Polevoda [i dr.] // Nauka i tekhnika. – 2019. – T. 18, № 4. – S. 319–329. DOI: 10.21122/2227-1031-2019-18-4-319-329.
 - Nekhan' D. S. Reshenie staticheskoj zadachi ognestojkosti centrifugirovannyh zhelezobetonnyh kolonn / D. S. Nekhan', I. I. Polevoda // Vestn. Polockogo gos. un-ta. Seriya F. – 2021. – № 8. – S. 94–106.

Материал поступил 12.07.2023, одобрен 18.07.2023, принят к публикации 18.07.2023

УДК 621.785.532:539.234

ПОКРЫТИЯ АЛМАЗОПОДОБНОГО УГЛЕРОДА ДЛЯ ЛИТЬЕВЫХ ФОРМ ПЛАСТМАССОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

И. П. Акула

*К. т. н., ведущий научный сотрудник ГНУ "Физико-технический институт НАН Беларуси",
Минск, Республика Беларусь, e-mail: shark@phti.by*

Реферат

Выполнены исследовательские работы по разработке покрытий для повышения срока службы литевых и выдувных форм для производства изделий из пластмасс. Показана эффективность использования алмазоподобных углеродных (АПУ) покрытий для замены покрытий гальванического хрома на деталях форм. Определены оптимальные условия нанесения АПУ покрытий на детали литевых и выдувных форм. Проведены испытания литевых форм с покрытиями в производственных условиях.

Ключевые слова: алмазоподобный углерод, PVD, CVD, износ, литевая форма, пластмассы.

DIAMOND-LIKE CARBON COATINGS FOR CASTING MOLDS OF PLASTIC PRODUCTS

I. P. Akula

Abstract

Research work has been carried out to develop the service life of injection and blow molds for the production of plastic products. The effectiveness of using diamond-like carbon (DLC) coatings for replace of the electroplated chromium on mold parts is shown. Certain optimal conditions for the use of DLC coatings on parts of injection and blow molds. Injection molds with coatings were tested under production conditions.

Keywords: diamond-like carbon, PVD, CVD, wear, injection mold, plastics.

Введение

В массовом производстве изделий из пластмасс литевая форма играет ключевую роль, поскольку именно точностью ее изготовления определяется качество выпускаемой продукции, а также срок эксплуатации и ремонтные регламенты самой формы. Затраты на изготовление таких форм в силу их "индивидуальности" часто существенно превышают стоимость автоматизированных и роботизированных машин и могут достигать ценового диапазона 100–200 тысяч евро. Связано это с тем, что формы изготавливаются индивидуально под конкретную продукцию, и их количество (с учетом форм-дублеров) обычно не превышает несколько единиц. Отдельные детали форм, такие как слайдеры и пуансоны, являются подвижными, из-за чего при длительной эксплуатации форм на ее подвижных и контактирующих с сырьем поверхностях появляются царапины, задиры, может происходить налипание расплавленной пластмассы на рабочие поверхности форм [1]. Это приводит к преждевременному выходу форм из строя, к ухудшению товарного вида готовой продукции и появлению бракованных изделий. Часто в такого рода узлах трения использование жидких смазывающих материалов является нежелательным во избежание их коксования в зоне литья, а также недопустимости попадания посторонних материалов на готовые изделия (например тара для медицинской и косметической продукции).

Чтобы оправдать высокие затраты на изготовление литевых формы должны надежно и стабильно работать, выдерживая в процессе эксплуатации предельные нагрузки, обеспечивая свою окупаемость длительным сроком службы. Надежность и долговечность литевой формы зависят как от ее конструкции и режима обслуживания, так и материалов, из которых она изготовлена, их термической и механической обработки. Очень часто рабочие поверхности форм доводят до зеркального блеска.

В связи с этим актуальной задачей в производстве изделий из пластмасс является повышение долговечности и надежности литевых форм за счет снижения коэффициента трения и улучшения износостойкости подвижных частей форм, предотвращения налипания пластмассы и увеличения коррозионной стойкости поверхности форм, контактирующих с пластмассой. До 90-х годов XX века наибольшее распространение получили методы гальванического

осаждения хрома на рабочие поверхности литевых форм [2]. Однако в последнее время наблюдается поиск новых решений для замены гальванического хрома. Связано это с тем, что для гальванических способов получения хромовых покрытий характерны общие недостатки. При электролитическом осаждении покрытие часто осаждается на подложку неравномерно, несмотря на все принимаемые меры, что вызывает необходимость дополнительной механической обработки под требуемые размеры (точение, шлифование, полирование). Также практически невозможно получить сплошное покрытие без наличия пор и сетки мелких трещин, что снижает защитные антикоррозионные свойства гальванических покрытий. Процесс нанесения таких покрытий требует достаточно больших финансовых затрат из-за необходимости индивидуального изготовления анода сложной геометрической формы для каждой из упрочняемых деталей, высоких энергозатрат и дорогого технологического оборудования. Кроме того, возникают экологические проблемы по утилизации вредных отходов гальванического производства, содержащих токсичные соли шестивалентного хрома. В связи с этим директива ЕС 2000/53, вступившая в силу в 2007 г., разрешает в странах Евросоюза ограниченное использование гальванического хрома только для защиты от коррозии, следовательно, в качестве износостойкого покрытия на литевых формах он применяться не может.

Широкое распространение для упрочнения и защиты поверхностей литевых форм получили вакуумные методы нанесения покрытий: химическое и физическое осаждение, а также их комбинации. Химическое осаждение из газовой фазы протекает при осаждении твердых веществ из газовой фазы при температуре выше 800 °С, что превышает температуру, при которой инструментальная сталь сохраняет прочность. Поэтому после проведения процесса осаждения покрытия необходима новая термообработка. Последняя в свою очередь может приводить к деформациям и отклонениям в размерах.

Процесс физического осаждения из газовой фазы позволяет осаждать металлы, их сплавы и соединения в вакууме при одновременном воздействии нагрева и кинетической энергии частиц, бомбардирующих поверхность. В отличие от химического осаждения покрытие форм физическими методами происходит при температурах до 550 °С. Эта температура во многих случаях ниже температуры отпуска метал-

ла основы, поэтому в дальнейшей термообработке (и связанном с ней риском деформации) нет необходимости. Этот процесс подходит для всех инструментальных сталей. При физическом осаждении качество поверхности формы и ее чистота (отсутствие ржавчины и загрязнений) чрезвычайно важны для достижения требуемого качества осажденного покрытия и его надежного сцепления с основным материалом. Вариант физического осаждения из газовой фазы, известный как вакуумно-дуговое осаждение, позволяет наносить практически любой защитный материал как в монослоях, так и в многослойных системах. Покрытия формируются путем конденсации из плазменных потоков, генерируемых катодными пятнами вакуумно-дуговых разрядов, в условиях бомбардировки ионами осаждаемого материала.

В последние годы большой интерес проявляется к покрытиям на основе алмазоподобного углерода (АПУ), что мотивируется их уникальными физико-механическими свойствами [3]. Уникальный комплекс свойств АПУ покрытий определяет перспективы их применения в различных областях науки и техники. Эти покрытия, осажденные на различные подложки, могут использоваться в качестве абразивных материалов, теплопроводов полупроводниковых приборов, пассивирующих и изолирующих пленок, покрытий оптических деталей, износостойких покрытий на инструменте, трибологических покрытий в прецизионных узлах трения, защитных покрытий на магнитных дисках и головках устройств хранения информации, коррозионностойких покрытий и др.

Со времени опубликования первых сообщений о синтезе алмазоподобного углерода в виде тонких пленочных покрытий накоплен огромный объем информации о методах синтеза этого материала, физике и химии протекающих при этом процессов, свойствах получаемых покрытий, об их применениях и перспективах использования. Следует отметить, что во всей массе информации выделяются два основных направления, касающиеся покрытий так называемого гидрогенизированного алмазоподобного углерода (а-С:H) и квазиморфного алмазоподобного углерода без содержания водорода (а-С). Тот или иной тип АПУ покрытий зависит, главным образом, от метода их получения, основными из которых являются химическое осаждение из газовой фазы при пониженном давлении путем разложения углеводородов (CVD метод) и физическое осаждение при распылении мишеней из графита (PVD метод).

В государственном научном учреждении «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси» разработан новый комбинированный метод PVD-CVD осаждения покрытий, который заключается в плазмостимулированном разложении углеводородного газа плазмой импульсного катодно-дугового разряда [4]. При этом формирование на поверхности изделия углеродного покрытия осуществляется как за счет частиц углерода из импульсных потоков углеродной плазмы, генерируемой графитовым катодом, так и из углерода, образующегося из углеводородного газа под воздействием бомбардировки углеродной плазмой. Высокие энергии потока импульсной углеродной плазмы обеспечивают улучшение адгезии пленок к металлическим подложкам. Присутствие в вакуумной камере паров углеводородов позволяет многократно повысить скорость осаждения углеродного покрытия, что существенно снижает стоимость процесса. Кроме того, наличие в составе формируемого покрытия водорода приводит к насыщению оборванных на поверхности покрытия связей углерода и пассивации поверхности, что положительно сказывается на трибологических свойствах покрытия и препятствует его взаимодействию с пластмассами.

Результаты и обсуждение

Для формирования АПУ покрытий использовалась установка УВНИПА-1-002, в вакуумной камере которой размещались детали литьевых/выдувных форм и образцы-свидетели. В качестве основы для осаждения покрытия использовалась сталь марки 9ХС, имеющая твердость НВ порядка 241 МПа, а также алюминиевый сплав 3.4365 (AlZnMgCu) с пределом текучести 380 Н/мм². Выбранные материалы и их характеристики идентичны реальным параметрам деталей литьевых и выдувных форм, используемых ООО "Митра" и ОАО "Минский завод "Термопласт" для производства изделий из пластмасс. Перед осаждением АПУ покрытий проводилась очистка поверхности деталей и образцов высокоэнергетическим пучком ионов аргона для удаления посторонних примесей и загрязнений. Для очистки использовались

4 ионных источника "Радикал", работающих при давлении аргона $1,5 \cdot 10^{-2}$ Па, ускоряющем напряжении 3000 В. Продолжительность очистки составляла 120 минут. Затем формировалось покрытие алмазоподобного углерода с использованием четырех источников импульсной углеродной плазмы. При начальном напряжении на разрядном промежутке 300 В энергия основного разряда составляла порядка 90 Дж, частота следования разрядных импульсов 5 Гц. Состав и структура формируемых АПУ покрытий управлялись изменением давления ацетилена в вакуумной камере в диапазоне 0,01–1,0 Па. Толщина осажденных покрытий находилась в пределах 1,5–2,0 мкм.

Измерение твердости осажденных АПУ покрытий методом индентирования с использованием алмазного наконечника Кнупа проводилось на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке 0,2 Н. Трибологические свойства материала исследовались на компьютеризированном стенде, работающем по схеме "палец-диск". В качестве контртела использовалась сфера $\varnothing 6,35$ мм из природного алмаза. Нагрузка на контртело во всех испытаниях составляла 1 Н. Радиус вращения контртела был установлен 10 мм. Время испытаний составляло 60 минут. Исследования адгезионной прочности композиционных покрытий к основе из коррозионностойкой стали проводилось на скретч-тестере JLST022, оборудованном датчиком акустической эмиссии, который позволяет определить момент начала растрескивания материала под индентором и динамику процесса трещинообразования по мере движения индентора вдоль поверхности при возрастающей нормальной нагрузке. Сила сцепления покрытий с основой при постоянно возрастающей нагрузке от 1 Н до 20 Н на алмазный индентор с радиусом закругления при вершине 0,2 мм. Сквозная пористость покрытий проверялась по появлению следов от окрашенных соединений при взаимодействии металла основы с химическим реагентом в местах пор в покрытии.

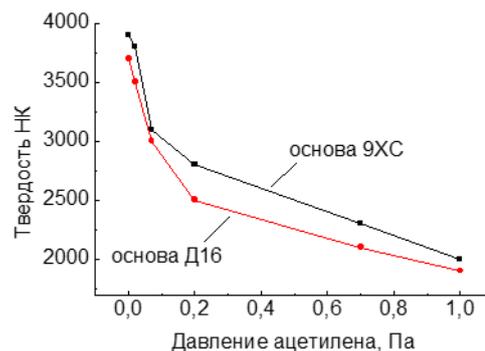


Рисунок 1 – Зависимость твердости АПУ покрытия от давления ацетилена

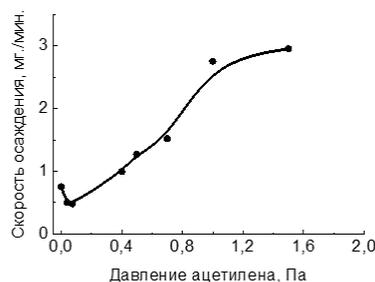


Рисунок 2 – Зависимость скорости осаждения АПУ покрытия от давления ацетилена

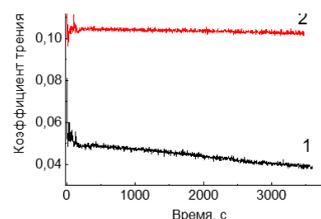


Рисунок 3 – Коэффициент трения АПУ покрытия на подложках из стали 9ХС (1) и алюминиевого сплава (2)

Добавление в вакуумную камеру реакционного газа приводит к снижению твердости покрытий в закономерности, показанной на рисунке 1. Возможной причиной является снижение энергии конденсирующихся углеродных частиц на соударениях с молекулами ацетилена, что не позволяет в большом количестве образовывать sp^3 гибридные связи между конденсирующимися атомами углерода. Наиболее резкое снижение твердости АПУ покрытия наблюдается в области давления реакционного газа (0,01–0,1) Па, когда твердость падает с НК 4000 до НК 3000. Однако при этом наблюдается существенное снижение внутренних ростовых напряжений, что позволяет осаждать покрытия с толщиной более 0,5 мкм без опасения их отслоения от основы. Кроме того, более высокое давление

реакционного газа обеспечивает более высокую скорость нанесения покрытий (рисунок 2). Рост давления реакционного газа с 0,01 до 1,6 Па приводит к увеличению скорости осаждения покрытия почти в 6 раз, с 0,06 до 0,35 нм в пересчете на один разрядный импульс. Исходя из вышесказанного, нами была определена область давления газа 0,2–0,7 Па, в которой получаются АПУ покрытия с твердостью выше, чем у нитрида титана и хорошей адгезией к основе. Обращает на себя внимание тот факт, что твердость АПУ покрытия на алюминиевом сплаве на 5–10 % ниже, чем на стали. Очевидно, здесь сказывается влияние материала основы, которая деформируется под влиянием нагруженного индентора.

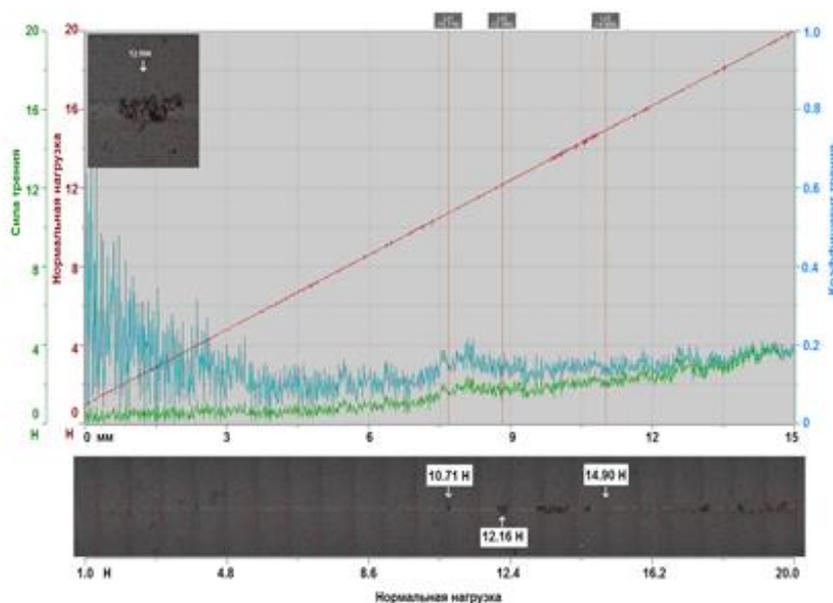


Рисунок 4 – Адгезионные испытания АПУ покрытия

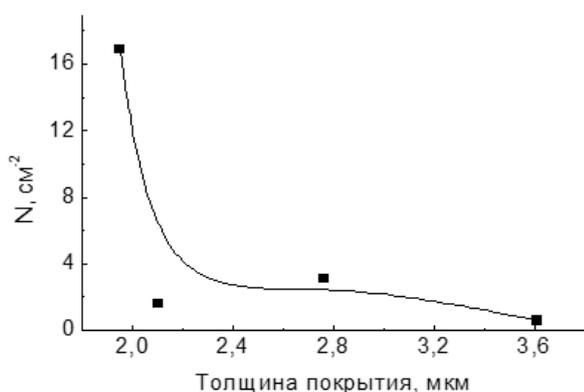


Рисунок 5 – Зависимость плотности пор от толщины АПУ покрытия

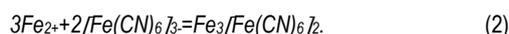
Трибоиспытания продемонстрировали, что на образце из алюминиевого сплава с АПУ покрытием наблюдается стабильное значение коэффициента трения порядка 0,1 в течение всего периода испытаний (рисунок 3). В то же время значение коэффициента трения для углеродного покрытия на стали имеет значение в 2 раза ниже на уровне 0,04–0,05 и плавно снижается в течение периода испытаний. Отсутствие флуктуаций на графике трения, за исключением периода приработки в течение первых 3–4 минут, говорит об отсутствии вынесенного из зоны трения материала покрытия, что свидетельствует о хорошем сопротивлении износу покрытия. На оптическом микроскопе в составе измерительного прибора ПМТ-3 была измерена ширина дорожки трения, образованной в результате выноса материала покрытия при контакте с контртелом, после чего определялся удельный объемный износ [5], значение которого составили $0,30 \cdot 10^{-7}$ и $2,68 \cdot 10^{-7} \text{ мм}^3/\text{Нм}$ для АПУ покрытия на стали и алюминиевом спла-

ве соответственно. Для сравнения удельный объемный износ стали 9ХС при трении в паре с алмазным контртелом при нагрузке 1 Н составляет $4,7 \cdot 10^{-5} \text{ мм}^3/\text{Нм}$.

Адгезионные испытания АПУ покрытия на основе из стали 9ХС показали, что не наблюдается каких-либо изменений в следе под индентором вплоть до нагрузки 10 Н (рисунок 4). При нагрузке 1,07 Н начинают появляться трещины в покрытие. Этот процесс становится более стабильным при нагрузке более 12 Н. Нагрузка на индентор более 15 Н приводит к появлению абразивного износа АПУ покрытия. Однако в течение всего времени испытаний вплоть до максимальной нагрузки 20 Н не было замечено следов полного износа покрытия под индентором до основы. Обращает на себя внимание, что коэффициент трения после периода приработки составляет 0,10–0,18 и находится примерно в одной области со значениями, полученными при испытаниях на трибостенде. В целом адгезионные испытания показали хороший результат.

Для эксплуатации литевых форм важным параметром является пористость покрытий и их способность противостоять коррозии рабочей поверхности форм.

Для определения пористости на образцах-свидетелях из стали с АПУ покрытием размещалась фильтровальная бумага, пропитанная химическим реагентом, содержащим калий железосинеродистый в количестве 10 г/дм^3 , аммоний хлористый – 30 г/дм^3 и натрий хлористый – 60 г/дм^3 . Раствор вызывает окрашивание бумаги в местах пор в виде точек синего цвета, являющихся осадком турбулентной сини $\text{Fe}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$. Затем на поверхности бумаги подсчитывалось число синих точек, соответствующих числу пор, и рассчитывалась их плотность на см^2 , которая образуется в результате следующих реакций:



На поверхности бумаги подсчитывают число синих точек, соответствующих числу пор, и рассчитывают число пор на единицу площади:

$$N = N_{\text{общ.}} / S, \quad (3)$$

где N общ. – общее число пор на контролируемой поверхности;

S – площадь контролируемой поверхности, см².

Плотность пор на поверхности покрытия быстро уменьшается с ростом толщины покрытия (рисунок 5) и практически отсутствует для покрытий с толщиной более 2,5 мкм.

Эксплуатационные испытания проводились в производственных условиях ООО "Митра" (Минск) на участке литья. Литьевая форма МПМ.0604-0437.00.00СБ с комплектом деталей из стали 9ХС использовалась на оборудовании ENGEL 13 при изготовлении изделия – бушонов диаметром 40 мм для туб. В качестве исходного сырья применялся полимер полипропилен "Сибур Н120" с температурой формования 250 °С. За период испытаний было выпущено 8400 единиц продукции. Выдувная форма МПМ0606-0305.00.000СБ с комплектом деталей из сплава Д16 с АПУ покрытием устанавливалась на машине "Magic" - 9 для изготовления изделия флакон В 400/509. В качестве исходного сырья применялся полимер полипропилен РР 4240 с температурой формования 220 °С. За период испытаний было выпущено 800 единиц продукции. В результате проведения эксплуатационных испытаний было установлено:

– отсутствуют следы износа рабочих поверхностей деталей литьевой формы в течение периода испытаний. На подвижных деталях литьевой формы отсутствуют, задиры, царапины и прочие дефекты поверхности;

– улучшилось качество поверхности формуемых пластмассовых изделий (зеркально гладкая поверхность без видимых глазом дефектов);

– нет налипания полимера на детали литьевой формы с износостойким покрытием.

Эксплуатационные испытания в производственных условиях показали более чем двукратное увеличение срока межпрофилактического обслуживания форм с разработанными покрытиями.

Заключение

Комбинированным методом PVD-CVD осаждения покрытий, который заключается в плазмостимулированном разложении углеводородного газа плазмой импульсного катодно-дугового разряда получены и исследованы износостойкие твердосмазочные и антиадгезионные покрытия. Производственные испытания литьевых и выдувных форм для производства пластмассовых изделий показали, что АПУ покрытия могут существенно улучшить эксплуатационные характеристики технологического оборудования за счет увеличения долговечности и рабочего ресурса, повышения качества формируемых изделий из пластмасс.

Список цитированных источников

1. Brinke, T. More effective manufacturing through coated tools / T. Brinke, A. Norin // Sulzer Technical Review. – 2012. – Vol. 2. – P. 14–16.

2. Know your mold coatings [Electronic resource] / S. J. Bales // Plastic Technology – 2004. Mode of access: <http://www.ptonline.com/articles/know-your-mold-coatings>. – Date of access: 17.04.2023.
3. Diamond-like Carbon Films / [N. Chekan et al.]: ed. Y.S. Tanaka. – Nova Science Pub Inc, New York, 2012. – 207 p.
4. Чекан, Н. М. Новый комбинированный метод получения алмазоподобных пленок / Н. М. Чекан, В. В. Акулич, И. П. Акула // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: материалы второй Международной научно-технической конференции, Минск, 3–5 октября 2007 г.: в 2-х ч. / ред. кол.: С. А. Астапчик [и др.] Минск: Эксперспектива, 2007. – Т. 2. – С. 148–158.
5. Чекан, Н. М. Трибологические свойства алмазоподобных углеродных покрытий, полученных комбинированным PVD-CVD методом / Н. М. Чекан, И. П. Акула, Е. В. Ладутко // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: материалы третьей Международной научно-технической конференции, Минск, 15–17 октября 2008г.: сб. материалов: в 4 кн. / Многофункциональные материалы в современной технике, микро- и нанoeлектронике / ред. коллегия С.А. Астапчик [и др.] – Минск : ФТИ НАН Беларуси, 2008. – Кн. 1. – Т. 1 – С. 140–143.

References

1. Brinke, T. More effective manufacturing through coated tools / T. Brinke, A. Norin // Sulzer Technical Review. – 2012. – Vol. 2. – P. 14-16.
2. Know your mold coatings [Electronic resource] / S. J. Bales // Plastic Technology – 2004. Mode of access: <http://www.ptonline.com/articles/know-your-mold-coatings>. – Date of access: 17.04.2023.
3. Diamond-like Carbon Films / [N. Chekan et al.]: ed. Y.S. Tanaka. – Nova Science Pub Inc, New York, 2012. – 207 p.
4. CHEkan, N. M. Novyj kombinirovannyj metod polucheniyaalmazopodobnyh plenok / N. M. CHEkan, V. V. Akulich, I. P. Akula // Sovremennyye metody i tekhnologii sozdaniya i obrabotki materialov: materialy vtoroj Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii, Minsk, 3–5 oktyabrya 2007 g.: v 2-h ch. / red. kol.: S. A. Astapchik [i dr.] Minsk: Ekoperspektiva, 2007. – Т. 2. – С. 148–158.
5. CHEkan, N. M. Tribologicheskie svojstvaalmazopodobnyh ugle-rodnnyh pokrytij, poluchennyh kombinirovannyj PVD-CVD metodom / N. M. CHEkan, I. P. Akula, E. V. Laduťko // Sovremennyye metody i tekhnologii sozdaniya i obrabotki materialov: materialy tret'ej Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii, Minsk, 15–17 oktyabrya 2008g.: sb. materialov: v 4 kn. / Multifunkcional'nye materialy v so-vremennoj tekhnike, mikro- i nanoelektronike / red. kollegiya S.A. Astapchik [i dr.] – Minsk : FTI NAN Belarusi, 2008. – Kn. 1. – Т. 1 – С. 140–143.

Материал поступил 04.03.2023, одобрен 18.04.2023, принят к публикации 20.04.2023

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВОЛОКНИСТЫХ РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

В. А. Банний¹, И. В. Царенко²

¹ К. т. н., доцент, доцент кафедры медицинской и биологической физики УО «Гомельский государственный медицинский университет», Гомель, Беларусь, e-mail: bannyi@hotmail.com

² К. т. н., доцент, доцент кафедры технология машиностроения УО «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», Гомель, Беларусь, e-mail: tsarenkoira@gstu.by

Реферат

Дана характеристика материалов, применяемых в качестве электромагнитных экранов. Установлены основные технологические параметры формирования волокнистого композиционного радиопоглощающего материала (РПМ) на основе полиэтиленовой матрицы, наполненной магнитомягким ферритом (ММФ), методом аэродинамического диспергирования расплава. Методом электронной микроскопии изучены структурные особенности волокнистого РПМ, модифицированного ММФ.

Ключевые слова: радиопоглощающие материалы, волокнистые композиционные полимерные материалы, метод аэродинамического диспергирования расплава.

TECHNOLOGICAL FEATURES OF RADIOABSORBING FIBROUS POLYMER COMPOSITES FORMATION

V. A. Bannyi, I. V. Tsarenko

Abstract

Characterization of materials for electromagnetic screens was done. Basic technological parameters for formation of fibrous polymer radioabsorbing materials (RAM) based on modified by soft ferrite (SF) polyethylene using the melt blowing technique. Structural features of fibrous SF-containing RAM were investigated by electron microscopy technique.

Keywords: radioabsorbing materials, fibrous polymer composites, melt-blowing technique.

Введение

В связи с интенсивным развитием радио- и электронной техники к естественному фоновому радиоизлучению Земли добавились новые источники электромагнитного излучения. Это, прежде всего, сотовая и спутниковая связь, системы навигации и радиолокации, радиотехнические установки, бытовая и медицинская радиотехника и др. Во многих из этих технических систем используется энергия электромагнитных волн сверхвысоких частот (СВЧ). При эксплуатации радиотехнических систем СВЧ возникают проблемы электромагнитной безопасности. Повышенные уровни электромагнитных полей и излучений оказывают отрицательное влияние на биологические объекты, организм человека. Кроме этого, паразитные переотражения и интерференция электромагнитных волн могут быть серьезным источником помех для эффективного функционирования технических устройств СВЧ. Они обостряют проблему электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств и систем защиты информации.

Эффективным средством обеспечения требований электромагнитной экологии, электромагнитной совместимости и электромагнитной безопасности являются электромагнитные экраны. Один из наиболее перспективных способов экранирования СВЧ-излучений связан с применением полимерных композитных РПМ [1–3]. Свою нишу в современном разнообразии РПМ занимают волокнистые полимерные композиты благодаря оптимальному сочетанию целого ряда полезных свойств: они легкие, могут работать одновременно как радиопоглошители, теплозащита, шумоизоляция, что обуславливает эффективность их применения в гражданском и военном строительстве, для создания маскирующих изделий военного и гражданского назначения. Необходимость такой защиты продиктована тем, что мощный электромагнитный импульс может моментально вывести из строя практически любую незащищенную радио- и электронную технику.

Данная работа посвящена разработке радиопоглощающего волокнистого полимерного композиционного материала на основе полиэтилена. Выбор полиэтилена в качестве полимерного связующего обусловлен выгодным сочетанием его свойств: высокой химической стойкостью, удовлетворительными механическими харак-

теристиками, технологичностью переработки и низкой стоимостью. Основной акцент в исследовании сделан на изучении влияния технологических факторов процесса аэродинамического диспергирования расплава на качество (адгезию частиц наполнителя к полимерному волокну, структурные параметры) радиопоглощающего волокнистого полимерного композита.

Материалы и методика эксперимента

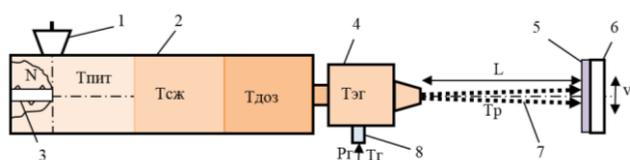
В качестве полимерного связующего использовали полиэтилен высокого давления (ПЭ, ГОСТ 16803-070). В качестве наполнителя – магнито-мягкий феррит (ММФ, ТУ 6-09-5111-84 марка 2500 НМС). Концентрация наполнителя – 30 масс %. По проведенной ранее рецептурной оптимизации состава материала на образцах, полученных методом термического прессования, наилучшие радиопоглощающие характеристики показали материалы, содержащие 38 масс % наполнителя [4]. В качестве пластификатора использовали диоктилфталат в количестве 0,5 масс %. Волокнистый материал формировали на лабораторной установке для переработки полимеров пневмоэкструзионным методом (метод аэродинамического диспергирования расплава, метод melt-blowing) [5]. Установка оснащена одношнековым экструдером с диаметром шнека 20 мм и одно сопловой распылительной головкой.

Исследование структурных элементов волокнистого материала, таких как диаметр волокна, плотность упаковки, проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа Leo 982.

Результаты исследования

На сегодняшний день существует достаточно большое количество методик введения частиц наполнителя в волокнистую полимерную матрицу. Самым простым способом наполнения волокнистого РПМ частицами ММФ является введение порошка наполнителя в газо-полимерный поток сразу после выхода полимера из экструзионной головки 4 (рисунок 1). В результате такой технологии частицы закрепляются на волокнах, находящихся в вязкотекучем состоянии. При этом порошок наполнителя можно подавать в различных

направлениях: как перпендикулярно газо-полимерному потоку, так и противотоком газо-полимерному потоку. Но ни один из этих вариантов не позволил получить материал с наполнением более 20 масс % ММФ размером частиц более 10 мкм. Приемлемой адгезией наполнителя к основе обладали только материалы, наполненные ММФ с размером частиц менее 10 мкм (таблица 1). Увеличение концентрации более крупных частиц приводит к существенному ослаблению адгезионной связи ММФ-ПЭ. Проведенные ранее исследования по изучению влияния концентрации и размера частиц ММФ на радиопоглощающие характеристики композита [4] показали, что для расширения области защитного действия и достижения максимального защитного эффекта материала требуется наполнение полимерной матрицы полидисперсными частицами. Рассеяние электромагнитных волн (ЭМВ) происходит вследствие многократных внутренних переотражений ЭМВ главным образом от мелких частиц, тогда как эффект поглощения определяется преимущественно содержанием крупных частиц. Поскольку наилучшими радиозащитными свойствами обладают материалы с размером частиц более 10 мкм и содержанием наполнителя 38–40 масс % [4], данная технология наполнения РПМ принята как неприемлемая. Кроме этого для нее характерен и очень большой расход наполнителя.



1 – бункер; 2 – экструдер; 3 – шнек; 4 – распылительная головка; 5 – волокнистая масса; 6 – формообразующая подложка; 7 – газо-полимерный поток; 8 – патрубок подачи сжатого воздуха

Рисунок 1 – Схема технологического процесса формирования волокнистого полимерного материала:

Таблица 1 – Технологии наполнения волокна крупнодисперсными твердыми частицами ММФ

Технология наполнения волокна твердыми частицами	Качество наполнения волокна (адгезия наполнителя к полимеру, расход наполнителя) частицами ММФ различных размеров			
	1–10 мкм	10–50 мкм	50–100 мкм	100–150 мкм
Введение порошка наполнителя в газо-полимерный поток с подачей перпендикулярной газо-полимерному потоку	+/-	-	-	-
	большой расход наполнителя, слабая адгезия			
Введение порошка наполнителя в газо-полимерный поток с подачей противотоком газо-полимерному потоку	+/-	-	-	-
	большой расход наполнителя, слабая адгезия			
Введение порошка наполнителя обсыпанием на осажденную на подложку волокнистую массу	+/-	-	-	-
	слабая адгезия			
Совместная переработка в экструдере: смешивание порошка наполнителя с полимером в процессе переработки	+	+/-	-	-
		неравномерное распределение наполнителя в материале		засорение экстр. головки
Совместная переработка в экструдере: смешивание порошка наполнителя с полимером предварительно с изготовлением гранулята	+	+	+/-	-
				засорение экстр. головки

Введение порошка ММФ обсыпанием на волокнистую массу 5, осажденную на подложку 6 (рисунок 1), также не позволило получить РПМ с необходимой степенью наполнения и размерами частиц ММФ из-за слабой адгезии частиц, крупнее 10 мкм.

При совместной переработке полиэтилена с ММФ смешивание порошка наполнителя с полимером происходит в экструдере 2. Используя такую технологию наполнения, можно получить удовлетворительный по показателям адгезии РПМ с размерами частиц до 50 мкм. Однако для материалов, наполненных ММФ с размерами более 10 мкм, отмечается неравномерное распределение частиц

наполнителя в материале. Наблюдалось оседание более крупных частиц наполнителя при больших концентрациях в процессе переработки в экструдере. А наполнение по этой технологии материала ММФ с размерами более 100 мкм приводило к засорению экструзионной головки.

Получение волокнистого РПМ, модифицированного ММФ частицами с размером более 10 мкм и в концентрации 30–32 масс % оказалось возможным только в результате переработки в экструдере предварительно изготовленного гранулята полимера с наполнителем. Но даже с использованием этой технологии наполнения получить волокнистый РПМ, модифицированный частицами более 100 мкм, не удалось также из-за засорения экструзионной головки частицами ММФ.

Качество и структурные особенности волокнистого РПМ определяются множеством технологических показателей процесса аэродинамического диспергирования расплава. Во-первых, плотность и качество упаковки материала в целом определяются достигнутой в результате нагрева в экструдере текучести расплава полимера. Существует зависимость показателя текучести расплава от распределения температур по зонам экструдера (градиент температур) [5]. Всего в процессе экструзии выделяют три основные температурные зоны, определяющие достигаемую текучесть расплава (рисунок 1): зона питания, характеризуемая температурой $T_{пнт}$; зона сжатия (зона пластификации), характеризуемая температурой $T_{сж}$; зона дозирования (зона выдавливания), характеризующаяся температурой $T_{доз}$. Очень важной характеристикой при формировании волокна является также температура экструзионной головки $T_{эг}$. Для наиболее эффективного выдавливания экструдата и получения качественного волокна необходимо добиться показателя текучести расплава порядка 0,2 г/мин. Значения температур в различных областях экструдера устанавливаются экспериментально в зависимости от материала гранулята (полимерной матрицы и наполнителей). Для исследуемого состава (ПЭ+30 масс % ММФ) требуемая текучесть расплава была достигнута при $T_{пнт} = 185 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{сж} = 325 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{доз} = 430 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{эг} = 420 \text{ }^\circ\text{C}$.

На качество и структурные особенности экструдата, такие как: плотность упаковки волокон и их диаметр, прочность когезионного взаимодействия между слоями оказывают существенное влияние частота вращения шнека N , расстояние от сопла до формообразующей поверхности L , температура распыляющего воздуха T (рисунок 1).

Увеличение частоты вращения шнека N ведет к увеличению диаметра волокон и плотности материала (таблица 2). Но, помимо структурных характеристик, частота вращения шнека влияет на прочность получаемого материала и на производительность процесса экструзии: с увеличением скорости вращения растет производительность. Однако, в связи с тем, что пропускная способность распылительной головки намного ниже производительности экструдера, при больших скоростях вращения шнека возникает опасность переноса расплава в камеру экструдера и термоокислительной деградации его макромолекул. И поскольку твердые частицы наполнителя накапливают дополнительную теплоту, то с увеличением содержания наполнителя растет вероятность термоокислительной деградации материала. При частоте вращения шнека 10 мин⁻¹ наблюдалась слишком низкая производительность процесса, а при 30 мин⁻¹ ухудшались прочностные свойства материала, в качестве оптимального значения частоты вращения шнека было выбрано значение 20 мин⁻¹.

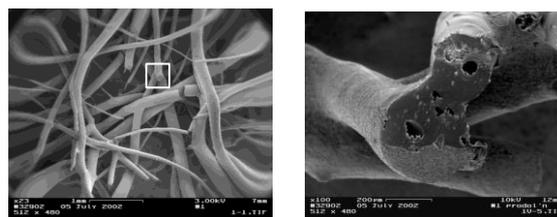
Одним из важнейших технологических факторов, определяющих структуру волокнистого материала и его качество, является расстояние от сопла экструзионной головки до формообразующей поверхности L . Именно в пространстве между соплом и оправкой происходит диспергирование расплава и вытягивание волокна. Поэтому, если расстояние недостаточное для вытягивания волокна, то структура материала наполняется затвердевшими частицами – бусинками (как при $L = 15 \text{ см}$). С другой стороны, при $L = 25 \text{ см}$ терялась стабильность формы из-за ослабления когезионного связывания волокон вследствие их остывания при транспортировании в газовом потоке. Такой материал приобретал структуру ваты, состоящей из отдельных волокон. В качестве оптимального расстояния от сопла экструзионной головки до формообразующей поверхности было выбрано значение $L = 18 \text{ см}$.

Таблица 2 – Влияние технологических характеристик на структурные особенности волокнистого РПМ

Технологические характеристики процесса экструзии	Объемная плотность упаковки, г/см ³	Диаметр волокон, мкм	Особенности	
Частота вращения шнека N , мин ⁻¹ ($L = 18$ см, $P = 100$ кПа, $T = 50$ °С)	10	0,2	20–250	низкая производительность
	20	0,3	20–350	–
	30	0,6	50–400	термоокислительная деструкция макромолекул полимера
Расстояние от сопла до формообразующей поверхности L , см ($N = 20$ мин ⁻¹ , $P = 100$ кПа, $T = 50$ °С)	15	0,5	20–200	«бусинки», т. к. нет достаточной вытяжки волокон
	18	0,3	20–350	–
	25	0	50–500	теряется стабильность формы, много отдельных несвязанных волокон, т.к. ослабилось когезионное связывание из-за остывания волокон
Температура распыляющего газа T , °С ($N = 20$ мин ⁻¹ , $P = 100$ кПа, $L = 18$ см)	30	0,2	45–440	низкая производительность
	50	0,3	20–350	оптимальная энергоёмкость, средняя производительность
	150	0,8	5–30	высокая производительность, риск термоокислительной деструкции полимера

Еще один важный технологический фактор, определяющий качество получаемого волокнистого материала – температура распыляющего газа T (позиция 7 на рисунок 1). В погоне за высокой скоростью и высокой производительностью процесс пневмоэкструзии волокнистых материалов обычно ведется на грани термоокислительной деструкции полимера. Применение высоких температур обеспечивает, с одной стороны, низкую вязкость полимерной массы, позволяющую увеличить производительность процесса, а с другой – приводит к интенсивному окислению полимера и потере его механических характеристик. Оптимальный выбор температурного режима позволяет уменьшить энергоёмкость процесса, избежать термоокислительной деструкции всего материала, но повысить адгезионное взаимодействие полимера с наполнителем в результате только поверхностного окисления волокна. С ростом температуры распыляющего газа возрастает липкость волокон, растёт количество «мостиков» сварки между ними. Сваривание волокон обуславливает их более плотную упаковку в структуре материала [6]. В качестве оптимальной температуры распыляющего газа была выбрана $T = 50$ °С. Поток газа с температурой более низкой, чем температура плавления полимера (для нашего случая – 110 °С) позволяет сократить L (расстояние от сопла до формообразующей поверхности) и вести процесс без образования «бусинок» и других неоднородностей структуры.

Таким образом, экспериментальным путем были определены следующие технологические параметры: $N = 20$ мин⁻¹, $L = 18$ см, $T = 50$ °С. Такие режимы экструдирования позволяют получить структуру, представленную на рисунке 2, характеризующуюся стабильностью формы, объемной плотностью упаковки 0,3 г/см³, диаметром волокон, изменяющимся в диапазоне от 23 до 320 мкм. Частицы наполнителя не выступают за контуры волокна, не вызывают появления «бусинок» (затвердевших капелек расплава) и других неоднородностей волокнистого каркаса. По данным электронно-микроскопических исследований нетканые волокнистые РПМ представляют собой совокупность наполненных полимерных волокон, когезионно связанных в местах контакта. Частицы наполнителя ММФ закапсулированы внутри волокон (рисунок 2).



а – нетканый волокнистый РПМ состава ПЭ + ММФ;
б – поперечный срез волокон

Рисунок 2 – Электронно-микроскопические изображения

Заключение

Установлены основные технологические параметры для формирования волокнистого композиционного РПМ на основе полиэтиленовой матрицы, наполненной ММФ, методом аэродинамического диспергирования расплава. При частоте вращения шнека 20 мин⁻¹, расстоянии от сопла распылительной головки до формообразующей поверхности 18 см и температуре распыляющего воздуха 50 °С был получен волокнистый композиционный материал на основе полиэтиленовой матрицы, содержащий до 30 масс % частиц ММФ различной дисперсности. Методом электронной микроскопии были изучены его структурные параметры. Полученный материал характеризуется отсутствием дефектов структуры, затвердевших частиц-бусинок и других неоднородностей волокнистого каркаса; диаметром волокон, изменяющимся в диапазоне от 23 до 320 мкм, объемной плотностью упаковки 0,3 г/см³ и стабильностью формы.

Список цитированных источников

1. Банний, В. А. Радиопоглощающие материалы на основе полимерных композитов как средства защиты от СВЧ-излучения / В. А. Банний, А. В. Макаревич // Материалы международной науч. конф. по военнотехническим проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения. – Минск, 2003. – С. 104–105.
2. Банний, В. А. Радиопоглощающие материалы на основе полимерных композитов как средства обеспечения электромагнитной совместимости и безопасности радиоэлектронных систем / В. А. Банний, А. В. Макаревич, Л. С. Пинчук // Материалы V междунар. симпоз. по электромагнитной совместимости и экологии (ЭМС – 2003). – СПб., 2003. – С. 95–97.
3. Банний, В. А. Радиопоглощающие материалы на основе наполненного полиэтилена / В. А. Банний, И. В. Царенко // Вестник Гомельского государственного университета им. П. О. Сухого. – 2009. – № 3. – С. 3–6.
4. Банний, В. А. Влияние размерных и рецептурных параметров полимерных композитов на их радиофизические характеристики [Текст] / В. А. Банний, А. В. Макаревич, Л. С. Пинчук // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2000. – Т. 44, № 4. – С. 109–111.
5. Полимерные волокнистые melt-blown материалы / В. А. Гольдаде [и др.]. – Гомель : ИММС НАНБ, 2000. – 260 с.
6. Melt blowing: equipment, technology and polymer fibrous materials / L. S. Pinchuk [et al.]. – Berlin : Springer, 2002. – 212 p.

References

1. Bannyj, V. A. Radiopogloshchayushchie materialy na osnove polimernyh kompozitov kak sredstva zashchity ot SVCh-izlucheniya / V. A. Bannyj, A. V. Makarevich // Materialy mezhdunarodnoj nauch. konf. po voennotekhnicheskim problemam, problemam obrony i bezopasnosti, ispolzovaniyu tekhnologii dvojnogo primeneniya. – Minsk, 2003. – S. 104–105.
2. Bannyj, V. A. Radiopogloshchayushchie materialy na osnove polimernyh kompozitov kak sredstva obespecheniya elektromagnitnoj sovmestimosti i bezopasnosti radioelektronnyh si-stem / V. A. Bannyj, A. V. Makarevich, L. S. Pinchuk // Materialy V mezhdunar. simpoz. po elektromagnitnoj sovmestimosti i ekologii (EMS – 2003). – SPb., 2003. – S. 95–97.
3. Bannyj, V. A. Radiopogloshchayushchie materialy na osnove napolnennogo polietilena / V. A. Bannyj, I. V. Careno // Vestnik Gome'lskogo gosudarstvennogo universiteta im. P. O. Suhogo. – 2009. – № 3. – S. 3–6.
4. Bannyj, V. A. Vliyanie razmernih i recepturnyh parametrov polimernyh kompozitov na ih radiofizicheskie harakteristiki [Tekst] / V. A. Bannyj, A. V. Makarevich, L. S. Pinchuk // Doklady Nacional'noj akademii nauk Belarusi. – 2000. – T. 44, № 4. – S. 109–111.
5. Polimernye voloknistye melt-blown materialy / V. A. Gol'dade [i dr.]. – Gome' : IMMS NANB, 2000. – 260 s.
6. Melt blowing: equipment, technology and polymer fibrous materials / L. S. Pinchuk [et al.]. – Berlin : Springer, 2002. – 212 p.

Материал поступил 21.03.2023, одобрен 24.03.2023, принят к публикации 29.04.2023

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИХ УПРОЧНЯЮЩИХ ТОНКОПЛЁНОЧНЫХ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩИХ ПОКРЫТИЙ И КОМПОЗИЦИИ ПОКРЫТИЕ-ПОДЛОЖКА, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКИХ КОНТАКТНЫХ ДАВЛЕНИЙ

А. Л. Голозубов

К. т. н., доцент, доцент кафедры инженерно-педагогического образования УО «Мозырский государственный педагогический университет им. И. П. Шамякина», Мозырь, Беларусь, e-mail : golozuboval@ya.ru

Реферат

Упрочнение контактирующих металлических поверхностей, работающих в условиях высоких контактных давлений часто встречающаяся в производстве задача. Высокие контактные давления встречаются при работе штамповой оснастки, в прессовых соединениях, парах трения и т. д.

В статье предложено использование технологии осаждения тонкопленочных кремнийсодержащих покрытий, осаждаемых из дуговой плазмы при атмосферном давлении, что позволяет улучшить эксплуатационные свойства упрочнённых поверхностей. Эффект упрочнения связан с несколькими аспектами: высокие физико-механические свойства, сплошность и низкий коэффициент трения тонкопленочного кремнийсодержащего покрытия; совместная работа покрытия и приповерхностного слоя подложки.

Ключевые слова: упрочнение, тонкопленочное кремнийсодержащее покрытие, дуговая плазма, микротвёрдость, высокие контактные давления.

INVESTIGATION OF PROPERTIES OF PLASMA-CHEMICAL STRENGTHENING THIN-FILM SILICON-CONTAINING COATINGS AND COATING-SUBSTRATE COMPOSITIONS WORKING UNDER HIGH CONTACT PRESSURES

A. L. Halazubau

Abstract

Hardening of contacting metal surfaces operating under conditions of high contact pressures is a common task in production. High contact pressures are encountered during the operation of die equipment, in press joints, friction pairs, etc.

The article proposes the use of technology for the deposition of thin-film silicon-containing coatings deposited from arc plasma at atmospheric pressure, which improves the performance properties of hardened surfaces. The hardening effect is associated with several aspects: - high physical and mechanical properties, continuity and low coefficient of friction of a thin-film silicon-containing coating; - joint operation of the coating and the near-surface layer of the substrate.

Keywords: hardening, thin-film silicon-containing coating, arc plasma, microhardness, high contact pressures.

Введение

Защита металлических поверхностей от износа при действии высоких контактных давлений является важной наукоёмкой задачей, поэтому исследования в данной области актуальны для многих сфер современного производства. Образование на поверхности детали защитных покрытий – наиболее эффективное направление защиты от износа соприкасающихся поверхностей при действии высоких контактных давлений. Защитные упрочняющие покрытия изолируют контактирующие поверхности соприкасающихся деталей друг от друга и от промежуточных слоев, а также от действия окружающей среды, препятствуют возникновению явления схватывания и образования поверхностных окисных слоев, снижающих эксплуатационные свойства технологической оснастки. Наиболее рациональная область использования – упрочнение контактирующих поверхностей штамповой оснастки для разделительной штамповки, прецизионных узлов трения.

Работоспособность системы защитное покрытие-подложка зависит от свойств покрытия: сплошности (непроницаемости для агрессивных сред), прочности сцепления с металлом (адгезии), равномерности распределения по поверхности, жаростойкости, а также свойств подложки. Долговечность покрытий определяется длительностью сохранения толщины и свойств покрытия и связи его с подложкой.

Особенностью исследования физико-механических свойств тонкопленочных покрытий (ТП) в отличие от компактных массивных материалов является необходимость рассмотрения отдельных характеристик в тесной взаимосвязи, с учетом их взаимовлияния, что позволяет создать целостную картину их свойств.

Исследование свойств упрочняющих ТП

Защитные свойства ТП определяется не столько абсолютными значениями отдельных характеристик, сколько их относительным взаимодействием и взаимовлиянием и во многом определяются соотношением между когезией и адгезией. Преобладание когезии над адгезией является причиной разрушения покрытий по адгезионному механизму – за счет отслаивания от подложки с потерей защитных свойств упрочняющих ТП. Превалирование адгезии может быть причиной разрушения по когезионному механизму за счет образования сетки трещин в ТП. Поэтому необходимо создавать рациональное сочетание адгезионных и когезионных свойств в системе покрытие-подложка. Основным доступным способом количественной и качественной оценки физико-механических свойств тонкопленочных покрытий является измерение твёрдости (микротвёрдости).

Одной из наиболее важных особенностей образования на металлических подложках упрочняющих износостойких ТП из дуговой плазмы при атмосферном давлении является высокая скорость охлаждения тонкопленочного покрытия и поверхностных слоев подложки в процессе нанесения ТП, достигающих $10^5 - 10^6$ К/с. Наличие значительного градиента температур обусловлено малой толщиной ТП (0,3–1,5 мкм), невысокой эффективной мощностью дугового плазматрона, связанной с его конструктивными особенностями (плазматрон косвенного действия); циклическостью нанесения ТП, интенсивным теплоотводом от поверхностных слоев в глубину подложки. Конденсация из газовой фазы идёт по механизму паржидкость-аморфная фаза, что и определяет особенности строения упрочняющего кремнийсодержащего ТП [1,2].

В результате такого характера образования и роста получаемое покрытие имеет химический состав, отличный от стехиометрического, содержащий в своём составе оксиды, нитриды и карбиды кремния в различных процентных соотношениях, определяемых химическим элементарным составом реагентов плазменной струи. Высокие скорости охлаждения ТП способствуют аморфизации покрытия и образованию искаженной, фрагментированной структуры.

На установке ДРОН-3 образец снимается в Cu-K α монохроматизированном излучении в режиме сканирования с шагом 0,05 и с постоянной времени набора импульсов на точку $t = 100$ с. Снимался диапазон углов, на котором должны были находиться линии от предполагаемых фаз: Si, SiC, SiO₂, Si₃N₄. В результате была зафиксирована линия с межплоскостным расстоянием $d = 2,15$ (рисунок 1).

Из рассмотрения распределения интенсивности отражения следует: кривая имеет сглаженный вид, на ней отсутствуют дифракционные максимумы, характерные для веществ, имеющих кристаллическую решетку. Отсутствие пиков, принадлежащих SiO₂, Si₃N₄, SiC не говорит о том, что этих фаз нет в составе покрытия. Наблюдаемое распределение соответствует компактному веществу с ориентацией частиц без дальнего порядка. Таки образом, исследования фазового состава показали, что получаемые из дуговой плазмы ТП имеют аморфную (стеклообразную) структуру, характеризующуюся высокой степенью структурных несовершенств. В результате физико-механические свойства кремнийсодержащего ТП отличаются от свойств компактного материала в сторону их увеличения.

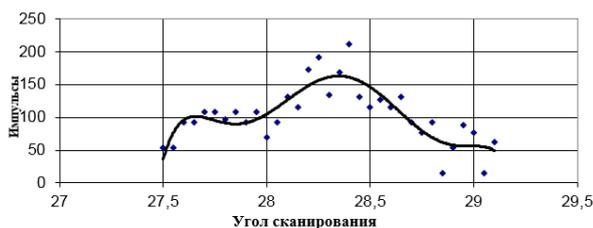


Рисунок 1 – Дифрактограмма фазового состава

Исследование фрагментов ТП, отделённого от подложки по оригинальной методике [3], показали, что покрытие является сплошным, однородным и без дефектов строения.

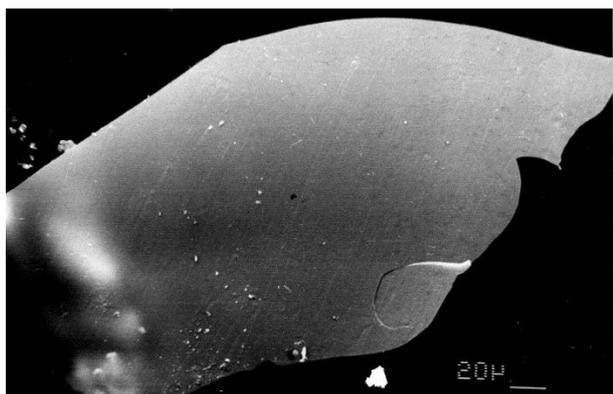


Рисунок 2 – Вид тонкоплёночного кремнийсодержащего покрытия, отделённого от подложки РЭМ Nanolab 7, $\times 500$

При этом измеренная по интерференционной картине толщина ТП хорошо согласуется с данными электронной микроскопии и составляет от 0,3 до 1,5 мкм. (рисунок 2).

Исследования структуры упрочняющих ТП после воздействия высоких контактных давлений показали, что само ТП в результате такого рода воздействий не разрушается, т.е. отсутствует разрушение по компрессионному механизму. Это означает, что высокие удельные нагрузки передаются через более прочное ТП на подложку, которая под их действием начинает деформироваться сначала в упругой, а затем и в пластической стадии. Проведенные измерения

микротвердости на микротвердомере "Micromet-2" фирмы "Bullelmet", бездефектных участков ТП после действия высоких контактных давлений, не показали существенной разницы с участками ТП на испытываемой подложке, не подвергавшихся действию высоких контактных давлений ($H \mu^k = 20,0 - 24,8$ ГПа). Это означает, что изменение свойств композиции покрытие – подложка при действии высоких контактных давлений будет зависеть от изменения состояния приповерхностного слоя подложки, в результате протекания в нем процессов деформирования.

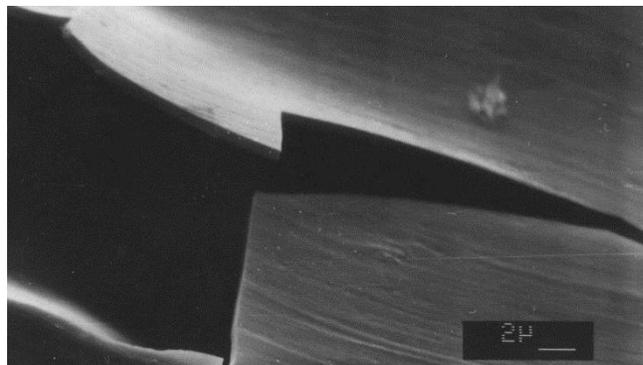


Рисунок 3 – Вид тонкоплёночного кремнийсодержащего покрытия, отделённого от подложки РЭМ Nanolab 7, $\times 5000$

Поэтому измерение микротвердости композиции покрытие-подложка является более информативной качественной характеристикой и будет во многом зависеть от свойств подложки.

При работе штамповой оснастки одной из основных причин выхода из строя защитных покрытий является изнашивание их поверхности, которое может носить абразивный характер. Это происходит из-за случайного попадания различных абразивных частиц как извне, так и в составе технологической массы. Поэтому в этом случае основное внимание необходимо уделить разрушению ТП вследствие действия механизма поверхностного микрорезания. Оценка сопротивляемости материала микрорезанию можно проводить по результатам измерения микротвердости.

Правомерность оценки износостойкости по измеренной микротвердости вытекает из рассмотрения механизма износа. С точки зрения молекулярно-механической теории, наиболее полно учитывающей действие всех факторов, интенсивность износа в значительной степени зависит от твердости истираемой поверхности и наличия адгезионных связей между взаимодействующими поверхностями.

Увеличение твердости защитного покрытия приводит к изменению условий износа – уменьшению или полному исключению режима микрорезания. В этом случае обеспечивается оптимальный режим – упругое взаимодействие контактирующих поверхностей. Метод оценки прочностных свойств по измеренной микротвердости получил распространение также из-за относительной простоты и невысокой трудоемкости.

Измерения микротвердости композиции ТП – подложка проводились при разных нагрузках на индентор: 10, 50, 100 г на твердомере "Micromet-5100" Buehler. Такая методика измерения позволяет получить полную картину изменения свойств композиции ТП – подложка. Малая нагрузка на индентор предполагает, во-первых, незначительное внедрение индентора в подложку, что позволяет оценивать состояние тонких приповерхностных слоев подложки; а во-вторых, большее участие ТП в интегральной микротвердости композиции ТП-подложка. Большие нагрузки уменьшают влияние ТП на общую микротвердость и в основном показывают состояние приповерхностного (деформируемого) слоя подложки. Измерения микротвердости при различных нагрузках на индентор проводились в одинаковых условиях для обеспечения точности сравнительных исследований. Рассмотрение зависимостей микротвердости композиции ТП-подложка после предварительного воздействия высоких контактных давлений при разных нагрузках (рисунки 3–6) позволяет заключить следующее.

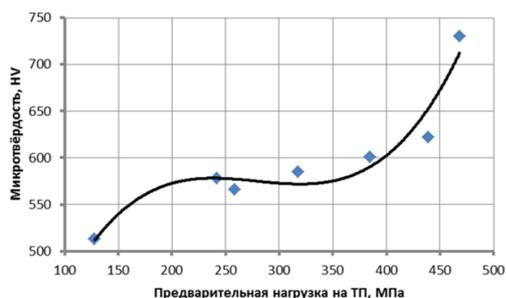


Рисунок 4 – Микротвердость композиции ТП – подложка в зависимости от величины контактных давлений предварительного нагружения образцов, материал подложки У8А (52 HRCэ, закалка 790 °С, вода, отпуск 350 °С), индентор Виккерса, P = 10г, t = 12 с

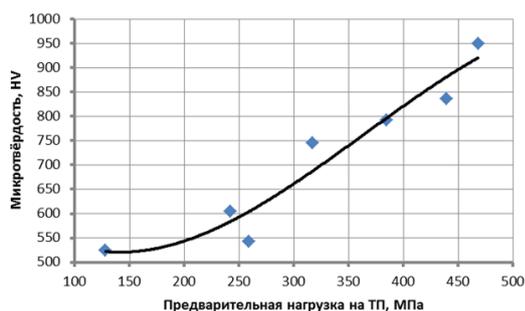


Рисунок 5 – Микротвердость композиции ТП – подложка в зависимости от величины контактных давлений предварительного нагружения образцов, материал подложки У8А (52 HRCэ, закалка 790 °С, вода, отпуск 350 °С), индентор Виккерса, P = 50г, t = 12 с

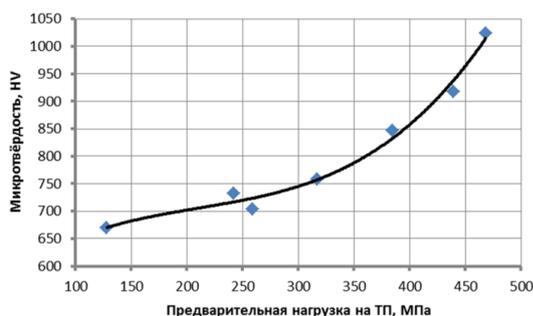


Рисунок 6 – Микротвердость композиции ТП – подложка в зависимости от величины контактных давлений предварительного нагружения образцов, материал подложки У8А (52 HRCэ, закалка 790 °С, вода, отпуск 350 °С), индентор Виккерса, P = 100г, t = 12 с

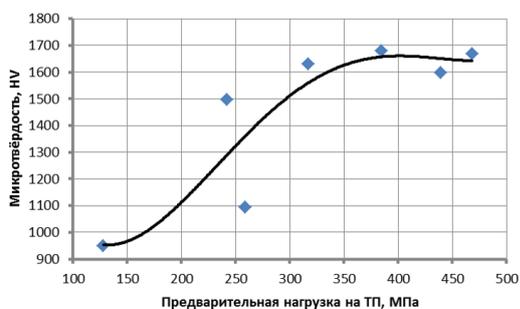


Рисунок 7 – Микротвердость композиции ТП – подложка в зависимости от величины контактных давлений предварительно нагруженного образца, материал подложки основа - ВСтЗсп, наплавленный наружный слой – сормайт (толщина 6 мм), дуговая наплавка (62 HRCэ), индентор Виккерса, P = 200г, t = 12с.

Для образцов из инструментальной стали У8А условно можно выделить два участка кривых, на которых поведение микротвёрдости имеет сходный характер. Вначале, при малых усилиях предварительного нагружения ТП, наблюдается снижение микротвердости, связанное с началом процессов пластического деформирования в приповерхностных слоях подложки.

На втором участке, при средних значениях предварительного нагружения ТП, начинается плавный рост микротвердости композиции ТП – подложка вызванный, вероятнее всего, эффектом упрочнения в результате значительного пластического деформирования приповерхностных слоев подложки.

Аналогичный эффект может быть достигнут и при меньших значениях величины пластической деформации в результате действия большого количества циклов нагружения (для оснастки вырубных штампов $8 \cdot 10^3$ – $50 \cdot 10^3$ ударов).

Заключение

Полученные экспериментальные данные позволяют сделать следующие выводы.

Микротвердость упрочняющего кремнийсодержащего ТП после воздействия высоких контактных давлений не изменяется, т. к. ТП, имеющее более высокие физико-механические свойства, чем подложка, в процессе воздействия высоких контактных давлений является промежуточным слоем, через который передаются нагрузки непосредственно на поверхностные слои подложки, при этом отсутствует компрессионный механизм когезионного разрушения ТП.

Прочностные свойства композиции ТП – подложка определяются в основном состоянием приповерхностного слоя подложки, испытывающего упругие и пластические деформации в результате действия высоких контактных давлений.

Действие высоких контактных давлений, в пластической стадии деформирования подложки, вначале сопровождается незначительным снижением микротвердости композиции, упрочняющее ТП – подложка, а при дальнейшем увеличении контактных давлений – ростом микротвердости.

Упрочняющее ТП в условиях пластических и упругих деформаций не теряет защитных свойств, обеспечивая надёжную защиту контактирующих поверхностей оснастки за счёт их разделения и переводу режима износа из микрорезания в режим упругого взаимодействия.

Проведенные производственные испытания показали, что на упрочняемых поверхностях штамповой оснастки наблюдается сплошной износ упрочняющего ТП с отсутствием участков скалывания покрытия. Нанесение упрочняющего ТП позволило увеличить ресурс работы штампов для разделительной штамповки в 2,5–3 раза.

Список цитированных источников

1. Механизм формирования плазмохимических тонкопленочных покрытий, полученных из дуговой плазмы / А. Л. Голозубов // Сварка и родственные технологии 1: Респ. межвед. сб. науч. труд. БГНПК ПМ, НИКТИ СП. – Минск, 1999. – С. 70.
2. Технология тонких пленок. Справочник: В 2 т. / Под ред. Л. Майссела, Р. Гленга.-М.: Советское радио, 1977. – Т. 1. – 664 с.

References

1. Mechanizm formirovaniya plazmohimicheskikh tonkoplenochnykh pokrytij, poluchennyh iz dugovoj plazmy / A. L. Golozubov // Svarka i rodstvennye tekhnologii 1: Resp. mezhved. sb. nauch. trud. BGNPK PM, NIKTI SP. – Minsk, 1999. – S. 70.
2. Tekhnologiya tonkih plenok. Spravochnik: V 2 t. / Pod red. L. Majssela, R. Glenga.-M.: Sovetskoe radio, 1977. – T. 1. – 664 s.

Материал поступил 25.05.2023, одобрен 01.05.2023, принят к публикации 01.05.2023

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В КОНТАКТНЫХ ПАРАХ ЭКСЦЕНТРИКОВОЙ ПЕРЕДАЧИ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ВХОДНОГО И ВЫХОДНОГО ВАЛОВ

П. Н. Громыко¹, С. Н. Хатетовский², В. Л. Юркова³

¹Д. т. н., профессор, профессор кафедры металлорежущих станков и инструментов
МОУВО «Белорусско-Российский университет», Могилев, Беларусь, e-mail: grom_7@tut.by

²К. т. н., доцент, заведующий кафедрой металлорежущих станков и инструментов
МОУВО «Белорусско-Российский университет, Могилев, Беларусь, e-mail: mechlab@yandex.ru

³Начальник отдела по профориентационной и информационной работе
МОУВО «Белорусско-Российский университет, Могилев, Беларусь, e-mail: mvikenzia.89@mail.ru

Реферат

В статье представлен один из вариантов структурной схемы передачи эксцентрикового типа, у которой входной и выходной валы расположены параллельно. Предложена конструкция эксцентриковой передачи с поступательным движением сателлита, имеющего наружные зубья, входящие в зацепление с внутренними зубьями выходного центрального колеса. Для данного варианта передачи получена аналитическая формула механических потерь в контактных парах от угла поворота основного кривошипа. Приведен пример расчета механических потерь с получением исходных данных средствами компьютерного моделирования. Получена графическая зависимость механических потерь в рассматриваемом варианте эксцентриковой передачи от основных геометрических параметров. Разработанная методика предварительной оценки потерь мощности в эксцентриковой передаче с параллельным расположением входного и выходного валов может служить основой оптимизации геометрии по критерию максимального значения КПД.

Ключевые слова: эксцентриковая передача с параллельным расположением входного и выходного валов, коэффициент полезного действия, поступательно движущийся сателлит, центральное колесо, механические потери в зацеплении.

PRELIMINARY ESTIMATE OF POWER LOSSES IN ECCENTRIC TRANSMISSION CONTACT PAIRS WITH PARALLEL INPUT AND OUTPUT SHAFT ARRANGEMENT

P. N. Gromyko, S. N. Khatetovsky, V. L. Yurkova

Abstract

The article presents one of the variants of the structural scheme of the eccentric type transmission, in which the input and output shafts are located in parallel. The design of an eccentric transmission with translational motion of a satellite having external teeth that are involved with the inner teeth of the output central wheel is proposed. For this transmission option, an analytical formula for mechanical losses in contact pairs from the angle of rotation of the main crank is given. An example of calculating the output center wheel is given. An example of the calculation of the output center wheel is obtained mechanical losses with the receipt of initial data by means of computer modeling. The graphical dependence of mechanical losses in the considered variant of eccentric transmission on the basic geometric parameters is obtained. The developed method of preliminary estimation of power losses in an eccentric transmission with a parallel arrangement of the input and output shafts can serve as the basis for optimizing the geometry according to the criterion of the maximum efficiency value.

Keywords: eccentric transmission with a parallel arrangement of the input and output shafts, translational motion of a satellite, central wheel, mechanical losses in transmission

Введение

Эксцентриковые передачи нашли широкое распространение в конструкциях разнообразных механизмов и машин [1]. Одним из интересных для инженера вариантов конструкции эксцентриковой передачи является вариант с параллельным расположением входного и выходного валов. На основе данного варианта можно реализовать передаточное отношение от 20 до 80 [2, 3]. Следует отметить, что широко известные клиноременные, цепные и другие механические передачи с параллельным расположением входного и выходного валов имеют передаточные отношения не более 10, что не позволяет их применять в случае значительного момента на выходном звене. Поэтому синтез новых редуцирующих механизмов с параллельным расположением входного и выходного валов и с большим передаточным отношением является актуальной задачей. Кроме этого, на основе эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов могут быть синтезированы механизмы разделения потока мощности [4].

Одним из наиболее важных показателей для любого вида механических передач, включая эксцентриковые передачи с параллельным расположением входного и выходного валов, является коэффициент полезного действия (КПД). Потери мощности в контактных парах в определенном смысле позволяют говорить о том, насколько применяемый механизм эффективен в данных условиях. Известно, что КПД зацепления может быть оценен при помощи компьютерного

моделирования на последней стадии проектирования. Очень важно знать аналитические зависимости потерь мощности, что на раннем этапе проектирования позволяет сравнить различные компоновочные решения и окончательно определить наилучшую конструкцию передачи.

Формула для расчета механических потерь в контактных парах эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов

На рисунке 1 показана кинематическая схема эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов с поступательным движением сателлита [5].

Электродвигатель 1 приводит во вращательное движение входной вал 2, на котором расположен основной кривошип 3 с эксцентриситетом A_1A_2 . В корпусе 4 редуктора, кроме основного кривошипа 2, расположен вал 5 дополнительного кривошипа 6 с эксцентриситетом B_1B_2 . Вращение от основного кривошипа 3 передается на сателлит 7. Сателлит 7 за счет вращений основного 3 и дополнительного 6 кривошипов получает поступательное движение, определяемое значениями равными по величине эксцентриситетами A_1A_2 и B_1B_2 . На сателлите 7 жестко закреплен зубчатый венец 8 (с осью O_2), который взаимодействует с зубчатым колесом 9 (с осью O_1). Вращение от зубчатого колеса 9 передается на выходной вал 10.

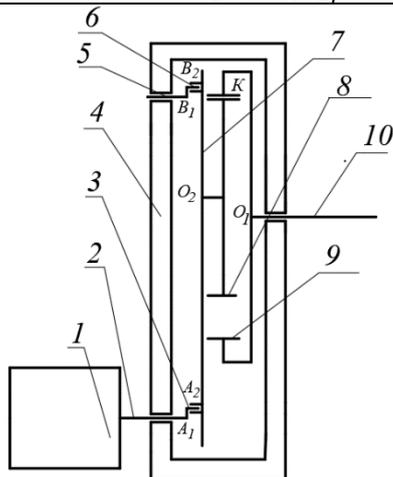


Рисунок 1 – Кинематическая схема эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов

Значение механических потерь в точках контакта зубчатого венца 8 и зубчатого колеса 9 (точки K) и в точках контакта сателлита 7 и дополнительного кривошипа 6 (точки B_2) можно определить по формуле:

$$\xi = \frac{F_{\text{тр}K} \cdot V_K + F_{\text{тр}B_2} \cdot V_{B_2}}{M_{\text{вых}} \cdot \omega_{\text{вых}}}, \quad (1)$$

- где $F_{\text{тр}K}$ – сила трения в точке K ;
- $F_{\text{тр}B_2}$ – сила трения в точке B_2 ;
- V_K – линейная скорость в точке K ;
- V_{B_2} – линейная скорость в точке B_2 ;
- $M_{\text{вых}}$ – момент на выходном звене;
- $\omega_{\text{вых}}$ – угловая скорость выходного звена.

Для определения силы трения $F_{\text{тр}K}$ в точке K рассмотрим зубчатое колесо 9, связанное с выходным валом 10 (рисунок 2). Следует отметить, что точка K в зависимости от контакта зубчатого венца 8 и зубчатого колеса 9 может располагаться по различным профилям зубьев зубчатого колеса 9.

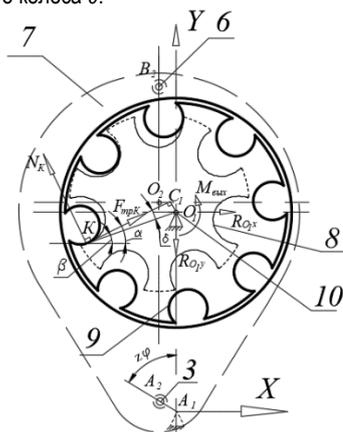


Рисунок 2 – Схема действия сил на зубчатое колесо эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов

Составим сумму моментов относительно точки O_1 всех сил, действующих на зубчатое колесо 9:

$$\sum M_{O_1} = 0, \quad (2)$$

$$M_{\text{вых}} - N_K \cdot KC_1 - F_{\text{тр}K} \cdot O_1C_1 = 0,$$

где $M_{\text{вых}}$ – выходной момент;

N_K – нормальная составляющая реакции в точке K ;

KC_1 – плечо силы N_K относительно точки O_1 .

O_1C_1 – плечо силы $F_{\text{тр}K}$ относительно точки O_1 .

Для определения размеров плеч KC_1 силы N_K и O_1C_1 силы $F_{\text{тр}K}$ рассмотрим прямоугольный треугольник KC_1O_1 :

$$KC_1 = KO_1 \cdot \cos \delta; \quad (3)$$

$$O_1C_1 = KO_1 \cdot \sin \delta, \quad (4)$$

где δ – угол между $F_{\text{тр}K}$ и KO_1 ;

Угол δ может быть определен по следующей формуле:

$$\delta = \alpha + \beta, \beta = z\varphi/u, \quad (5)$$

где α – угол между $F_{\text{тр}K}$ и осью X ;

β – угол между O_1K и осью X ;

$z\varphi$ – угол поворота кривошипа A_1A_2 относительно оси Y ;

u – передаточное отношение эксцентриковой передачи.

Следует отметить, что аналитически значение угла α можно определить по уравнению из [6].

Учитывая то, что $N_K = F_{\text{тр}K}/f_{\text{тр}K}$, произведем математические преобразования в выражении (2):

$$M_{\text{вых}} - F_{\text{тр}K} \cdot KO_1 \cdot (\cos \delta / f_{\text{тр}K} + \sin \delta) = 0, \quad (6)$$

где $f_{\text{тр}K}$ – коэффициент трения в точке K .

Тогда, преобразовав уравнение (6), получим

$$F_{\text{тр}K} = M_{\text{вых}} / (KO_1 \cdot (\cos \delta / f_{\text{тр}K} + \sin \delta)). \quad (7)$$

Для определения силы трения $F_{\text{тр}B_2}$ изобразим зубчатый венец 8 с жестко посаженным на нем сателлитом 7 и составим сумму моментов сил относительно точки A_2 (рисунок 3).

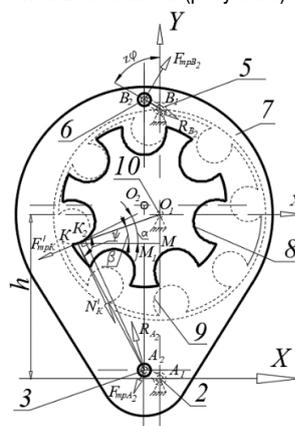


Рисунок 3 – Схема действия сил на зубчатый венец 8 с сателлитом 7 эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов

Имеем

$$N'_K \cdot KC_2 - F'_{\text{тр}K} \cdot A_2K_2 - F_{\text{тр}B_2} \cdot \cos(z\varphi) \cdot A_2B_2 - R_{B_2} \cdot \sin(z\varphi) \cdot A_2B_2 = 0. \quad (8)$$

Из треугольника KMO_1 определяем, что $KM = O_1K \cdot \cos \beta$, $O_1M = O_1K \cdot \sin \beta$. Из треугольника A_2M_1K определяем, что $A_2M_1 = h - O_1K \sin \beta - A_1A_2 \cos(z\varphi)$, $KM_1 = O_1K \cos \beta - A_1A_2 \sin(z\varphi)$, где h – расстояние O_1A_1 . Тогда $A_2K = \sqrt{(A_2M_1)^2 + (KM_1)^2}$. Исходя из этого, плечи сил N'_K и $F'_{\text{тр}K}$ определяются следующим образом:

$$KK_2 = A_2K \cos \psi; \tag{9}$$

$$A_2K_2 = A_2K \sin \psi. \tag{10}$$

Угол между $F_{\text{тРК}}$ и N_K' будет равен

$$\psi = \arctan\left(\frac{A_2M_1}{KM_1}\right) \pm \alpha. \tag{11}$$

Следует отметить, что знаки \pm в формуле (11) соответствуют случаям, когда точка контакта K находится ниже или выше оси O_1X_1 .

Преобразовав уравнение (8), получим уравнение для определения силы трения $F_{\text{тРВ}_2}$:

$$F_{\text{тРВ}_2} = \left(M_{\text{вых}} A_2 K (\cos \psi / f_{\text{тРК}} + \sin \psi) \right) / \left(A_2 B_2 \cdot (\cos(z\varphi) + \sin(z\varphi) / f_{\text{тРВ}_2}) \cdot (K O_1 \cdot (\cos \delta / f_{\text{тРК}} + \sin \delta)) \right), \tag{12}$$

где $f_{\text{тРВ}_2}$ – коэффициент трения в точке В2.

Относительная линейная скорость V_K в точке контакта определяется по следующей формуле:

$$V_K = \omega_{\text{вых}} \cdot O_1 C_1. \tag{13}$$

Относительная линейная скорость V_{B_2} в точке контакта определяется по следующей формуле:

$$V_{B_2} = \omega_{\text{кр}} \cdot O_1 O_2. \tag{14}$$

Следует отметить, что кривошипы $O_1 O_2 = A_1 A_2 = B_1 B_2$.

Подставляя (7), (9), (10), (12), (13), (14) в выражение (1) и преобразовав последнее, получим искомое выражение для определения механических потерь:

$$\xi = \left(A_2 K (\cos \psi / f_{\text{тРК}} + \sin \psi) \right) \cdot u \cdot A_1 A_2 / \left(A_2 B_2 \cdot (\cos(z\varphi) + \sin(z\varphi) / f_{\text{тРВ}_2}) \cdot (K O_1 \cdot (\cos \delta / f_{\text{тРК}} + \sin \delta)) \right) + \left(\sin \delta / ((\cos \delta / f_{\text{тРК}} + \sin \delta)) \right). \tag{15}$$

На основании этого выражения могут быть получены результаты значений механических потерь ξ в зависимости от угла поворота $z\varphi$ и основных параметров зацепления.

Предварительная оценка значений механических потерь на основе САПР

Значения параметров, входящих в уравнение (15), достаточно сложно определить аналитически. Поэтому был предложен более простой способ их определения, основанный на использовании САПР. Моделируя в среде САПР зацепление колес, можно при помощи инструментов той же САПР измерять необходимые геометрические параметры.

На рисунке 4 показано зацепление колес эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов. Сателлит 2 при вращении основного кривошипа 1, благодаря дополнительному кривошипу 4, совершает поступательное движение. На сателлите 2 жестко закреплен зубчатый венец 3, который входит в зацепление с зубчатым венцом 5, совершающим вращение вокруг оси O_1 .

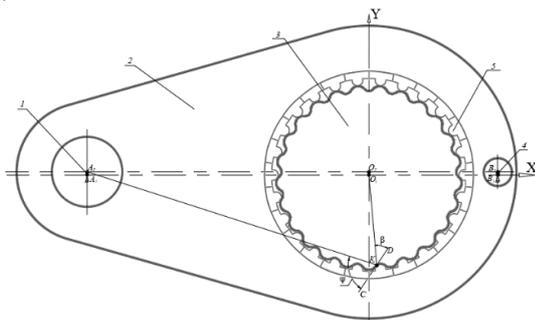


Рисунок 4 – Схема зацепления колес эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов

На основании схемы, показанной на рисунке 4, были геометрически получены основные параметры зацепления, входящие в уравнение (15). К ним можно отнести: расстояние A_2K , угол ψ между силой трения $F_{\text{тРК}}$ и направлением силы N_K' , передаточное отношение u эксцентриковой передачи, расстояние A_2B_2 между основным и дополнительными кривошипами, угол наклона δ силы трения $F_{\text{тРК}}$ и вектора KO_1 . Кроме этого в уравнение (15) входят коэффициент трения $f_{\text{тРК}}$ в точке К и коэффициент трения $f_{\text{тРВ}_2}$ в точке В2.

Так, на примере схемы, изображенной на рисунке 4, при определении угла кривошипа $z\varphi = 90^\circ$ имеем: $A_1 A_2 = 2$ мм, $A_2 K = 215,2$ мм, $O_1 K = 65,5$ мм, $\psi = 74010'$, $\delta = 38020'$, $f_{\text{тРК}} = 0,08$, $f_{\text{тРВ}_2} = 0,01$. Передаточное отношение u эксцентриковой передачи определяется количеством зубьев колеса 5 (рисунок 4) и равно 26.

В соответствии с данными значениями согласно (15) механические потери в рассматриваемой точке контакта эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов равны $\xi = 0,047$.

При угле наклона кривошипа $A_1 A_2$, равном $z\varphi = 90^\circ$, кроме выше указанной точки контакта, имеется дополнительно несколько точек контакта зубьев ведущего и ведомого колес. Поэтому необходимо также рассчитать, согласно уравнению (15), механические потери мощности в указанных точках. Предварительная оценка значений механических потерь по нескольким точкам контакта при угле кривошипа равном $z\varphi = 90^\circ$ определяется по минимальному их значению.

Аналогично определяются минимальные значения ξ при других значениях угла $z\varphi$ от 00 до 180° .

По результатам выше приведенных исследований был получен график, изображенный на рисунке 5.

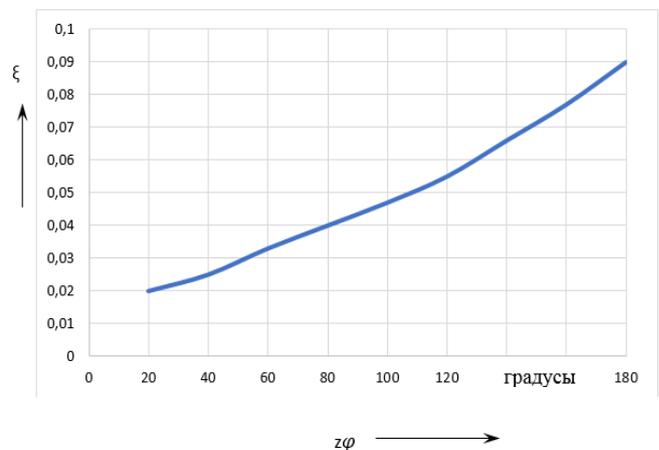


Рисунок 5 – Зависимость оценки механических потерь мощности ξ от угла $z\varphi$

Полученная аналитическая зависимость позволила оценить потери мощности в рассматриваемой передаче при различных значениях угла $z\varphi$. Пределы изменения потерь мощности составили $0,02...0,09$.

После того, когда по указанной выше предварительной методике оценено несколько вариантов эксцентриковой передачи, делается выбор на окончательное проектирование готовой разработки. В САПР делается окончательная конструкция эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного звена, осуществляется ее компьютерная модель и определяется КПД с учетом многопарности зацепления и зазоров в контакте, материала контактирующих звеньев и т. д. [7].

Заключение

В статье получена аналитическая зависимость для предварительной оценки значений механических потерь в контактных парах эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов от угла поворота основного кривошипа. Для возможности использования зависимости был предложен способ нахождения параметров передачи, определяющих вышеуказанную зависимость, при помощи инструментов САПР. Методика предварительной оценки значений механических потерь путем использования аналитической зависимости позволяет на начальном этапе проектирования произвести расчеты различных вариантов эксцентриковой передачи и осуществлять выбор на основе различного рода критериев. После указанной выше предварительной оценки разрабатывается компьютерная модель эксцентриковой передачи, определяются КПД, а также другие параметры, необходимые для ее функционирования.

Список литературы

1. Шанников, В. М. Планетарные редукторы с внецентроидным зацеплением / В. М. Шанников. – Москва : Машгиз, 1948. – 172 с.
2. Патент № 23856 ВУ МПК F 16 H 1/32. Планетарная эксцентриковая передача / Громыко П. Н., Макаревич С. Д., Макаревич А. С. // патентообладатель – Белорусско-Российский университет, заявка а 20190327, опубл. 30.08.2022.
3. Разработка компьютерной модели для оценки основных показателей эксцентриковых передач с параллельным расположением входного и выходного валов / П. Н. Громыко [и др.] // Транспортное машиностроение. – 2022. – № 8 (8). – С. 13–21.
4. Пат. 12380 РБ, МПК F 16 H 1/32. Планетарная эксцентриковая передача / П. Н. Громыко, С. Д. Макаревич, А. С. Макаревич ; заявитель и патентообладатель Белорусско-Российский университет. – № u 20190289 ; заявл. 15.11.19 ; опубл. 30.08.2020, Бюлл. № 4 – 12 с.
5. Обеспечение поступательного движения спутника при работе эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов / П. Н. Громыко [и др.] // Вестник БарГУ. Серия: Технические науки. – 2022. – № 1 (11). – С. 4–13.
6. Использование удлиненной эциклоиды для формообразования зубчатых поверхностей передач эксцентрикового типа / П.Н. Громыко, С.Н. Хатетовский [и др.] // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2019. – № 4 – С. 14–21.
7. Компьютерное моделирование планетарных прецессионных передач: монография / П. Н. Громыко [и др.] ; под общ. ред. П. Н. Громыко. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2007. – 271 с.

References

1. SHannikov, V. M. Planetarnye reduktory s vnecentroidnym zacepleniem / V. M. SHannikov. – Moskva : Mashgiz, 1948. – 172 s.
2. Patent № 23856 ВУ МПК F 16 H 1/32. Planetarnaya ekscentrikovaya peredacha / Gromyko P. N., Makarevich S. D., Makarevich A. S. // patentoobladatel' – Belorussko-Rossijskij univer-sitet, zavavka a 20190327, opubl. 30.08.2022.
3. Razrabotka komp'yuternoj modeli dlya ocenki osnovnyh poka-zatelej ekscentrikovyh peredach s paralel'nym raspolo-zheniem vhodnogo i vyhodnogo valov / P. N.Gromyko [i dr.] // Transportnoe mashinostroenie. – 2022. – № 8 (8). – S. 13–21.
4. Pat. 12380 RB, MPK F 16 H 1/32. Planetarnaya ekscentrikovaya peredacha / P. N. Gromyko, S. D. Makarevich, A. S. Makarevich ; zavavitel' i patentoobladatel' Belorussko-Rossijskij uni-versitet. – № u 20190289 ; zavavl. 15.11.19 ; opubl. 30.08.2020, Byull. № 4 – 12 s.
5. Obespechenie postupatel'nogo dvizheniya satelлита pri rabo-te ekscentrikovoj peredachi s paralel'nym raspolozheniem vhodnogo i vyhodnogo valov / P. N.Gromyko [i dr.] // Vestnik BarGU. Seriya: Tekhnicheskie nauki. – 2022. – № 1 (11). – S. 4–13.
6. Ispol'zovanie udlinnoy epicykloidy dlya formoobrazo-vaniya zubchatyh poverhnostej peredach ekscentrikovogo tipa / P.N. Gromyko, S.N. Hatetovskij [i dr.] // Vestn. Belorus.-Ros. un-ta. – 2019. – № 4 – S. 14–21.
7. Komp'yuternoe modelirovanie planetarnyh precessionnyh peredach: monografiya / P. N. Gromyko [i dr.] ; pod obshch. red. P. N. Gromyko. – Mogilev : Belorus.-Ros. un-t, 2007. – 271 s.

Материал поступил 07.04.2023, одобрен 06.05.2023, принят к публикации 17.05.2023

ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ТОНКОСТЕННЫХ ПОДКРЕПЛЕННЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК, ПОДВЕРЖЕННЫХ ИМПУЛЬСУ ВНЕШНЕГО ДАВЛЕНИЯ

В. И. Игнатюк¹, С. Р. Онысько²

¹ К. т. н., доцент, профессор кафедры прикладной механики

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: viignatiuk@mail.ru

² К. т. н., доцент, декан машиностроительного факультета УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: onysko_sergey@mail.ru

Реферат

В статье рассматривается задача устойчивости тонкостенных подкрепленных цилиндрических оболочек при нагружении быстро возрастающим внешним давлением. Задача решается в линейной постановке. Учитываются дискретность расположения ребер и их несимметричное расположение относительно срединной поверхности оболочки. Уравнение движения системы получено с использованием уравнения Лагранжа второго рода при одночленной аппроксимации перемещений. Для определения критических нагрузок используется критерий, соответствующий началу интенсивного развития прогибов.

Ключевые слова: тонкостенные подкрепленные цилиндрические оболочки, внешнее давление, импульсное нагружение, динамическая устойчивость.

ABOUT STABILITY OF THE THIN-WALLED SUPPORTED CYLINDRICAL SHELLS UNDER IMPULSE OF EXTERNAL PRESSURE

V. I. Ihnatsiuk, S. R. Onysko

Abstract

The article considers the problem of stability of the thin-walled supported cylindrical elements under loading with quickly increasing external pressure. The problem is solved in a linear formulation. The discreteness of the location of the ribs and their asymmetrical location relative to the middle surface of the shell is taken into account. The equation of motion of system is received with the use of Lagrange equation of the second sort with single-term approximation of movings. To define critical loadings the criterium corresponding to the beginning of the intensive development of deflections is used.

Keywords: the thin-walled supported cylindrical shells, external pressure, impulsive loading, dynamic stability.

Введение

Тонкостенные цилиндрические оболочки находят широкое применение в элементах машиностроительных конструкций. Учитывая высокую прочность оболочек, их допустимую нагрузку при действии внешнего давления чаще всего определяет их устойчивость. Более высокая устойчивость будет у оболочек, подкрепленных ребрами жесткости. Статическая устойчивость таких оболочек обсуждалась в работе [1]. Такие элементы в машиностроении могут подвергаться и динамическим воздействиям. Здесь рассматривается нагрузка, линейно возрастающая во времени. В этом случае говорят о динамической устойчивости элементов.

Постановка задачи

Подкрепленная цилиндрическая оболочка представляет собой систему, состоящую из круговой тонкостенной цилиндрической чисто оболочки, усиленной жестко с ней соединенными по линиям контакта продольными (стрингерами) и поперечными (шпангоуты) ребрами, которые могут располагаться как с внешней, так и с внутренней стороны (рисунок 1).

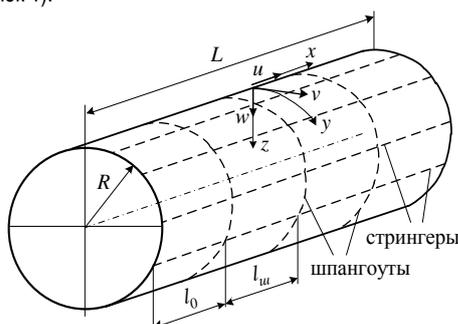


Рисунок 1 – Расчетная схема подкрепленной цилиндрической оболочки

Оболочка нагружается линейно возрастающим внешним давлением $q = \gamma t$, где γ – скорость возрастания нагрузки.

Для расчета оболочки используется линейная теория тонких упругих оболочек средней длины [2], а для расчета ребер – теория криволинейных стержней. При этом по высоте сечения принимается справедливой гипотеза прямолинейного недеформируемого элемента как для оболочки, так и в целом для системы «оболочка-ребро» (в местах наличия ребер). Учитываются дискретность расположения ребер и их несимметричное расположение относительно срединной поверхности оболочки.

Будем считать, что обеспечены условия шарнирного опирания по торцевым краям оболочки.

Уравнение движения системы:

При динамическом нагружении для решения задачи необходимо рассматривать уравнение движения системы, для получения которого используем уравнение Лагранжа второго рода

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \Lambda}{\partial \dot{q}_s} \right) - \frac{\partial \Lambda}{\partial q_s} = 0, \quad (1)$$

где $\Lambda = K - \dot{\mathcal{E}}$ – функция Лагранжа;

\mathcal{E} – полная потенциальная энергии подкрепленной оболочки;

K – кинетическая энергия системы;

q_s, \dot{q}_s – обобщенные координаты и скорости по направлениям деформирования элемента u, v и w .

Полная потенциальная энергия системы, подверженной действию внешних нагрузок, определяется как сумма потенциальной энергии деформирования системы U , возникающей при переходе системы из недеформированного состояния в деформированное, и

изменения потенциальной энергии внешних сил A , определяемой работой этих сил при деформировании системы, состоящей из оболочки и ребер:

$$\mathcal{E} = U + A = U_o + U_c + U_w + A_o + A_c + A_w, \quad (2)$$

где U_o , U_c , U_w – потенциальные энергии деформирования соответственно оболочки, стрингеров и шпангоутов;

A_o , A_c , A_w – изменение потенциальной энергии внешних сил A , действующих соответственно на оболочку, стрингеры и шпангоуты.

При записи потенциальной энергии системы здесь будем пренебрегать нормальными напряжениями на площадках, параллельных срединной поверхности и поперечными сдвигами (на площадках, нормальных к срединной поверхности zx и zy).

Выражение потенциальной энергии деформирования оболочки через деформации срединной поверхности [3] имеет вид:

$$U_o = \frac{1}{2} \int_0^L \int_0^{2\pi R} [C_{11}\varepsilon_1^2 + 2C_{12}\varepsilon_1\varepsilon_2 + C_{22}\varepsilon_2^2 + C_{66}\chi^2 + D_{11}\kappa_1^2 + 2D_{12}\kappa_1\kappa_2 + D_{22}\kappa_2^2 + D_{66}\eta^2] dx dy \quad (3)$$

где ε_1 , ε_2 – относительные продольные деформации срединной поверхности оболочки в направлениях осей соответственно x и y ,

χ – сдвиг срединной поверхности;

κ_1 , κ_2 – изменения кривизн срединной поверхности в направлениях осей x и y ;

η – изменение кручения срединной поверхности при деформации;

C_{jk} , D_{jk} – жёсткости оболочки, определяемые выражениями:

$$C_{jk} = 2B_{jk}h; \quad D_{jk} = 2B_{jk}h^3, \\ B_{11} = \frac{E_1}{1-\nu_{12}\nu_{21}}; \quad B_{22} = \frac{E_2}{1-\nu_{12}\nu_{21}}; \\ \text{где} \\ B_{12} = B_{21} = -\frac{\nu_{12}E_1}{1-\nu_{12}\nu_{21}}; \quad B_{66} = G_{12};$$

E_1 , E_2 – модули Юнга материала оболочки соответственно по направлениям x и y ;

G_{12} – модуль сдвига материала оболочки в плоскости x y ;

ν_{12} , ν_{21} – коэффициенты Пуассона материала оболочки;

h – толщина оболочки.

Компоненты деформаций срединной поверхности, соответствующие общей технической теории тонких оболочек [2], имеют вид:

$$\varepsilon_1 = \frac{\partial u}{\partial x}; \quad \varepsilon_2 = \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{w}{R}; \quad \chi = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}; \\ \kappa_1 = -\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}; \quad \kappa_2 = -\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}; \quad \eta = -2\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}. \quad (4)$$

где u , v , w – перемещения точек срединной поверхности в направлениях осей x , y , z (рисунок 1).

Подставляя (4) в (3), получим выражение полной потенциальной энергии оболочки в виде:

$$U_o = \frac{1}{2} \int_0^L \int_0^{2\pi R} \left\{ C_1 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2C_{12} \frac{\partial u}{\partial x} \left(\frac{\partial v}{\partial y} - \frac{w}{R} \right) + C_{22} \left(\frac{\partial v}{\partial y} - \frac{w}{R} \right)^2 + C_{66} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + D_{11} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)^2 + 2D_{12} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + D_{22} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)^2 + 4D_{66} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 \right\} dx dy \quad (5)$$

Потенциальная энергия деформации ребер (стрингеров и шпангоутов), подкрепляющих оболочку, запишем с учетом энергий изгиба, сжатия и кручения (при этом принимается, что энергией изгиба из плоскости ребер и энергией поперечного сдвига ребер можно пренебречь) [4]:

$$U_c = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k \int_0^L \left\{ E_c F_c \left[\frac{\partial u}{\partial x} + h_c \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)^2 \right] + E_c J_{yc} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)^2 + G_c J_{rc} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 \right\} \Big|_{y=y_i} dx \quad (6)$$

$$U_w = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{k_w} \int_0^L \left\{ E_w F_w \left[\frac{\partial v}{\partial y} + h_w \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \frac{w}{R_w} \right]^2 + E_w J_{yw} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{w}{R_w^2} \right)^2 + G_w J_{rw} \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + \frac{1}{R_w} \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{h_w}{R_w} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 \right]^2 \right\} \Big|_{x=x_j} dy \quad (7)$$

где k_c , k_w – число стрингеров и шпангоутов;

E_c , G_c и E_w , G_w – модули упругости и сдвига материалов стрингеров и шпангоутов;

F_c , J_{yc} , J_{rc} и F_w , J_{yw} , J_{rw} – площади поперечных сечений, осевые моменты инерции и кручения сечений соответственно стрингеров и шпангоутов;

h_c , h_w – эксцентриситеты стрингеров и шпангоутов;

$$R_w = R + h_w.$$

Для определения потенциальной энергии внешнего радиального давления учитывается влияние кольцевых усилий на изгиб оболочки путем введения эквивалентной радиальной нагрузки, интенсивность которой определяется по формуле, введенной С. П. Тимошенко [5],

$$\tilde{q}_o = -qR \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{w}{R^2} \right). \quad (8)$$

Эта нагрузка при переводе системы из недеформированного состояния в деформированное состояние будет совершать работу на оболочке:

$$A_o = -\frac{1}{2} \int_0^L \int_0^{2\pi R} \tilde{q} w dx dy = \frac{h}{2} \int_0^L \int_0^{2\pi R} \sigma_y \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{w}{R^2} \right) w dx dy \quad (9)$$

и на шпангоутах:

$$A_w = -\frac{F_w}{2} \sum_{j=1}^{k_w} \int_0^L \left[\sigma_y \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{w}{R_w^2} \right) w \right] \Big|_{x=x_j} dy \quad (10)$$

Здесь σ_y – кольцевые напряжения, возникающие под действием внешнего давления в оболочке элемента и подкрепляющих поперечных ребрах (шпангоутах) с учетом совместного восприятия давления оболочкой и ребрами (шпангоутами) и которые согласно [5] определяются выражением

$$\sigma_y = k_{Fw} q \frac{R}{h}, \quad (11)$$

где $k_{Fw} = \frac{1}{1 + \frac{F_w}{h l_w}}$ – коэффициент, учитывающий распределение давления между оболочкой и шпангоутами;

l_w – шаг шпангоутов.

Сложив выражения (5) – (7) и (9), (10) получим выражение полной потенциальной энергии системы, состоящей из оболочки и ребер, через перемещения срединной поверхности оболочки u , v и w .

Кинетическая энергия радиального движения системы, состоящей из оболочки и ребер и с учетом равенства перемещений оболочки и ребер, имеет вид

$$K = \frac{\rho_w h}{2} \int_0^L \int_0^{2\pi R} \left(\frac{\partial w}{\partial t} \right)^2 dx dy + \frac{\rho_c F_c}{2} \sum_{i=1}^k \int_0^L \left(\frac{\partial w}{\partial t} \right)^2 \Big|_{y=y_i} dx + \frac{\rho_w F_w}{2} \sum_{j=1}^{k_w} \int_0^L \left(\frac{\partial w}{\partial t} \right)^2 \Big|_{x=x_j} dy, \quad (12)$$

где ρ_c , ρ_w – плотности материалов стрингеров и шпангоутов.

Учитывая, что полная потенциальная энергии не зависит от координат, а кинетическая энергия (12) от координат, уравнение Лагранжа второго рода (1) может быть записано в виде

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial K}{\partial \dot{q}_s} \right) - \frac{\partial U}{\partial q_s} = 0. \quad (13)$$

Расположив начало координат в торце элемента на оси одного из стрингеров, примем выражения для аппроксимирующих функций перемещений, описывающих деформированное состояние ребристого цилиндрического оболочечного элемента и удовлетворяющих граничным условиям шарнирного опирания, в виде:

$$\begin{aligned} u &= \cos \frac{\pi mx}{L} \left[a_1 \cos \frac{ny}{R} + a_2 \sin \frac{ny}{R} \right]; \\ v &= \sin \frac{\pi mx}{L} \left[b_1 \sin \frac{ny}{R} + b_2 \cos \frac{ny}{R} \right]; \\ w &= \sin \frac{\pi mx}{L} \left[c_1 \cos \frac{ny}{R} + c_2 \sin \frac{ny}{R} \right], \end{aligned} \quad (14)$$

где m – число полуволн вдоль образующей оболочки (вдоль оси x);
 n – число полных волн вдоль окружности оболочки;
 a_i, b_i, c_i – неизвестные параметры перемещений, соответствующие симметричному и кососимметричному деформированию.
 Взяв производные от кинетической и полной потенциальной энергий согласно уравнению Лагранжа второго рода (13) с учетом аппроксимации (14), получим две независимые системы уравнений относительно постоянных аппроксимации a_1, b_1, c_1 , и a_2, b_2, c_2 вида:

$$\begin{cases} A_{11}a_1 + A_{12}b_1 + A_{13}c_1 = 0; \\ A_{21}a_1 + A_{22}b_1 + A_{23}c_1 = 0; \\ A_{30} \frac{d^2 c_1}{dt^2} + A_{31}a_1 + A_{32}b_1 + A_{33}c_1 = 0; \\ B_{11}a_2 + B_{12}b_2 + B_{13}c_2 = 0; \\ B_{21}a_2 + B_{22}b_2 + B_{23}c_2 = 0; \\ B_{30} \frac{d^2 c_2}{dt^2} + B_{31}a_2 + B_{32}b_2 + B_{33}c_2 = 0. \end{cases} \quad (15)$$

Первая из них описывает симметричное, а вторая кососимметричное деформирование подкрепленной оболочки. Ввиду полной идентичности обеих систем уравнений и получения одной из другой путем замены B на A либо A на B , дальнейшие преобразования будем выполнять для одного (i -го) типа деформирования.

Выразив a_i, b_i через параметр c_i , соответствующий прогибам в нормальном к срединной поверхности оболочки направлении, и подставив эти выражения в дифференциальное уравнение, приведем каждую из систем уравнений к одному дифференциальному уравнению движения оболочки вида

$$\frac{d^2 c_i}{dt^2} + \omega_{mn}^2 \left(1 - \frac{\sigma_y}{\sigma_{mny}} \right) c_i = 0 \quad (16)$$

где ω_{mn} – частота свободных колебаний, отвечающая рассматриваемой форме деформирования оболочки;

σ_{mny} – соответствующие этой форме деформации статические критические напряжения при внешнем давлении.

С учетом (11) уравнение движения подкрепленного элемента (16) может быть приведено к виду:

$$\frac{d^2 c_i}{dt^2} + \omega_{mn}^2 \left(1 - \frac{\gamma t}{q_{mn}} \right) c_i = 0 \quad (17)$$

где q_{mn} – величина нагрузки, отвечающая рассматриваемой форме деформирования оболочки.

Решение задачи динамической устойчивости

Для решения задачи устойчивости при динамическом нагружении необходимо определить время действия и соответствующее значение нагрузки, при которых становится возможным интенсивное развитие прогибов или интенсивное возрастание скорости деформирования (выпучивания). Для определения этих параметров используем критерий, предложенный И. Я. Амиро [4] и позволяющий получить аналитические выражения этих величин.

Введем обозначение

$$t = \tau + \frac{q_{mn}}{\gamma}$$

где $\frac{q_{mn}}{\gamma}$ – время, необходимое для того, чтобы давление достигло статического критического давления, соответствующего рассматриваемому волнообразованию.

Тогда уравнение (17) можно преобразовать к виду

$$\frac{d^2 c_i}{d\bar{\tau}^2} - d_{mn} \bar{\tau} c_i = 0 \quad (18)$$

где $d_{mn} = \frac{\omega_{mn}^2 q_{mn}^2}{\gamma^2}$;

$\bar{\tau} = \frac{\gamma \tau}{q_3}$ – безразмерный параметр времени, прошедшего после достижения величиной внешнего давления q значения статического критического давления Q_3 ;

Q_3 – минимальное значение (эйлерово) статической критической нагрузки.

Решение уравнения (18) можно получить в виде степенных рядов по степеням куба $\bar{\tau} \sqrt[3]{d_{mn}}$.

А поскольку куб этой величины начинает сильно возрастать после того, когда она достигнет значения, равного единице, то за критерий динамической потери устойчивости, определяющий начало интенсивного развития прогибов, И. Я. Амиро предложил [4] принять условие:

$$\bar{\tau} \sqrt[3]{d_{mn}} = 1 \quad (19)$$

Применение этого критерия динамической потери устойчивости позволяет получить критическое время для рассматриваемой формы изгиба

$$t_{kr mn} = \frac{q_3}{\gamma \sqrt[3]{d_{mn}}} + \frac{q_{mn}}{\gamma} \quad (20)$$

величину динамической критической нагрузки

$$q_{o mn} = t_{kr mn} \gamma = \frac{q_3}{\sqrt[3]{d_{mn}}} + q_{mn} \quad (21)$$

и соответствующую величину коэффициента динамичности, представляющего собой отношение динамической критической нагрузки для данной формы изгиба к эйлеровой статической критической нагрузке для рассматриваемого оболочечного элемента

$$k_{o mn} = \frac{q_{o mn}}{q_3} = \frac{1}{\sqrt[3]{d_{mn}}} + \frac{q_{mn}}{q_3} \quad (22)$$

С учетом введенных ранее обозначений выражение (22) может быть записано в виде

$$k_{o mn} = \frac{1}{q_3} \sqrt[3]{\frac{q_{mn} \gamma^2}{\omega_{mn}^2}} + \frac{q_{mn}}{q_3} \quad (23)$$

Динамическая критическая нагрузка $q_{kr mn}$ и отвечающая ей величина коэффициента динамичности k_{o} , соответствующие потере устойчивости оболочечного элемента при динамическом нагружении, определяются путем минимизации выражений (21) и (23) по параметрам волнообразования m и n :

$$q_{o kr} = \min(q_{o mn}); \quad k_o = \min(k_{o mn}) \quad (25)$$

Следует отметить, что так как в работе применяется энергетический метод, то при определении критических нагрузок здесь будем всегда подходить к ним со стороны верхних значений.

Примеры расчетов

На основе представленной методики выполним расчет изотропной цилиндрической оболочки радиусом $R=120$ мм, длиной $L=300$ мм и толщиной оболочки $h=0,3$ мм ($R/h=400$), подкрепленной шестью

($k_w = 6$) шпангоутами и нагруженной возрастающим по линейной зависимости внешним давлением со скоростью γ от $3 \cdot 10^3$ до $1 \cdot 10^6$ кПа/с. Принимается, что шпангоуты изготовлены из уголков $L_{5,0 \times 2,5 \times 0,3}$ мм, расположенных с внешней стороны оболочки с равным шагом ($l_0 = l_w$) и присоединенных к оболочке большей полкой. Материал оболочки и ребер – АМГ ($E = 6,67 \cdot 10^4$ МПа, $\rho_o = \rho_w = 0,26 \cdot 10^3$ кг/м³).

Результаты вычисления динамических критических нагрузок (коэффициентов динамичности) и соответствующих им параметров волнообразования в зависимости от скорости нагружения для неподкрепленной (гладкой) и подкрепленной оболочек приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения коэффициентов динамичности и критических давлений для гладкой и подкрепленной шпангоутами оболочки, нагруженной быстро возрастающим внешним давлением в зависимости от скорости нагружения γ

γ , кПа/с	$3 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^6$
Гладкая оболочка ($q_0 = 8,08$ кПа, $n = 8$, $m = 1$)						
k_o	1,292	1,652	2,357	3,903	6,596	11,977
$q_{o\ kr}$	10,439	13,348	19,045	31,536	53,296	96,774
n	8	8	8	10	12	16
m	1	1	1	1	1	1
Элемент, подкрепленный шпангоутами ($q_0 = 64,10$ кПа, $n = 5$, $m = 1$)						
k_o	1,053	1,118	1,246	1,486	1,721	2,271
$q_{o\ kr}$	67,497	71,664	79,869	95,253	110,316	145,571
n	5	5	5	20	20	21
m	1	1	1	7	7	7

Выводы

Анализ результатов расчета позволяет сделать следующие выводы.

Для рассмотренных подкрепленных шпангоутами оболочек при достижении скоростью возрастания внешнего давления величины $\gamma = 1 \cdot 10^5$ кПа/с деформирование изменилось от общего случая с $n = 5$, $m = 1$, когда шпангоуты изгибаются и закручиваются, к случаю деформации с $n = 20$, $m = 7$, когда шпангоуты только закручиваются. При этом коэффициент динамичности для подкрепленной оболочки в несколько раз меньше, чем для неподкрепленной (гладкой) оболочки, что связано с более высокой статической критической нагрузкой для подкрепленной оболочки. Критическая же нагрузка для подкрепленной оболочки существенно выше, чем для гладкой. Так, например, при скорости нагружения $\gamma = 1 \cdot 10^5$ кПа/с динамическое критическое давление для гладкой оболочки составляет 31,536 кПа, а для подкрепленной оболочки – 95,253 кПа; при скорости нагружения $\gamma = 3 \cdot 10^5$ кПа/с динамическое критическое давление составляет для гладкой оболочки 53,296 кПа, а для подкрепленной – 110,316 кПа.

Таким образом, величины динамических критических давлений (коэффициентов динамичности) растут с возрастанием скорости увеличения давления, и могут превышать статическое критическое давление в несколько раз. При этом изменяются и формы волнообразования оболочечных элементов. Для подкрепленных оболочечных элементов возможно скачкообразное возрастание числа волн, соответствующее переходу к качественно новым случаям деформации. Изложенное свидетельствует о том, что подкрепление элементов существенно повышает их несущую способность и что с ростом скоростей нагружения влияние дискретности расположения ребер возрастает.

Список цитированных источников

- Игнатюк, В. И. К определению рациональных параметров подкрепления тонкостенных цилиндрических элементов, подверженных внешнему давлению / В. И. Игнатюк // Новые технологии и материалы, автоматизация производства : сб. ст. Межд. науч.-техн. конф., посв. 55-летию Брест. гос. техн. ун-та. – Брест : Изд-во БрГТУ, 2021. – С. 111–116.
- Власов, В. З. Общая теория оболочек и ее приложение в технике / В. З. Власов. – М.-Л. : ГИТЛ, 1949. – 784 с.
- Амбарцумян, С. А. Общая теория анизотропных оболочек / С. А. Амбарцумян. – М.: Наука, 1974. – 446 с.
- Амиро, И. Я. Теория ребристых оболочек: в 5 т. / И. Я. Амиро, В. А. Заруцкий. – К. : Наук. думка, 1980. – Методы расчета оболочек. – Т. 2. – 368 с.
- Тимошенко, С. П. Устойчивость упругих систем / С. П. Тимошенко. – М.-Л. : Гостех издат, 1946. – 532 с.

References

- Ignatyuk, V. I. K opredeleniyu racional'nyh parametrov podkrepleniya tonkostennyh cilindricheskih elementov, pod-verzhennyh vneshnemu davleniyu / V. I. Ignatyuk // Novye tekhnologii i materialy, avtomatizatsiya proizvodstva : sb. st. Mezhd. nauch.-tekhn. konf., posv. 55-letiyu Brest. gos. tekhn. un-ta. – Brest : Izd-vo BrGTU, 2021. – S. 111–116.
- Vlasov, V. Z. Obshchaya teoriya obolochek i ee prilozhenie v tekhnike / V. Z. Vlasov. – M.-L. : GITL, 1949. – 784 s.
- Ambarcumyan, S. A. Obshchaya teoriya anizotropnyh obolochek / S. A. Ambarcumyan. – M.: Nauka, 1974. – 446 s.
- Amiro, I. YA. Teoriya rebristyh obolochek: v 5 t. / I. YA. Amiro, V. A. Zaruckij. – K. : Nauk. dumka, 1980. – Metody rascheta obolochek. – T. 2. – 368 s.
- Timoshenko, S. P. Ustojchivost' uprugih sistem / S. P. Timoshenko. – M.-L. : Gostekh izdat, 1946. – 532 s.

Материал поступил 04.03.2023, одобрен 17.05.2023, принят к публикации 17.05.2023

СТРУКТУРНЫЕ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ СВЕРХТВЕРДЫХ ПОКРЫТИЙ

Е. В. Овчинников¹, В. М. Хвйсевич², Н. М. Чекан³,
А. И. Веремейчик⁴, И. П. Акула⁵

¹ Д. т. н., доцент, доцент кафедры логистики и методов управления
УО «Гродненский государственный университет им. Я. Купалы», Гродно, Беларусь, e-mail: ovchin_1967@mail.ru

² К. т. н., доцент, профессор кафедры прикладной механики
УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: vmhvisevich@bstu.by

³ К. ф.-м. н., заведующий лабораторией наноматериалов и ионно-плазменных процессов,
ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси», Минск, Беларусь, e-mail: pec@bas-net.by

⁴ К. ф.-м. н., доцент, старший научный сотрудник испытательного центра
УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: vai_mrtm@bstu.by

⁵ К. т. н., ведущий научный сотрудник лаборатории наноматериалов и ионно-плазменных процессов,
ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси», Минск, Беларусь, e-mail: pec@bas-net.by

Реферат

В статье приведены результаты исследований структуры и физико-механических характеристик вакуумных интерметаллических покрытий, формируемых из магнитоуправляемых потоков многокомпонентной реакционной среды на металлических субстратах, методами атомной силовой и электронной микроскопии, оптической микроскопии, физико-механического анализа. Шероховатость поверхностей вакуумных покрытий, металлических подложек, оценивалась с помощью метода профилометрии. Изучение методами атомно-силовой, оптической микроскопии морфологии поверхностных слоев покрытий TiAlSi (N,C), сформированных на субстратах из различной природы, позволило установить зависимость морфологических параметров покрытий от химического состава подложки.

Ключевые слова: покрытие, подложка, морфология, топография, шероховатость, инструмент.

STRUCTURAL AND MORPHOLOGICAL FEATURES OF HIGH-ENTROPY SUPERHARD COATINGS

Y. V. Auchynnikau, V. M. Khvisevich, N. M. Chekan, A. I. Verameichyk, I. P. Akula

Abstract

The article presents the results of studies of the structure and physical and mechanical characteristics of vacuum intermetallic coatings formed from magnetically controlled flows of a multicomponent reaction medium on metal substrates using the methods of atomic force and electron microscopy, optical microscopy, and physical and mechanical analysis. The surface roughness of vacuum coatings, metal substrates, was evaluated using the profilometry method. The study of the morphology of the surface layers of TiAlSi (N,C) coatings formed on substrates of different nature by the methods of atomic force and optical microscopy made it possible to establish the dependence of the morphological parameters of the coatings on the chemical composition of the substrate.

Keywords: coating, substrate, morphology, topography, roughness, tool.

Введение

В последнее время два типа многокомпонентных покрытия – AlTiSi(N) и AlTiSi(C) входят в число наиболее востребованных комплексных покрытий для применения в машиностроительной отрасли. Это обусловлено достаточно высокими адгезионными и триботехническими свойствами металлообрабатывающего инструмента с данным видом покрытий [1–3], и связано с тем, что некоторые из их специфических свойств, такие как высокая стойкость к окислению (свыше 800 °C), низкий коэффициент трения, высокая твердость (более 3000 HV), хорошая стойкость к абразивному износу покрытия TiAlSi(N,C) особенно подходят в качестве противоизносных покрытий, увеличивающих срок службы режущего инструмента, который работает в крайне тяжелых условиях, например, при минимальном охлаждении или без подвода внешней смазки.

Данные условия эксплуатации металлообрабатывающего инструмента наблюдаются, например, при высокоскоростной резке труднообрабатываемых и абразивных материалов (высоколегированная коррозионностойкая сталь, сплавы из Ti, Al, Mg, Ni, серого чугуна). Для создания покрытий TiAlSi (N,C) используются различные PVD методы, но наиболее распространенными методами формирования данных покрытий являются реактивное магнетронное распыление и катодное вакуумное испарение. Характерной особенностью покрытий TiAlSi (N,C) является возможность контроля их химического состава и микроструктуры за счет изменения напряжения смещения подложки и давления реактивного газа [4–6]. Химический состав и микроструктура покрытия значительно влияют на его структурные и механические свойства (морфология, твердость, эластичность, прочность сцепления). Изучение влияния параметров процесса на изменения этих свойств, будут способствовать лучшему выбору и оптимизации их эксплуатационных свойств для конкретных применений в промышленности.

Целью исследований является изучение структурных и морфологических особенностей высокоэнтропийных сверхтвердых покрытий.

Методика исследований

Композиционные многослойные покрытия на базе нитридов, карбидов, силицидов, титана наносились методами реактивного электродугового испарения, электроискрового легирования на установках УРМЗ 279.048 и UR-121. В качестве подложек использовалась сталь 45. Поверхность подложек подвергалась закалке до HRC 53 – 60 и шлифовке до чистоты не ниже 10 класса.

В качестве объекта исследований использовались покрытия AlTiSi (C,N). Нанесение покрытий осуществлялось в вакуумной установке УВНИПА-1-001, оборудованной катодно-дуговым испарителем с системой электромагнитной фильтрации плазмы, а также ионным источником ИИ-4-0,15. Для удаления тонкого приповерхностного слоя толщиной порядка 100–300 нм, содержащего загрязнения, перед нанесением покрытия образцы подвергались интенсивной обработке высокоэнергетичными ионами аргона. При этом происходит нагрев поверхностей до 450 °C, разрушение окисных пленок и частичное удаление растворенных в металле газов.

Обработка проводилась при следующих параметрах: давление аргона в вакуумной камере $1,5 \times 10^{-2}$ Па; ток фокусирующего соленоида 3,0 А; ускоряющее напряжение 3500 В при токе 0,06 А. Время ионно-лучевой обработки составляло 30 мин. Для повышения эффективности ионно-лучевой очистки и увеличения глубины проникновения ионов аргона на обрабатываемые изделия подавался отрицательный электрический потенциал 800–1500 В. Осаждение покрытия проводилось при токе стабилизирующей катушки 1,7 А,

токе управляющей катушки 2,0 А и токе дуги 90 А. Давление реакционного газа (азот) находилось в пределах $(0,87 - 5) \times 10^{-2}$ Па.

Условия формирования покрытий в зависимости от номера субстрата следующие: покрытие на образце № 1 – слой AlTiSi (ток 55 А, напряжение смещения минус 100 В); № 2 – слой AlTiSi (ток 55 А, напряжение смещения минус 100 В) + слой AlTiSiN (ток 55 А, напряжение смещения минус 50 В, $P_{N_2} \sim 1,1 \cdot 10^{-2}$ Па); № 3 – слой AlTiSi (ток 55 А, напряжение смещения минус 100 В) + слой AlTiSiN (ток 55 А, напряжение смещения минус 50 В, $P_{N_2} \sim 1,8 \cdot 10^{-2}$ Па); № 4 – слой AlTiSi (ток 55 А, напряжение смещения минус 100 В) + слой AlTiSiNC (ток 55 А, напряжение смещения минус 50 В, $P_{N_2} \sim 1,8 \cdot 10^{-2}$ Па, $P_{C_2H_2} \sim 0,8-1,0 \cdot 10^{-2}$ Па).

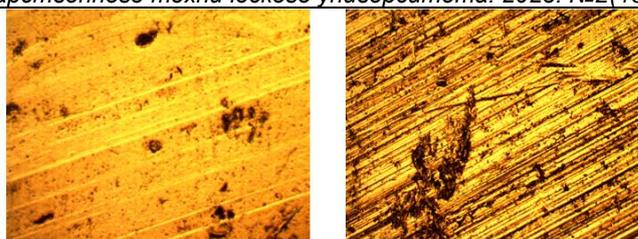
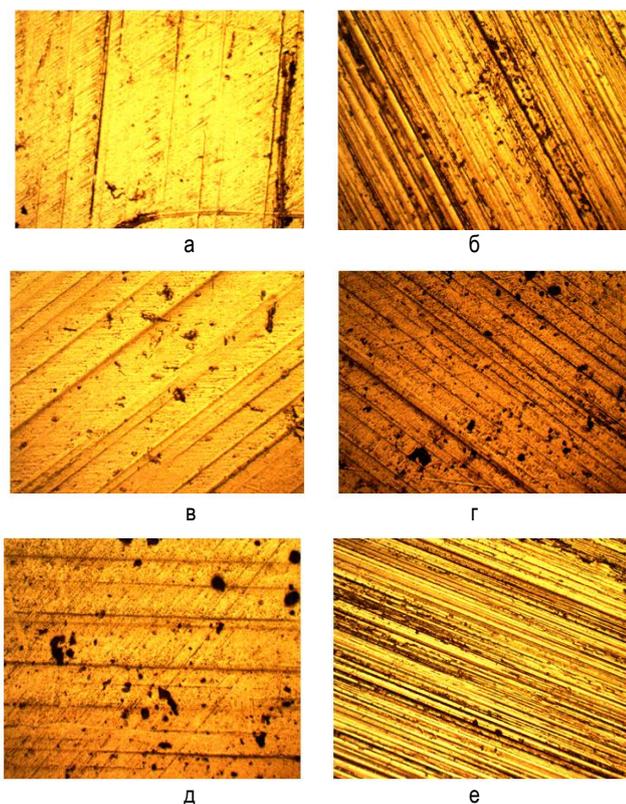
Особенности строения граничных слоев в нанокпозиционных покрытиях функционального назначения исследовалась с привлечением современных методов: растровой электронной, атомно-силовой микроскопии, рентгеноструктурного анализа (ДРОН-3.0) по стандартным методикам.

Результаты исследований

Условия формирования покрытий оказывают существенное влияние на морфологию, формируемых защитных слоев. Покрытия были получены на стали 45. Согласно представленным данным на рисунках 1–5, исходные подложки полировались до 10 класса чистоты поверхности и выше. Параметры R_a и R_z исследуемых исходных параметров представлены в таблице 1.

Исходная морфология субстратов характеризуется сглаженной поверхностью, в которой в ряде случаев наблюдаются дефекты, обусловленные процессом полирования. Наличие данных дефектов мало по сравнению с общей площадью образца. Формирование покрытий на исходных стальных субстратах приводит к существенному изменению морфологии модифицируемых подложек.

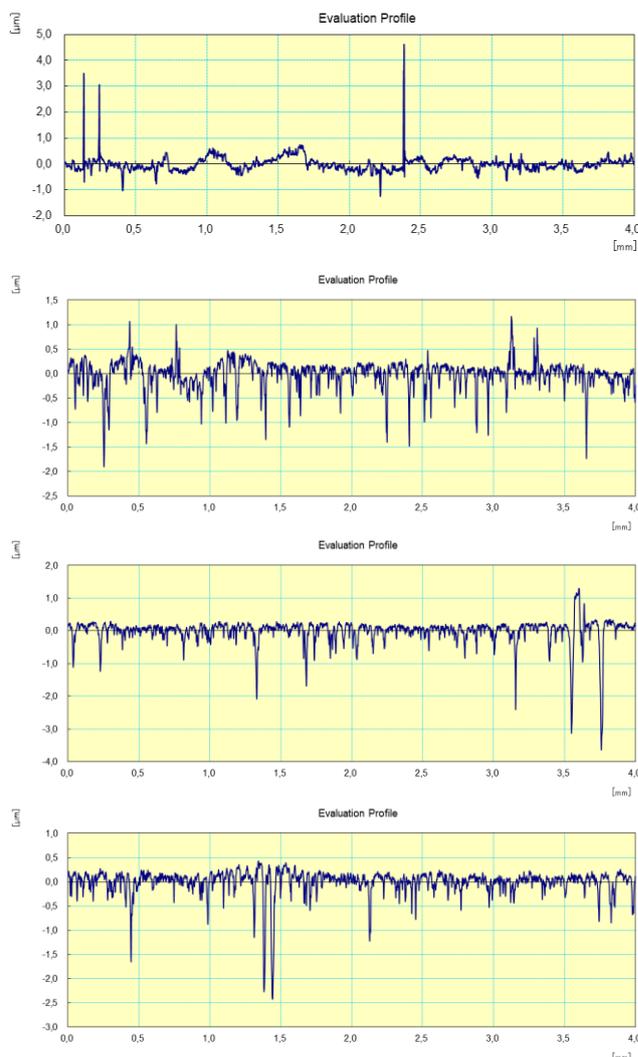
В покрытиях AlTiSi(C,N) наблюдается большое количество включений, находящихся по размерам в микронной области. Данные образования являются агломератами более низкоразмерных частиц. Возможно данные частицы являются фазами трехкомпонентных и более соединений, наподобие МАХ-фаз [1–4]. Проведенный анализ по определению количества данных частиц в исследуемых образцах показал зависимость количества данных частиц от условий формирования покрытий (рисунок 6).



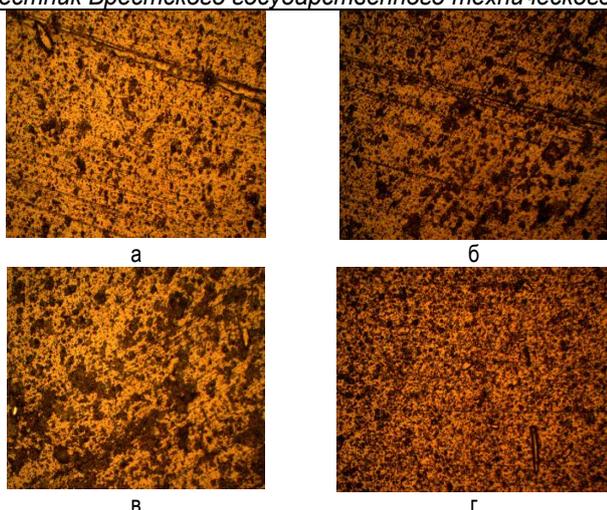
а, б – образец № 1; в, г – образец № 2; д, е – образец № 3; ж, з – образец № 4, а, в, д, ж – увеличение $\times 175$; б, г, е, з – $\times 500$ раз
Рисунок 1 – Морфология поверхности исходной стали 45 для исследуемых образцов

Таблица 1 – Значения параметров шероховатости стали 45 исследуемых образцов

Параметры шероховатости	Образец №1	Образец №2	Образец №3	Образец №4
R_a , мкм	0,165	0,187	0,198	0,144
R_z , мкм	1,837	2,357	2,685	1,692



а – образец № 1; б – образец № 2; г – образец № 3; д – образец № 4
Рисунок 2 – Топография поверхности исходной стали 45 для исследуемых образцов



а – образец № 1 с покрытием; б – образец № 2 с покрытием; в – образец № 3 с покрытием; г – образец № 4 с покрытием. $\times 500$
Рисунок 3 – Морфология поверхности покрытий AlTiSi (N,C), сформированных на стали 45

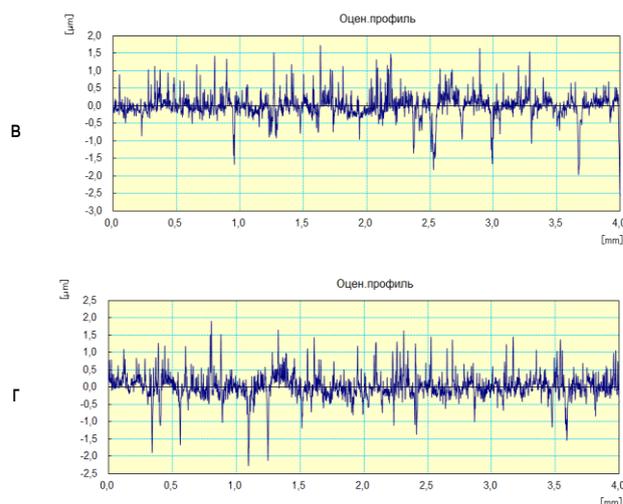
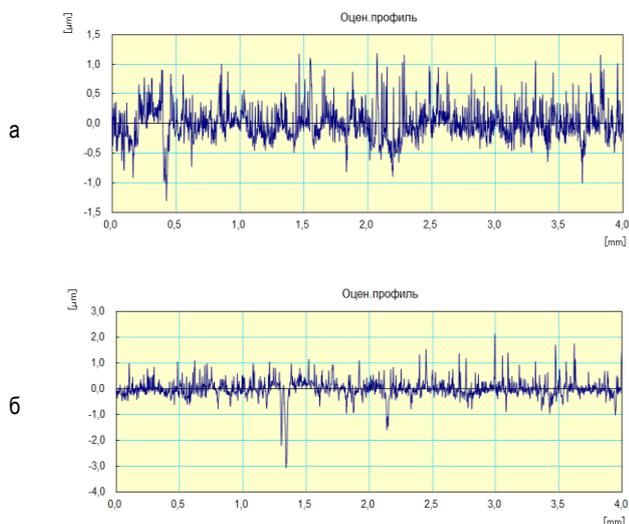
В таблице 2 приведены значения параметров шероховатости покрытий, сформированных на стали 4Х5МФС. В таблице 3 указана концентрация включений в структуре покрытий AlTiSi (N,C) в зависимости от условий формирования покрытий.

Таблица 2 – Значения параметров шероховатости покрытий, сформированных на стали

Параметры шероховатости	Образец № 1 с покрытием	Образец № 2 с покрытием	Образец № 3 с покрытием	Образец № 4 с покрытием
R_a , мкм	0,212	0,233	0,233	0,253
R_z , мкм	1,91	2,93	3,192	3,23

Таблица 3 – Концентрация включений в структуре покрытий AlTiSi (N,C) в зависимости от условий формирования покрытий

Параметр	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3	Образец № 4
Концентрация включений (N), %	46	51	56	53



а – образец № 1; б – образец № 2; г – образец № 3; г – образец № 4
Рисунок 4 – Топография покрытий AlTiSi (N,C), сформированных на стали 45

В таблицах 4, 5 приведены значения микротвердости исходных подложек и покрытий, сформированных на стальных субстратах 45. Измерения проводились при нагрузке 50 г на алмазную пирамиду.

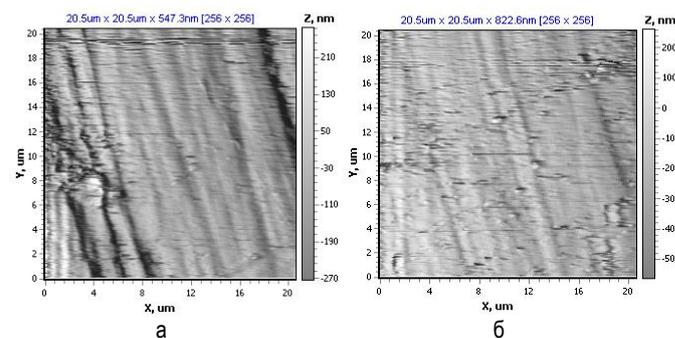
Таблица 4 – Значения микротвердости субстратов, изготовленных из стали 45

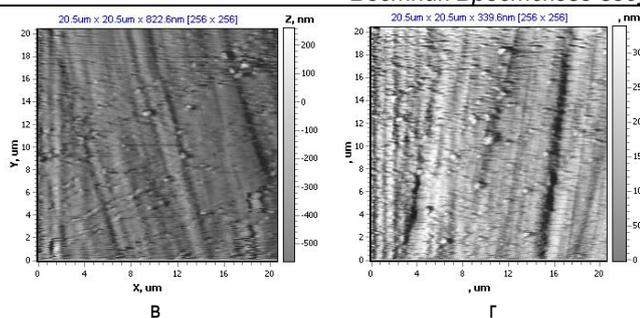
Параметр	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3	Образец № 4
Микротвердость Н, ГПа	2,8	2,9	2,6	2,7

Таблица 5 – Значения микротвердости покрытий AlTiSi (N,C), сформированных на подложке из стали 45 в зависимости от условий формирования покрытий ($m_f = 50$ гр)

Параметр	Образец № 1 с покрытием	Образец № 2 с покрытием	Образец № 3 с покрытием	Образец № 4 с покрытием
Микротвердость Н, ГПа	12,4	14,6	16,8	15,1

Изображения морфологии поверхности и профиля стальной подложки были получены с помощью АСМ. Данные исследований представлены на рисунке 5. Как показано, поверхность стальной подложки имеет множество микроцарапин и микровыпуклостей со средней шероховатостью 20–40 нм и средней квадратичной шероховатостью 30–60 нм соответственно (рисунок 5).





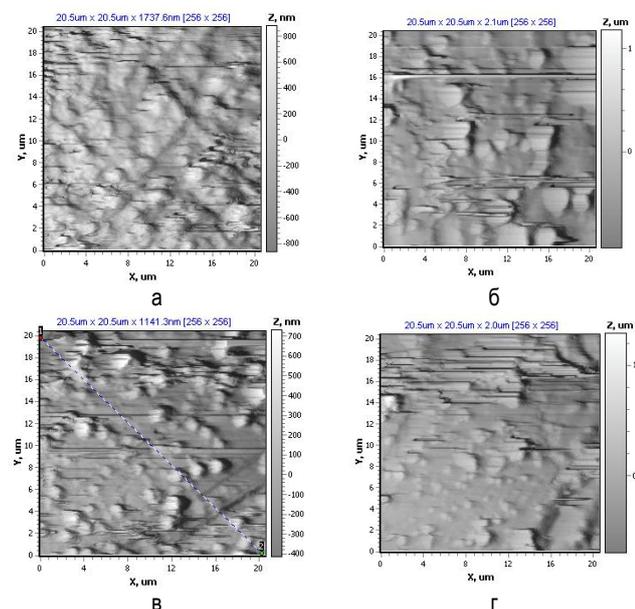
а – образец № 1; б – образец № 2; в – образец № 3; г – образец № 4
3D-изображение получено методом АСМ. Площадь сканирования 20×20 мкм

Рисунок 5 – Морфология поверхности исходной стали 45 исследуемых образцов

Чтобы получить полную информацию о топографии поверхности исследуемых образцов, проводилась съемка образца во взаимно перпендикулярных направлениях. Показано, что независимо от направлений съемки образца наблюдалось наличие крупных микроцарапин шириной 5–20 мкм и глубиной 50–120 нм.

Наоборот, размеры зернистых структур очень малы по сравнению с микроцарапинами. Гранулированные структуры имеют размер 100–500 нм и глубину 5–50 нм. В заключение можно констатировать, что образцы исходной стали имеют относительно гладкую структуру поверхности с низкими параметрами шероховатости по отношению к покрытиям, сформированным на данных субстратах.

На рисунке 6 представлены данные атомно-силовой микроскопии по изучению морфологии и топографии исходных субстратов и покрытий AlTiSi (C,N).



а – образец № 1 с покрытием; б – образец № 2 с покрытием; в – образец № 3 с покрытием; г – образец № 4 с покрытием.
2D-изображение получено методом АСМ. Площадь сканирования 20×20 мкм

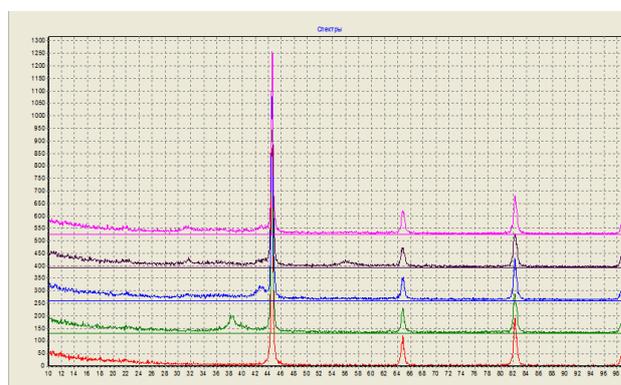
Рисунок 6 – Морфология поверхности покрытий алтинов (AlTiSi (N,C)) на стали 45

Исходя из представленных данных, в структуре покрытий образуется достаточно большое количество образований сферической формы, латеральные размеры которых находятся в нанодиапазоне [5–7]. Размеры и форма получаемых образований зависят от технологических режимов формирования покрытий. Так, морфология покрытия AlTiSi характеризуется большим количеством крупных глобулярных образований с невысокой высотной характеристикой по

оси Z. Введение в вакуумную камеру азота приводит к дальнейшему укрупнению глобулярных структур с увеличением размеров по оси Z, с уменьшением концентрации в поверхностных слоях покрытия. Увеличение концентрации азота в вакуумной камере при формировании покрытия приводит (образец № 3 с покрытием) к увеличению концентрации сферических образований с уменьшением латеральных размеров в плоскости XY.

Изменение такого параметра, как напряжения смещения с минус 100 В до минус 50 В, также изменяет морфологию покрытий: наблюдается уменьшение латеральных размеров глобулярных образований с дальнейшим ростом их концентрации в структуре покрытия. В результате наблюдается корреляция данных оптической микроскопии с данными атомно-силовой микроскопии, свидетельствующая о формировании нанофазных объектов в структуре покрытий, которые должны приводить к существенным изменениям физико-механических характеристик.

На рисунке 7 представлены типичные рентгенограммы исследуемых покрытий.



1 – образец № 1 с покрытием, 2 – образец № 2 с покрытием, 3 – образец № 3 с покрытием, 4 – образец № 4 с покрытием, 5 – сталь 45

Рисунок 7 – Рентгенограммы покрытий AlTiSi(N), сформированных на стали 45

Исходя из представленных данных, видно, что вследствие малой толщины покрытия интенсивные рефлексы соответствуют субстрату. Однако в области 2θ от 25° до 55° наблюдается появление малоинтенсивных дифракционных максимумов, принадлежащие, скорее всего, вакуумным покрытиям. Данные рефлексы, скорее всего, соответствуют фазам типа AlN, TiN, Si₃N₄ или Ti₃Al₂N₂.

Заключение

Многокомпонентные покрытия на основе алюминия-титана-кремния-азота позволяют получить значимые результаты при эксплуатации металлообрабатывающего инструмента. Это достигается за счет высоких физико-механических параметров данных покрытий, таких как: барьерные свойства, которые снижают диффузионные процессы, что позволяет сохранять достаточно точно стехиометрический состав покрытий. Постоянный стехиометрический состав покрытия обеспечивает стабильность эксплуатационных характеристик. Образование защитных слоев на поверхности металлического субстрата позволяет повысить стойкость к коррозионной среде при повышенных температурах, резко снижаются окислительные процессы. Формирование покрытий на поверхности субстрата уменьшает вероятность образования и последующего роста микротрещин.

Согласно данным оптической микроскопии, в структуре покрытий образуется достаточно большое количество глобулярных образований, размеры и концентрация которых зависят от технологии формирования и химического состава покрытий. В результате осаждения материала покрытий в вакууме с использованием ионно-плазменного потока в структуре покрытий формируются нанофазные

объекты, которые могут привести к существенным изменениям прочностных и адгезионных характеристик осаждаемых слоев. В покрытиях AlTiSi(C,N) наблюдается большое количество включений, находящихся по размерам в микронной области. Данные образования являются агломератами более низкоразмерных частиц. Возможно, данные частицы являются фазами трехкомпонентных и более соединений, наподобие МАХ-фаз. Проведенный анализ по определению количества данных частиц в исследуемых образцах показал зависимость количества данных частиц от условий формирования покрытий.

Список цитированных источников

- 1 TiAlN film preparation by Y-shape filtered-arc-deposition system / Mashiki T. [et al.] // *Thin Solid Films*. – 2008. – Vol. 516. – P. 6650–6654.
- 2 Структурно-морфологические особенности покрытий на базе соединений Al-Ti-N / Е. В. Овчинников [и др.] // *Вестник Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Сер. 6. Тэхніка*. – 2012. – № 2(133). – С. 18–23.
- 3 High thermal stability of TiAlSiCN coatings with “comb” like nanocomposite structure / Shtansky D.V. [et al.] // *Surf. Coat. Technol.* – 2012. – Vol. 206. – P. 4840–4849.
- 4 Вакуумно-дуговые устройства и покрытия / А. А. Андреев [и др.] – Харьков : ННЦХФТИ, 2005. – 236 с.
- 5 Высокотемпературные многослойные покрытия на основе многокомпонентных соединений / Е. В. Овчинников [и др.] // *Вестник Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Сер. 6. Тэхніка*. – 2017. – Т. 7, № 2. – С. 6–17.
- 6 Ding, X Abrasive wear resistance of Ti 1-x Al x N hard coatings deposited by a vacuum arc system with lateral rotating cathodes / X. Ding, C. T. Bui, X. T. Zeng // *Surf. And Coat. Technol.* – 2008. – Vol. 203. – P. 680–684.
- 7 Mechanical properties and machining performance of Ti 1-x Alx N-coated cutting tools. plating / Horling A. [et al.] // *Surf. And Coat. Technol.* – 2005. – Vol. 191. – P. 384–392.

References

- 1 Mashiki T. [et al.] TiAlN film preparation by Y-shape filtered-arc-deposition system // *Thin Solid Films*. – 2008. – Vol. 516. – P. 6650–6654.
- 2 Strukturno-morfologicheskie osobennosti pokrytij na baze soedinenij Al-Ti-N / E. V. Ovchinnikov [i dr.] // *Vesnik Grodzenskaga dzyarzhajnaga ўniversiteta imya YAnki Kupaly. Ser. 6. Tekhnika*. – 2012. – № 2(133). – S. 18–23.
- 3 Shtansky D.V. [et al.] High thermal stability of TiAlSiCN coatings with “comb” like nanocomposite structure // *Surf. Coat. Technol.* – 2012. – Vol. 206. – P. 4840–4849.
- 4 Vakuumno-dugovye ustrojstva i pokrytiya / Andreev A.A. [i dr.] – Har'kov: NNCKHFTI, 2005. – 236 s.
- 5 Vysokotemperaturnye mnogoslajnyje pokrytiya na osnove mnogokomponentnyh soedinenij / E. V. Ovchinnikov [i dr.] // *Vesnik Grodzenskaga dzyarzhajnaga ўniversiteta imya YAnki Kupaly. Ser. 6. Tekhnika*. – 2017. – T. 7. – № 2. – S. 6–17.
- 6 Ding X., Bui C.T., Zeng X.T. Abrasive wear resistance of Ti 1-x Al x N hard coatings deposited by a vacuum arc system with lateral rotating cathodes // *Surf. And Coat. Technol.* – 2008. – Vol. 203. – P. 680–684.
- 7 Horling A. [et al.] Mechanical properties and machining performance of Ti 1-x Alx N-coated cutting tools. plating // *Surf. And Coat. Technol.* – 2005. – Vol. 191. – P. 384–392.

Материал поступил 29.04.2023, одобрен 29.05.2023, принят к публикации 07.06.2023

КАМБІНАВАНАЯ І ТРОХСТРЫЖНЯВАЯ МАДЭЛІ РАБОЧЫХ ОРГАНАЎ КАМЕРЫ ЛАНЦУЖНАГА АГРЭГАТА І ІХ ДАСЛЕДАВАННЕ

У. А. Патапаў¹, С. І. Русан², Л. А. Сівачэнка³

¹ Старшы выкладчык кафедры тэхнічнага забеспячэння сельскагаспадарчай вытворчасці і аграноміі
УА «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт», Баранавічы, Беларусь, e-mail: vladimir-potapov-1990@mail.ru

² К. т. н., дацэнт, Баранавічы, Беларусь, e-mail: rusan33@mail.ru

³ Д. т. н., прафесар, прафесар кафедры транспартных і тэхналагічных машыны
МАУВА «Беларуска-Расійскі ўніверсітэт», Магілёў, Беларусь, e-mail: 228011@mail.ru

Рэферат

У артыкуле прадстаўлены дзве мадэлі рабочых органаў камеры ланцужнага агрэгата – камбінаваная і трохстрыжнявая, якія дазваляюць набліжана вызначыць іх кінематычныя характарыстыкі і сілы ўзаемадзеяння з каромыслам. У камбінаванай мадэлі гнуткія сценкі прадстаўляюцца жорсткімі стрыжнямі, а ланцужныя палотны – бязважкімі ніцямі. Трехстрыжнявая мадэль прадстаўлена ў выглядзе трох жорсткіх стрыжняў. У абедзвюх мадэлях усе злучэнні паміж часткамі рабочых органаў, каромыслам і корпуснай рамай прымаюцца шарнірнымі. Маса палотнаў і рэчыва размяркоўваецца паміж трыма пунктамі, сумешчанымі з кінематычнымі парамі (шарнірамі). Вынікі даследавання могуць быць выкарыстаны для вызначэння нагрукі на рухавік прываднага механізма агрэгата і разліка злучэнняў на трываласць.

Ключавыя словы: ланцужны агрэгат; рабочая камера; камбінаваная мадэль; трохстрыжнявая мадэль; кінематыка; дынамічны аналіз.

COMBINED AND THREE-ROD MODELS OF THE WORKING BODIES OF THE CHAIN UNIT CHAMBER AND THEIR RESEARCH

V. A. Potapov, S. I. Rusan, L. A. Sivachenko

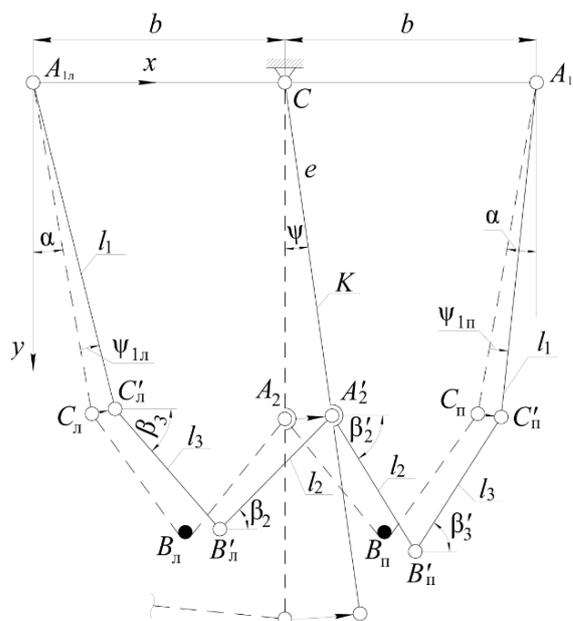
Abstract

The article presents two models of the working bodies of the chamber of the chain assembly - combined and three-rod, which allows you to approximately determine their kinematic characteristics and the forces of interaction with the rocker. In the combined model, flexible walls are represented by rigid rods, and chain webs are weightless threads. The three-rod model is presented in the form of three rigid rods. For both models, all connections between the parts of the working bodies, the rocker arm and the body frame are accepted as articulated. The mass of canvases and material is distributed between three points, combined with kinematic pairs (hinges). The results of the study can be used to determine the load on the engine of the drive mechanism of the unit and calculate the strength.

Keywords: chain unit; working chamber; combined model; three-rod model; kinematics; dynamic analysis.

Уступ

Адной з перспектывных машын для ажыццяўлення працэсаў здрабнення ці класіфікацыі матэрыялаў з'яўляецца ланцужны агрэгат. Ён можа быць выкарыстаны пры здрабненні мелу, мергелю, гліны, а таксама для класіфікацыі розных матэрыялаў, напрыклад пры ачыстцы друзавага баласту. Больш падрабязна прызначэнне ланцужных агрэгатаў, іх канструкцыі і функцыянаванне апісаны ў манаграфіі [1]. Адзін з перспектывных варыянтаў машыны зараз знаходзіцца на завяршальнай стадыі распрацоўкі. Яго статычныя, кінематычныя і дынамічныя даследаванні выкладзены ў артыкулах [2–4]. Асноўная частка агрэгата, у якой адбываецца перапрацоўка рэчыва, называецца рабочай камерай. Рабочыя органы ў ёй уяўляюць рухомую механічную сістэму, якая складаецца з ланцужных палотнаў, гнуткіх сценак і металічнай штангі, якая дапускае ўстаноўку металічных штурхаоў. Уваходным звяном для рабочых органаў служыць каромысел К, які, у сваю чаргу, з'яўляецца выходным у складзе прываднага механізма агрэгата. У артыкуле [4] сукупнасць «ланцужнае палатно-гнуткая сценка» мадэліруецца двума стрыжнямі, злучанымі паміж сабой з дапамогай шарніра. Такая мадэль разам з каромыслам уяўляе плоскі шарнірны чатырохзвеннік. Тут, у нашым даследаванні, апісаная мадэль удасканальваецца: гнуткая сценка $A_{1л}C_{1л}$ (ці $A_{1п}C_{1п}$) па-ранейшаму разглядаецца як стрыжань, а ланцужнае палатно мадэліруецца бязважкімі ніцямі (рысунк 1).



Рысунк 1 – Мадэлі рабочай камеры ланцужнага агрэгата: пункцірнай лініяй паказана камбінаваная мадэль пры вертыкальным становішчы каромысла, у адхіленым становішчы каромысла – трохстрыжнявая

Маса палатна і рэчыва прадстаўлена на рысунку 1 матэрыяльным пунктам B_n (ці B_n). Яе таксама можна размеркаваць і паміж трыма пунктамі: C_n , B_n , A_2 . Індэксам «л» і «п» абазначаны пункты левай і правай паловай камеры. Лічым, што участкі ніці l_2 , l_3 як у стане раўнавагі рабочых органаў, так і падчас іх руху, застаюцца нацягнутымі; пры гэтым $l_2 + l_3 = L$, дзе L – даўжыня ланцужнага палатна.

Пры ўведзеным дапушчэнні прынятую мадэль паловы рабочай камеры можна разглядаць як трохстрыжнёвую, якая ў сукупнасці з каромыслам уяўляе механічную сістэму з двума ступенямі свабоды.

Для праверкі разглядаемай мадэлі трэба пераканацца, што бязважкія ніці працуюць толькі на расцяжэнне, то ў такім выпадку мадэль лічыцца камбінаванай, а калі ніці працуюць на расцяжэнне і сцісканне, то замяніць участкі ніці l_2 , l_3 на стрыжні і мадэль лічыць трохстрыжнёвай.

Геаметрычнае апісанне рабочых органаў камеры

На рысунку 1 пункцірам паказана становішча рабочых органаў у стане іх раўнавагі. Як бачым, камера мае сіметрычную структуру адносна каромысла. Вуглы $\alpha_n = \alpha_{nn} = \alpha$ устанаўліваюцца эксперыментальна ў стане раўнавагі рабочых органаў. Пры вывучэнні руху звенняў вугал ψ лічым незалежнай пераменнай. Яго значэнне як функцыя вугла павароту φ_k крывашыпа атрымана раней [5]. Вуглы ψ_{1n} , ψ_{1n} выражаем праз ψ : $\psi_{1n} = k_1\psi$, $\psi_{1n} = k_n\psi$. Кэфэцыенты k_1 , k_n таксама вызначаюцца з доследу.

Увядзім адзіную сістэму восей каардынат с пачаткам у пункце A_{1n} . Знайдзем кардынаты кінематычных пар, характэрных пунктаў і вуглы павароту звенняў. Пачынаем з левай паловай камеры. Запішам формулы для каардынат пункта B'_n , разглядаючы яго як пункт перасячэння акружнасцей радыусаў l_2 , l_3 з цэнтрамі ў шарнірах C'_n , A'_2 :

$$(x_{B'_n} = x_{C'_n} + l_3 \cos \beta_3; x_{B'_n} = x_{A'_2} - l_2 \cos \beta_2); \quad (1)$$

$$(y_{B'_n} = y_{C'_n} + l_3 \sin \beta_3; y_{B'_n} = y_{A'_2} + l_2 \sin \beta_2), \quad (2)$$

дзе $x_{C'_n} = l_1 \sin(\alpha + \psi_{1n}); \quad y_{C'_n} = l_1 \cos(\alpha + \psi_{1n});$

$$x_{A'_2} = b + e \sin \psi; \quad y_{A'_2} = e \cos \psi$$

Выключаем з роўнасцей (1), (2) каардынаты $x_{B'_n}$, $y_{B'_n}$:

$$(x_{C'_n} + l_3 \cos \beta_3 = x_{A'_2} - l_2 \cos \beta_2; y_{C'_n} + l_3 \sin \beta_3 = y_{A'_2} + l_2 \sin \beta_2). \quad (3)$$

З сістэмы роўнасцей (3) неабходна вызначыць $\sin \beta_2$. Перапісваем яе ў выглядзе:

$$\left. \begin{aligned} (l_3 \cos \beta_3)^2 &= (l_x - l_2 \cos \beta_2)^2; \\ (l_3 \sin \beta_3)^2 &= (l_y + l_2 \sin \beta_2)^2 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

дзе $l_x = x_{A'_2} - x_{C'_n}$, $l_y = y_{A'_2} - y_{C'_n}$. Складваем паміж сабою левыя і правыя часткі роўнасцей (4): $l_3^2 = l_x^2 - 2l_x l_2 \cos \beta_2 + l_2^2 \cos^2 \beta_2 + l_y^2 + 2l_y l_2 \sin \beta_2 + l_2^2 \sin^2 \beta_2$ ці $l_3^2 = l_x^2 + l_y^2 + 2l_2(l_y \sin \beta_2 - l_x \cos \beta_2) + l_2^2$.

Адсюль знаходзім

$$l_y \sin \beta_2 - l_x \cos \beta_2 = f, \quad (5)$$

дзе $f = \frac{l_3^2 - l_x^2 - l_y^2}{2l_2}$. Перапісваем роўнасць (5) у

выгледзе: $l_x \sqrt{1 - \sin^2 \beta_2} = l_y \sin \beta_2 - f$. Пазбаўляемся тут ад радыкала.

Канчаткова атрымліваем: $(l_x^2 + l_y^2) \sin^2 \beta_2 - 2l_y f \sin \beta_2 + f^2 - l_x^2 = 0$. Знаходзім карані квадратнага ўраўнення:

$$\sin \beta_2 (\sin \beta'_2) = \left[2l_y f \pm \sqrt{4l_y^2 f^2 - 4(l_x^2 + l_y^2)(f^2 - l_x^2)} \right] / 2(l_x^2 + l_y^2) = b_2.$$

Неабходныя ў далейшым функцыі $\sin \beta_3$, $\cos \beta_3$ вызначаем з роўнасцей (3)

$$\left[\sin \beta_3 = (l_y + l_2 \sin \beta_2) / l_3; \cos \beta_3 = (l_x - l_2 \cos \beta_2) / l_3 \right] \quad (6)$$

Далей знаходзім: $\beta_2 = \arcsin b_2$, $\beta_3 = \arcsin b_3$.

Цяпер каардынаты пункта B'_n знаходзіцца па формулах (1), (2), а вуглы роўны $\beta_2 = \arcsin b_2$, $\beta_3 = \arcsin b_3$.

Пераходзім да вызначэння каардынат пункта B'_n і функцый $\sin \beta'_2$, $\sin \beta'_3$ правай паловай рабочай камеры. Алгарытм даследавання такі ж, як і для левай. Пункт B'_n знаходзіцца на перасячэнні акружнасцей радыусаў l_2 , l_3 з цэнтрамі ў шарнірах A'_2 , C'_n . Яго каардынаты вызначаюцца па формулах:

$$(x_{B'_n} = x_{A'_2} + l_2 \cos \beta'_2; x_{B'_n} = x_{C'_n} - l_3 \cos \beta'_3); \quad (7)$$

$$(y_{B'_n} = y_{A'_2} + l_2 \sin \beta'_2; y_{B'_n} = y_{C'_n} + l_3 \sin \beta'_3). \quad (8)$$

У формулах (7), (8) $x_{C'_n} = 2b - l_1 \sin(\alpha - \psi_{1n})$; $y_{C'_n} = l_1 \cos(\alpha - \psi_{1n})$.

З ураўненняў (7), (8) выключаем каардынаты пункта B'_n :

$$(x_{A'_2} + l_2 \cos \beta'_2 = x_{C'_n} - l_3 \cos \beta'_3; y_{A'_2} + l_2 \sin \beta'_2 = y_{C'_n} + l_3 \sin \beta'_3). \quad (9)$$

Перапісваем роўнасці (9) у выглядзе:

$$(l_3 \cos \beta'_3)^2 = (l'_x - l_2 \cos \beta'_2)^2; (l_3 \sin \beta'_3)^2 = (l'_y + l_2 \sin \beta'_2)^2, \quad (10)$$

дзе $l'_x = x_{C'_n} - x_{A'_2}$; $l'_y = y_{A'_2} - y_{C'_n}$.

Складваем паміж сабою левыя і правыя часткі роўнасцей (10): $l_2^2 - 2l_2 l'_x \cos \beta'_2 + (l'_x)^2 + 2l_2 l'_y \sin \beta'_2 + (l'_y)^2 = l_3^2$ ці

$$l'_y \sin \beta'_2 - l'_x \cos \beta'_2 = f', \quad (11)$$

дзе $f' = \frac{l_3^2 - l_2^2 - [(l'_x)^2 + (l'_y)^2]}{2l_2}$. Ва ўраўненні (11)

прымаем $\cos \beta'_2 = \sqrt{1 - \sin^2 \beta'_2}$. Пасля пераўтварэння атрымліваем квадратнае ўраўненне адносна $\sin \beta'_2$, карані якога роўны:

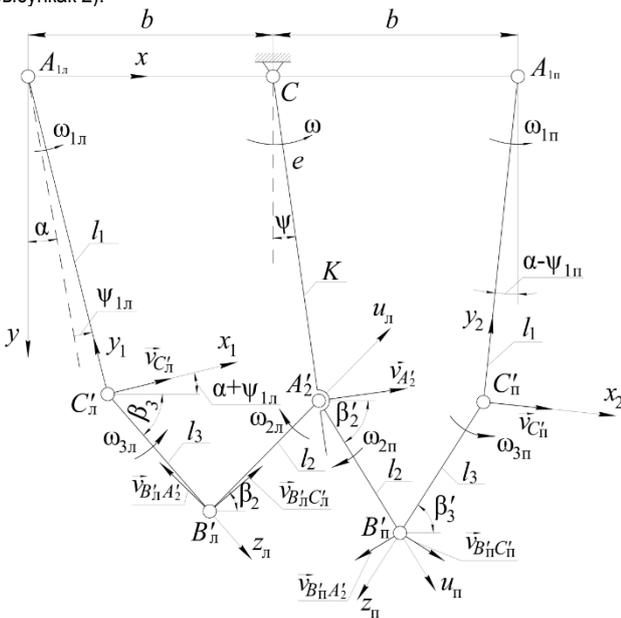
$$\sin \beta'_2 (\sin \beta'_2) = \left[2l'_y f' \pm \sqrt{4(l'_y)^2 (f')^2 - 4[(l'_x)^2 + (l'_y)^2][(f')^2 - (l'_x)^2]} \right] / 2[(l'_x)^2 + (l'_y)^2] = b'_2.$$

Далей з другіх формул (7), (8) знаходзім:
 $\sin \beta'_3 = (y_{B'_n} - y_{C'_n}) / l_3 = b'_3$, $\cos \beta'_3 = (x_{C'_n} - x_{B'_n}) / l_3$. Тут
 $x_{B'_n}$, $y_{B'_n}$ вызначаюцца па першых формулах (7), (8). На падставе атрыманых вышэй формул для $\sin \beta'_2$, $\sin \beta'_3$ знаходзім

$$(\beta'_2 = \arcsin b'_2; \beta'_3 = \arcsin b'_3). \quad (12)$$

Вызначэнне скорасцей пунктаў і звенняў

Разлікі пачынаем для аб'ектаў левай паловы рабочай камеры. Выкарыстоўваем формулы класічных курсаў тэарэтычнай механікі [6, 7]. Улічваем, што звенні l_1, K выконваюць вярчальны рух, а звенні l_2, l_3 – плоскапаралельны. У якасці полюсаў прымаем пункты A'_2 і C'_n (рысункак 2).



Рысункак 2 – Ілюстрацыя да вызначэння скорасцей пунктаў і звенняў

Тады скорасць пункта B'_n вызначаецца па формулах:

$$\left(\vec{v}_{B'_n} = \vec{v}_{A'_2} + \vec{v}_{B'_n A'_2}; \vec{v}_{B'_n} = \vec{v}_{C'_n} + \vec{v}_{B'_n C'_n} \right), \quad (13)$$

дзе адносныя скорасці $v_{B'_n A'_2} = \omega_{2n} l_2$; $v_{B'_n C'_n} = \omega_{3n} l_3$; пры гэтым $\vec{v}_{B'_n A'_2} \perp \vec{l}_2$, $\vec{v}_{B'_n C'_n} \perp \vec{l}_3$.

Скорасці полюсаў роўныя: $v_{A'_2} = \omega e$, $v_{C'_n} = \omega_{1n} l_1$, $e = CA'_2$. Нагадваем: вуглавая скорасці ω_{2n}, ω_{3n} вылічваюцца ніжэй, а ω і $\omega_{1n} = k_n \omega$ запазычваем з папярэдняга артыкула [2] (а тут іх лічым вядомымі). У сістэме (13) выключаем скорасць $\vec{v}_{B'_n}$:

$$\vec{v}_{A'_2} + \vec{v}_{B'_n A'_2} = \vec{v}_{C'_n} + \vec{v}_{B'_n C'_n}. \quad (14)$$

Каб знайсці $v_{B'_n A'_2}$, а затым ω_{2n} , праецыруем роўнасць (14) на вось $B'_n z_n$:

$$v_{C'_n} \cos(\beta_3 + \alpha + \psi_{1n}) + 0 = v_{A'_2} \cos(\beta_3 + \psi) - v_{B'_n A'_2} \sin(\beta_2 + \beta_3).$$

Адсюль

$$v_{B'_n A'_2} = \left[v_{A'_2} \cos(\beta_3 + \psi) - v_{C'_n} \cos(\beta_3 + \alpha + \psi_{1n}) \right] / \sin(\beta_2 + \beta_3)$$

$$\omega_{2n} = v_{B'_n A'_2} / l_2$$

Аналагічна, для вызначэння $v_{B'_n C'_n}$ і ω_{3n} праецыруем роўнасць (14)

на вось $B'_n u_n$:

$$v_{C'_n} \cos(\beta_2 - \alpha - \psi_{1n}) + v_{B'_n C'_n} \sin(\beta_2 + \beta_3) = v_{A'_2} \cos(\beta_2 - \psi) + 0$$

Адсюль

$$v_{B'_n C'_n} = \left[v_{A'_2} \cos(\beta_2 - \psi) - v_{C'_n} \cos(\beta_2 - \alpha - \psi_{1n}) \right] / \sin(\beta_2 + \beta_3)$$

$$\omega_{3n} = v_{B'_n C'_n} / l_3$$

Цяпер па любой з формул (13) вызначаем скорасць $v_{B'_n}$.

Скарыстаемся другой. Уводзім сістэму восей каардынат $C'_n x_1 y_1$ (рысункак 2). Праецыруем на іх названую роўнасць:

$$v_{B'_n x_1} = v_{C'_n} + v_{B'_n C'_n} \sin(\beta_3 + \alpha + \psi_{1n}),$$

$$v_{B'_n y_1} = 0 + v_{B'_n C'_n} \cos(\beta_3 + \alpha + \psi_{1n})$$

Адсюль

$$v_{B'_n} = \sqrt{(v_{B'_n x_1})^2 + (v_{B'_n y_1})^2}$$

Пераходзім да правай паловы рабочай камеры. Паўтараем папярэдні алгарытм. Для вызначэння скорасці пункта B'_n у якасці полюсаў прымаем цэнтры шарніраў A'_2, C'_n . Атрымліваем

$$\vec{v}_{B'_n} = \vec{v}_{A'_2} + \vec{v}_{B'_n A'_2}; \vec{v}_{B'_n} = \vec{v}_{C'_n} + \vec{v}_{B'_n C'_n}, \quad (15)$$

дзе адносныя скорасці $v_{B'_n A'_2} = \omega_{2n} l_2$, $v_{B'_n C'_n} = \omega_{3n} l_3$; пры гэтым $\vec{v}_{B'_n A'_2} \perp \vec{l}_2$, $\vec{v}_{B'_n C'_n} \perp \vec{l}_3$. Скорасць пункта C'_n роўна $v_{C'_n} = \omega_{1n} l_1$.

Выключаем з сістэмы (15) скорасць $\vec{v}_{B'_n}$:

$$\vec{v}_{A'_2} + \vec{v}_{B'_n A'_2} = \vec{v}_{C'_n} + \vec{v}_{B'_n C'_n}. \quad (16)$$

Праецыруем роўнасць (16) на восі $C'_n z_n, A'_2 u_n$:

$$\left. \begin{aligned} -v_{A'_2} \cos(\beta'_3 - \psi) + v_{B'_n A'_2} \sin(\beta'_2 + \beta'_3) &= -v_{C'_n} \cos(\beta'_3 + \alpha - \psi_{1n}) + 0 \\ v_{A'_2} \cos(\beta'_2 + \psi) + 0 &= v_{C'_n} \cos(\beta'_2 - \alpha + \psi_{1n}) + v_{B'_n C'_n} \cos(\beta'_2 + \beta'_3 - 90^\circ) \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

З роўнасцей (17) вызначаем:

$$v_{B'_n A'_2} = \left[v_{A'_2} \cos(\beta'_3 - \psi) - v_{C'_n} \cos(\beta'_3 + \alpha - \psi_{1n}) \right] / \sin(\beta'_2 + \beta'_3),$$

$$v_{B'_n C'_n} = \left[v_{A'_2} \cos(\beta'_2 + \psi) - v_{C'_n} \cos(\beta'_2 - \alpha + \psi_{1n}) \right] / \cos(\beta'_2 + \beta'_3 - 90^\circ).$$

Адсюль $\omega_{2n} = v_{B'_n A'_2} / l_2$, $\omega_{3n} = v_{B'_n C'_n} / l_3$.

Знойдзем скорасць $\vec{v}_{B'_n}$. Для гэтага праецыруем другую роўнасць (15) на восі $C'_n x_2, C'_n y_2$:

$$v_{B'_n x_2} = v_{C'_n} + v_{B'_n C'_n} \sin(\beta'_3 + \alpha - \psi_{1n}),$$

$$v_{B'_n y_2} = 0 - v_{B'_n C'_n} \cos(\beta'_3 + \alpha - \psi_{1n}).$$

На падставе атрыманых праекцый вызначаем модуль скорасці:

$$v_{B'_n} = \sqrt{(v_{B'_n x_2})^2 + (v_{B'_n y_2})^2}$$

На рысунку 3 выканана якасная праверка скорасці $\vec{v}_{B'_n}$ графічным спосабам.

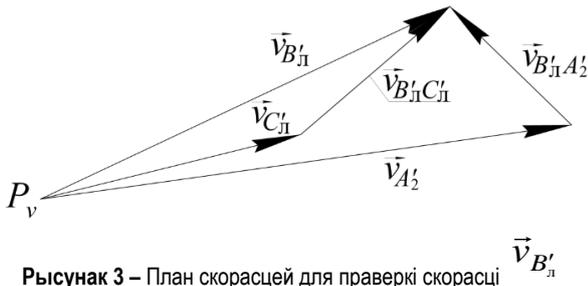


Рисунок 3 – План скоростей для проверки скорасці $\vec{V}_{B'_1}$

Вызначэнне паскарэнняў пунктаў і звенняў

Выкарыстоўваем формулы, прыведзеныя ва ўжо упамянутых курсах тэарэтычнай механікі. Даследаванне пачынаем з левай паловы рабачай камеры. У якасці полюсаў прымаем пункты C'_1, A'_2 (рысунак 4).

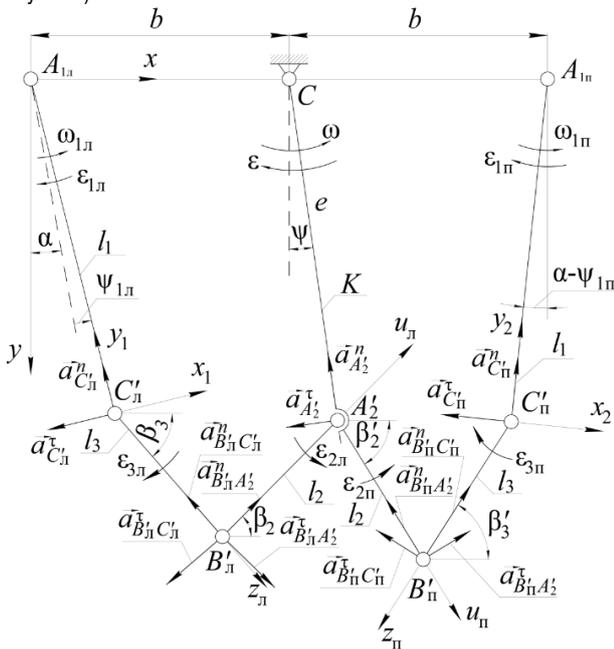


Рисунок 4 – Ілюстрацыя да вызначэння паскарэння пунктаў і звенняў

Запісваем формулы для паскарэння пункта B'_1 :

$$(\vec{a}_{B'_1} = \vec{a}_{C'_1} + \vec{a}_{B'_1C'_1}^n + \vec{a}_{B'_1C'_1}^\tau; \vec{a}_{B'_1} = \vec{a}_{A'_2} + \vec{a}_{B'_1A'_2}^n + \vec{a}_{B'_1A'_2}^\tau), \quad (18)$$

дзе паскарэнні полюсаў $\vec{a}_{C'_1}, \vec{a}_{A'_2}$ роўныя: $\vec{a}_{C'_1} = \vec{a}_{C'_1}^n + \vec{a}_{C'_1}^\tau$; $\vec{a}_{A'_2} = \vec{a}_{A'_2}^n + \vec{a}_{A'_2}^\tau$; $a_{C'_1}^n = \omega_{1n}^2 l_1$; $a_{C'_1}^\tau = \epsilon_{1n} l_1$; $a_{A'_2}^n = \omega^2 e$; $a_{A'_2}^\tau = \epsilon e$. Адносныя паскарэнні ў роўнасці (18) вылічваюцца па

формулах: $a_{B'_1C'_1}^n = \omega_{3n}^2 l_3$; $a_{B'_1C'_1}^\tau = \epsilon_{3n} l_3$; $a_{B'_1A'_2}^n = \omega_{2n}^2 l_2$; $a_{B'_1A'_2}^\tau = \epsilon_{2n} l_2$. Тут усюды паскарэнне $\epsilon_{1n} = k_n \epsilon$, а значэнне ϵ знойдзена ў нашым папярэднім артыкуле [2] пры даследаванні руху прываднага механізма. Паскарэнні $\epsilon_{2n}, \epsilon_{3n}$ вызначаюцца ніжэй

з роўнасцей (18). Выключаем з іх $\vec{a}_{B'_1}$:

$$\vec{a}_{C'_1} + \vec{a}_{B'_1C'_1}^n + \vec{a}_{B'_1C'_1}^\tau = \vec{a}_{A'_2} + \vec{a}_{B'_1A'_2}^n + \vec{a}_{B'_1A'_2}^\tau. \quad (19)$$

У роўнасці (19) невядомымі з'яўляюцца толькі складнікі $\vec{a}_{B'_1C'_1}^\tau$ і $\vec{a}_{B'_1A'_2}^\tau$. На рысунку 4 праводзім восі праекцый $C'_1 z_n \perp \vec{a}_{B'_1C'_1}^\tau$ і $B'_1 u_n \perp \vec{a}_{B'_1A'_2}^\tau$. Праецыруем роўнасць (19) на вось $C'_1 z_n$: $-a_{C'_1}^n \sin(\beta_3 + \psi_{1n} + \alpha) - a_{C'_1}^\tau \cos(\beta_3 + \psi_{1n} + \alpha) - a_{B'_1C'_1}^n + 0 = -a_{A'_2}^n \sin(\beta_3 + \psi) - a_{A'_2}^\tau \cos(\beta_3 + \psi) + a_{B'_1A'_2}^n \cos(\beta_2 + \beta_3) + a_{B'_1A'_2}^\tau \sin(\beta_2 + \beta_3)$.

Адсюль

$$a_{B'_1A'_2}^\tau = \left[\begin{aligned} &-a_{C'_1}^n \sin(\beta_3 + \psi_{1n} + \alpha) - a_{C'_1}^\tau \cos(\beta_3 + \psi_{1n} + \alpha) - a_{B'_1C'_1}^n + \\ &+ a_{A'_2}^n \sin(\beta_3 + \psi) + a_{A'_2}^\tau \cos(\beta_3 + \psi) - a_{B'_1A'_2}^n \cos(\beta_2 + \beta_3) \end{aligned} \right] / \sin(\beta_2 + \beta_3)$$

$$\epsilon_{2n} = a_{B'_1A'_2}^\tau / l_2$$

Аналагічна з праекцыі роўнасці (19) на вось $B'_1 u_n$ атрымаем:

$$a_{B'_1C'_1}^\tau = \left[\begin{aligned} &-a_{A'_2}^n \sin(\beta_2 - \psi) + a_{A'_2}^\tau \cos(\beta_2 - \psi) - a_{B'_1C'_1}^n + a_{C'_1}^n \sin(\beta_2 - \psi_{1n} - \alpha) - \\ &- a_{C'_1}^\tau \cos(\beta_2 - \psi_{1n} - \alpha) - a_{B'_1C'_1}^n \cos(\beta_2 + \beta_3) \end{aligned} \right] / \sin(\beta_2 + \beta_3)$$

$$\epsilon_{3n} = a_{B'_1C'_1}^\tau / l_3$$

Паскарэнне груза B'_1 можна вылічыць па формуле

$$a_{B'_1} = \sqrt{(a_{B'_1x_1})^2 + (a_{B'_1y_1})^2}$$

дзе $a_{B'_1x_1}, a_{B'_1y_1}$ – праекцыі аднаго з вектраў $\vec{a}_{B'_1}$ (18) на восі каардынат $C'_1 x_1 y_1$ (рысунак 4).

Пераходзім да вызначэння кінематычных характарыстык руху звенняў і пунктаў правай паловы рабачай камеры. Каб запісаць формулы паскарэння пункта B'_n , у якасці полюсаў прымаем пункты A'_2, C'_n .

Тады

$$\vec{a}_{B'_n} = \vec{a}_{A'_2} + \vec{a}_{B'_nA'_2}^n + \vec{a}_{B'_nA'_2}^\tau; \vec{a}_{B'_n} = \vec{a}_{C'_n} + \vec{a}_{B'_nC'_n}^n + \vec{a}_{B'_nC'_n}^\tau. \quad (20)$$

Тут $a_{B'_nA'_2}^n = \omega_{2n}^2 l_2$; $a_{B'_nA'_2}^\tau = \epsilon_{2n} l_2$; $\vec{a}_{C'_n} = \vec{a}_{C'_n}^n + \vec{a}_{C'_n}^\tau$;

$a_{C'_n}^n = \omega_{1n}^2 l_1$; $a_{C'_n}^\tau = \epsilon_{1n} l_1$; $a_{B'_nC'_n}^n = \omega_{3n}^2 l_3$;

$a_{B'_nC'_n}^\tau = \epsilon_{3n} l_3$; пры гэтым $\vec{a}_{B'_nA'_2}^n \parallel \vec{l}_2$; $\vec{a}_{B'_nA'_2}^\tau \perp \vec{l}_2$;

$\vec{a}_{B'_nC'_n}^n \parallel \vec{l}_3$; $\vec{a}_{B'_nC'_n}^\tau \perp \vec{l}_3$. З формул (20) выключаем паскарэнне

$\vec{a}_{B'_n}$; атрымліваем

$$\vec{a}_{A'_2} + \vec{a}_{B'_nA'_2}^n + \vec{a}_{B'_nA'_2}^\tau = \vec{a}_{C'_n} + \vec{a}_{B'_nC'_n}^n + \vec{a}_{B'_nC'_n}^\tau. \quad (21)$$

Уводзім восі праекцый $B'_n z_n, B'_n u_n$ (рысунак 4) і праецыруем на іх роўнасць (21). З атрыманых праекцый знаходзім адносныя тангенцыяльныя паскарэнні:

$$a_{B'_nA'_2}^\tau = \left[\begin{aligned} &a_{C'_n}^n \sin(\beta'_3 - \psi_{1n} + \alpha) - a_{C'_n}^\tau \cos(\beta'_3 - \psi_{1n} + \alpha) + a_{B'_nC'_n}^n + \\ &+ a_{A'_2}^n \sin(\beta'_3 - \psi) + a_{A'_2}^\tau \cos(\beta'_3 - \psi) - a_{B'_nA'_2}^n \cos \gamma \end{aligned} \right] / \sin \gamma$$

$$a_{B'_nC'_n}^\tau = \left[\begin{aligned} &-a_{C'_n}^n \sin(\beta'_2 + \psi_{1n} - \alpha) - a_{C'_n}^\tau \cos(\beta'_2 + \psi_{1n} - \alpha) - a_{B'_nC'_n}^n \cos \gamma + \\ &+ a_{A'_2}^n \sin(\beta'_2 + \psi) + a_{A'_2}^\tau \cos(\beta'_2 + \psi) + a_{B'_nA'_2}^n \end{aligned} \right] / \sin \gamma$$

дзе $\gamma = 180^\circ - \beta'_2 - \beta'_3$.

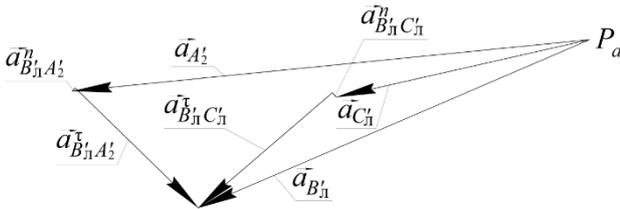
Знаходзім паскарэнні звяноў l_2, l_3 правай паловы камеры:

$$\varepsilon_{2П} = a_{B'_1 A'_2}^T / l_2; \quad \varepsilon_{3П} = a_{B'_1 C'_1}^T / l_3$$

Паскарэнне груза B'_1 вылічваем па формуле

$$a_{B'_1} = \sqrt{(a_{B'_1 x_2})^2 + (a_{B'_1 y_2})^2}$$

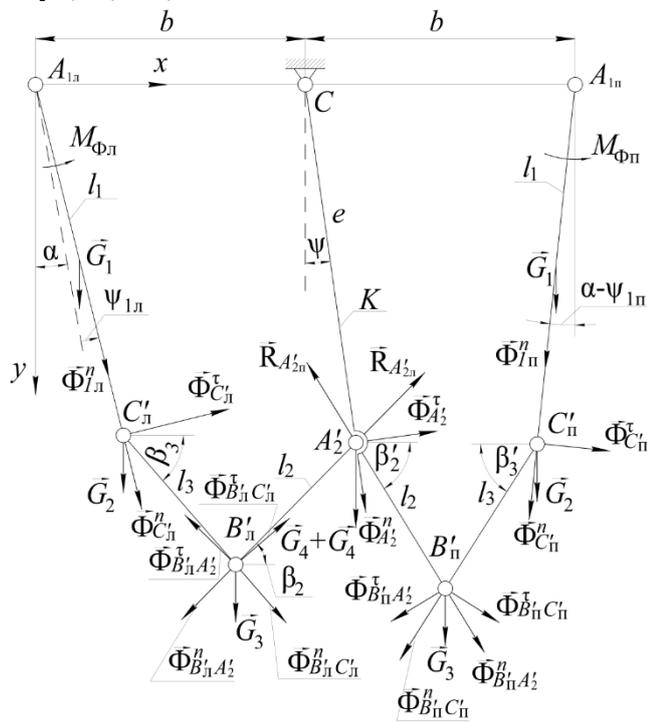
дзе $a_{B'_1 x_2}, a_{B'_1 y_2}$ – праекцыі аднаго з вектараў $\vec{a}_{B'_1}$ (19) на восі каардынат $C'_1 x_2 y_2$ (рысунк 4). На рысунку 5 выканана якасная праверка паскарэння $a_{B'_1}$.



Рысунк 5 – План паскарэнняў для праверкі паскарэння $a_{B'_1}$

Вызначэнне сіл ўзаемадзеяння рабочых органаў камеры з каромыслам

Названыя ў падзагалоўку сілы ўзаемадзеяння левага і правага рабочага органа з каромыслам абазначым адпаведна праз $\vec{R}_{A'_2Л}$ і $\vec{R}_{A'_2П}$ (рысунк 6).



Рысунк 6 – Ілюстрацыя да вызначэння кампанент дынамічных сіл ўзаемадзеяння

Для іх вылічэння выкарыстаем метады кінестатыкі. Паводле яго кожны рабочы орган камеры разглядаецца ў стане ўмоўнай раўнавагі пад дзеяннем сіл цяжару і сіл інерцыі. На рысунку 6 сілы цяжару абазначаны літарамі G , а сілы інерцыі – праз Φ . Будзем лічыць, што ў кожнай палове камеры агульная сіла цяжару G

ланцужных палотнаў і перапрацоўваемага рэчыва размеркавана ў выглядзе матэрыяльных пунктаў паміж трыма кінематычнымі парамі

$C'_л (C'_п), B'_л (B'_п), A'_2$; $G = G_2 + G_3 + G_4$, дзе $G_i = k_i G$ ($i = 2, 3, 4$). Пры гэтым $\sum_{i=2}^4 k_i = 1$ ($k_i < 1$). Такія ж суадносіны маюць

месца для мас m_i матэрыяльных пунктаў. Значэнні каэфіцыентаў усталяваюцца доследным шляхам. Будзем лічыць на першым этапе даследавання, што падчас руху рабочых органаў яны застаюцца пастаяннымі. У сваю чаргу сілу G будзем выражаць праз стабільную сілу цяжару гнуткай сценкі: $G = kG_1$. Апошняя прадстаўленне сілы G нам неабходна ў далейшым для пераходу да адносных сіл ўзаемадзеяння. У рэальным аграгаце $k > 1$.

Разглядаем раўнавагу левага рабочага органа $A_{1Л} C'_л B'_л A'_2$.

Для яго

$$\begin{aligned} \sum M_{A_{1Л}}(\vec{F}_i) = & -G_1 l_1 \sin(\alpha + \psi_{1л}) / 2 - G_2 l_1 \sin(\alpha + \psi_{1л}) - \\ & -G_3 [l_1 \sin(\alpha + \psi_{1л}) + l_3 \cos \beta_3] + M_{\Phi_{C'_л}} + \Phi_{C'_л} l_1 + \\ & + \Phi_{B'_л C'_л}^n \{ [l_1 \cos(\alpha + \psi_{1л}) + l_3 \sin \beta_3] \cos \beta_3 - [l_1 \sin(\alpha + \psi_{1л}) + l_3 \cos \beta_3] \sin \beta_3 \} + \\ & + \Phi_{B'_л A'_2}^n \{ [l_1 \cos(\alpha + \psi_{1л}) + l_3 \sin \beta_3] \sin \beta_3 + [l_1 \sin(\alpha + \psi_{1л}) + l_3 \cos \beta_3] \cos \beta_3 \} - \\ & - \Phi_{B'_л A'_2}^T \{ [l_1 \cos(\alpha + \psi_{1л}) + l_3 \sin \beta_3] \cos \beta_2 + [l_1 \sin(\alpha + \psi_{1л}) + l_3 \cos \beta_3] \sin \beta_2 \} - \\ & - \Phi_{B'_л A'_2}^n \{ [l_1 \cos(\alpha + \psi_{1л}) + l_3 \sin \beta_3] \sin \beta_2 - [l_1 \sin(\alpha + \psi_{1л}) + l_3 \cos \beta_3] \cos \beta_2 \} + \\ & + R_{A'_{2Л}} [e \cos \beta_2 \cos \psi + (b + e \sin \psi) \sin \beta_2] = 0, \end{aligned} \quad (22)$$

ці скарачана:

$$A_{Л} + R_{A'_{2Л}} d_{Л} = 0 \quad (23)$$

Многачлены $A_{Л}; d_{Л}$ усталяваюцца з супастаўлення роўнасцей (23) і (22). З роўнасці (23) знаходзім:

$$R_{A'_{2Л}} = (-A_{Л}) / d_{Л} \quad (24)$$

Многачлен $A_{Л}$ утрымлівае момант і сілы інерцыі, якія вылічаюцца па формулах:

$$\begin{aligned} M_{\Phi_{A_{1Л}}} = J_{A_{1Л}} \varepsilon_{1л} = & \frac{1}{3} m_1 l_1^2 \varepsilon_{1л} = a_1 G_1 l_1^2 \varepsilon_{1л}; \quad \Phi_{C'_л}^T = m_2 a_{C'_л}^T = \frac{G_2}{g} a_{C'_л}^T = \frac{k_2 G}{g} a_{C'_л}^T = \\ = & \frac{kk_2}{g} G_1 a_{C'_л}^T = a_2 G_1 a_{C'_л}^T; \quad \Phi_{B'_л C'_л}^n = m_3 a_{B'_л C'_л}^n = \frac{G_3}{g} a_{B'_л C'_л}^n = \frac{k_3 G}{g} a_{B'_л C'_л}^n = a_3 G_1 a_{B'_л C'_л}^n; \quad (25) \\ \Phi_{B'_л C'_л}^T = & a_3 G_1 a_{B'_л C'_л}^T; \quad \Phi_{B'_л A'_2}^n = a_5 G_1 a_{B'_л A'_2}^n; \quad \Phi_{B'_л A'_2}^T = a_5 G_1 a_{B'_л A'_2}^T, \end{aligned}$$

дзе $a_1 = 1/3 g$; $a_2 = kk_2 / g$; $a_3 = kk_3 / g$; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – паскарэнне свабоднага падзення. Заўважым, што ва ўраўненні (22) не ўваходзяць сілы, прыкладзеныя да пункта A'_2 , паколькі яны не ўплываюць на велічыню сілы ўзаемадзеяння $R_{A'_{2Л}}$. Аднак іх неабходна ўлічваць пры вызначэнні нарузкі на рухавік прываднага механізма. Многачлены $d_{Л}$ і $(-A_{Л})$ з улікам формул (25) прымаюць від:

$$d_{Л} = e \cos \psi \cos \beta_2 + (b + e \sin \psi) \sin \beta_2; \quad (-A_{Л}) = a_{Л} G_1,$$

дзе $a_{Л} = l_1 [\sin(\alpha + \psi_{1л}) / 2 + kk_2 \sin(\alpha + \psi_{1л})] + kk_3 [l_1 \sin(\alpha + \psi_{1л}) + l_3 \cos \beta_3] - a_1 l_1^2 \varepsilon_{1л} - a_2 l_1 a_{C'_л}^T - a_3 a_{B'_л C'_л}^n \{ [l_1 \cos(\alpha + \psi_{1л}) + l_3 \sin \beta_3] \cos \beta_3 - [l_1 \sin(\alpha + \psi_{1л}) + l_3 \cos \beta_3] \sin \beta_3 \} - a_3 a_{B'_л C'_л}^T \{ [l_1 \cos(\alpha + \psi_{1л}) + l_3 \sin \beta_3] \sin \beta_3 + [l_1 \sin(\alpha + \psi_{1л}) + l_3 \cos \beta_3] \cos \beta_3 \} + a_5 a_{B'_л A'_2}^n \{ [l_1 \cos(\alpha + \psi_{1л}) + l_3 \sin \beta_3] \cos \beta_2 + [l_1 \sin(\alpha + \psi_{1л}) + l_3 \cos \beta_3] \sin \beta_2 \} + a_5 a_{B'_л A'_2}^T \{ [l_1 \cos(\alpha + \psi_{1л}) + l_3 \sin \beta_3] \sin \beta_2 - [l_1 \sin(\alpha + \psi_{1л}) + l_3 \cos \beta_3] \cos \beta_2 \}.$

Падстаўляем $(-A_{Л}) = a_{Л} G_1$ у (24). Атрымліваем наступную формулу для вылічэння абсалютнага значэння сілы ўзаемадзеяння левага рабочага органа камеры з каромыслам:

$$R_{A'_{2Л}} = (a_{Л} / d_{Л}) G_1 \quad (26)$$

Адноснае значэнне $\tilde{R}_{A_2\pi} = R_{A_2\pi} / G_1$ гэтай сілы знаходзіцца па формуле $\tilde{R}_{A_2\pi} = a_{\pi} / d_{\pi}$.

Пераходзім да правай паловы рабочей камеры. Запісваем умову раўнавагі для сукупнасці звенняў $A_2' B_{\pi}' C_{\pi}' A_{\pi}'$:

$$\begin{aligned} \sum M_{A_{\pi}}(\vec{F}_i) &= G_1 l_1 \sin(\alpha - \psi_{\text{in}}) / 2 + G_2 l_1 \sin(\alpha - \psi_{\text{in}}) + G_3 h_x + \\ &+ \Phi_{B_{\pi}' A_2'}^n (\cos \beta_2' h_y + \sin \beta_2' h_x) - \Phi_{B_{\pi}' A_2'}^{\tau} (\sin \beta_2' h_y - \cos \beta_2' h_x) - \\ &- \Phi_{B_{\pi}' C_{\pi}'}^n (\cos \beta_3' h_y - \sin \beta_3' h_x) + \Phi_{B_{\pi}' C_{\pi}'}^{\tau} (\sin \beta_3' h_y + \cos \beta_3' h_x) + \\ &+ \Phi_{C_{\pi}' A_{\pi}'}^{\tau} l_1 + M_{\text{Фн}} - R_{A_2\pi} [e \cos \psi \cos \beta_2' + (b - e \sin \psi) \sin \beta_2'] = 0, \end{aligned} \quad (27)$$

ці скарачана

$$A_{\pi} - R_{A_2\pi} d_{\pi} = 0 \quad (28)$$

Тут, як і раней, многачлены A_{π} і d_{π} вызначаюцца шляхам супастаўлення роўнасцей (28) і (27). Ва ўраўненні (27) уведзены абазначэнні: $l_3 \cos \beta_3' + l_1 \sin(\alpha - \psi_{\text{in}}) = h_x$; $e \cos \psi + l_2 \sin \beta_2' = h_y$. Сілы і момант інерцыі вылічаюцца па формулах (25), у якіх

паскарэнні ϵ_{π} , $a_{C_{\pi}'}^{\tau}$, $a_{B_{\pi}' C_{\pi}'}^n$, $a_{B_{\pi}' C_{\pi}'}^{\tau}$, $a_{B_{\pi}' A_2'}^n$, $a_{B_{\pi}' A_2'}^{\tau}$ замяняюцца адпаведна на ϵ_{π} , $a_{C_{\pi}'}^{\tau}$, $a_{B_{\pi}' C_{\pi}'}^n$, $a_{B_{\pi}' C_{\pi}'}^{\tau}$, $a_{B_{\pi}' A_2'}^n$, $a_{B_{\pi}' A_2'}^{\tau}$.

З роўнасці (28) вызначаем абсалютнае значэнне сілы ўзаемадзеяння правага рабочага органа камеры з каромыслам

$$R_{A_2\pi} = A_{\pi} / d_{\pi}, \quad (29)$$

дзе $d_{\pi} = e \cos \psi \cos \beta_2' + (b - e \sin \psi) \sin \beta_2'$; $A_{\pi} = a_{\pi} G_1$;

$$\begin{aligned} a_{\pi} &= l_1 [\sin(\alpha - \psi_{\text{in}}) / 2 + k k_2 \sin(\alpha - \psi_{\text{in}})] + k k_3 h_x + a_3 a_{B_{\pi}' A_2'}^n (\cos \beta_2' h_y + \sin \beta_2' h_x) - \\ &- a_3 a_{B_{\pi}' A_2'}^{\tau} (\sin \beta_2' h_y - \cos \beta_2' h_x) - a_3 a_{B_{\pi}' C_{\pi}'}^n (\cos \beta_3' h_y - \sin \beta_3' h_x) + a_3 a_{B_{\pi}' C_{\pi}'}^{\tau} (\sin \beta_3' h_y + \cos \beta_3' h_x) + \\ &+ a_2 a_{C_{\pi}'}^{\tau} l_1 + a_1 l_1^2 \epsilon_{\text{in}}. \end{aligned}$$

Падстаўляем A_{π} у (29); атрымліваем:

$$R_{A_2\pi} = (a_{\pi} / d_{\pi}) G_1 \quad (30)$$

Адноснае значэнне сілы ўзаемадзеяння $\tilde{R}_{A_2\pi} = R_{A_2\pi} / G_1$ вылічаем па формуле:

$$\tilde{R}_{A_2\pi} = a_{\pi} / d_{\pi} \quad (31)$$

Заўважым, што атрыманыя сілы ўзаемадзеяння каромысла з левым рабочым органам (26) і з правым (30), паказаныя на рысунку 6, прыкладзены да участкаў ніцей (ці стрыжняў) l_2 . На каромысел яны дзейнічаюць у процілеглых напрамках.

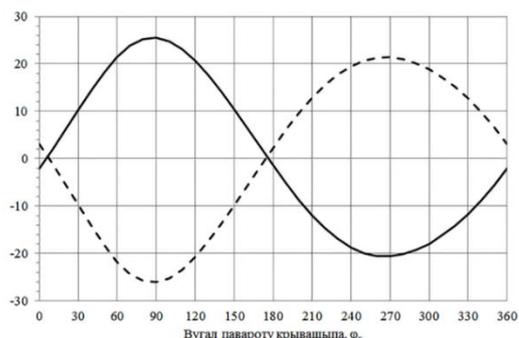
Вылічэнне сіл ўзаемадзеяння звенняў і іх аналіз

Пераходзячы да аналізу дынамічных сіл ўзаемадзеяння, нагадаем, што ў прывадным механізме літарамі r , l , h абазначаны даўжыні крывашыпа, шатуна і каромысла, а іх геаметрычныя суадносіны: $\rho = r/l$, $\lambda = h/l$; ω_k – вуглавая скорасць крывашыпа. Разлікі выкананы пры $\rho = 0,1$; $\lambda = 2/3$; $\omega_k = 1$ рад/с. Дынамічныя сілы ўзаемадзеяння прадстаўляюцца ў выглядзе функцый вугла φ_k павароту крывашыпа. Значэнне $\varphi_k = 0$ адпавядае вертыкальнаму становішчу каромысла. Пры зададзеных вышэй параметрах максімальная (амплітудная) вуглы адхілення каромысла ўлева і ўправа роўны $8,19^\circ$ і $9,06^\circ$ адпаведна пры φ_k , роўным $269,6^\circ$ і $89,6^\circ$.

Як раней разглядалася, сіла цяжару G ланцужных палотнаў і перапрацоўваемага рэчыва размеркавана ў выглядзе матэрыяльных пунктаў паміж трыма кінематычнымі парамі $C_{\pi}' (C_{\pi}')$, $B_{\pi}' (B_{\pi}')$, A_2' : $G = G_2 + G_3 + G_4$ дзе $G_i = k_i G$ ($i=2,3,4$). У разліках прыем наступныя значэнні каэфіцыентаў і сіл цяжару: $k_2 = 0,25$; $k_3 = 0,5$; $k_4 = 0,25$; $G = 1$ Н; $G_1 = 0,1$ Н. Адсюль каэфіцыент $k = G / G_1 = 10$.

На рысунку 7 прадстаўлены графікі змянення адносных сіл ўзаемадзеяння каромысла з рабочымі органамі: $\tilde{R}_{A_2\pi} = R_{A_2\pi} / G_1$

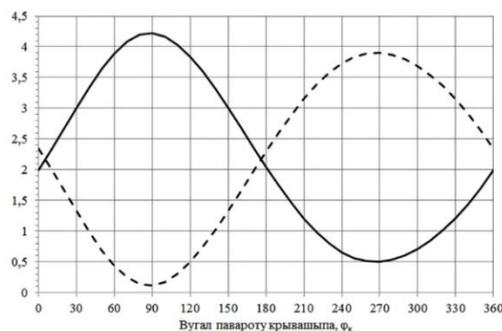
$$\text{і } \tilde{R}_{A_2\pi} = R_{A_2\pi} / G_1.$$



На восі ардынаты паказана велічыня адноснай сілы \tilde{R}_{A_2}

Рысунк 7 – Графік змянення адноснай \tilde{R}_{A_2} сілы ўзаемадзеяння каромысла з рабочымі органамі: суцэльная лінія – для левай паловы рабочей камеры, пункцірная – для правай

Паводле гэтых графікаў адносныя сілы ўзаемадзеяння \tilde{R}_{A_2} для левай і правай паловы рабочей камеры прымаюць як дадатныя (расцяжэнне), так і адмоўныя (сцісканне) значэнні. Але жорсткасць ідэальнай ніці на сцісканне, як вядома, роўна нулю. Атрыманая супярэчнасць патрабуе пераходу ад камбінаванай мадэлі да трохстрыжнявой шляхам замены участкаў l_2 , l_3 ніці стрыжнямі. Даследаваннямі ўстаноўлена, што такі пераход неабходны пры значэннях вуглавой скорасці крывашыпа $\omega_k > 0,27$ рад/с. Пры $\omega_k \leq 0,27$ рад/с сілы ўзаемадзеяння дадатныя (рысунк 8).



На восі ардынаты паказана велічыня адноснай сілы \tilde{R}_{A_2}

Рысунк 8 – Графік змянення адноснай \tilde{R}_{A_2} сілы ўзаемадзеяння каромысла з рабочымі органамі пры $\omega_k = 0,26$ рад/с: суцэльная лінія – для левай паловы рабочей камеры, пункцірная – для правай

Атрыманае ў раўзліку перыядычнае падоўжнае «сцісканне» ніці можна трактаваць і як адсутнасць сілы ўзаемадзеяння. Аб гэтым дадаткова напісана ў «Заклучэнні».

Для вызначэння неабходных механічных характарыстык рухавіка ланцужнага аргэрата сілы ўзаемадзеяння рабочых органаў з

каромыслам мэтазгодна прадставіць у выглядзе нармальнай $R_{A_2}^n$ і тангенцыйнай $R_{A_2}^{\tau}$ кампанентаў па формулах для левай паловы

$$\text{рабочай } \quad \text{камеры} \quad R_{A_2}^n = -R_{A_2\pi} \sin(\beta_2 - \psi),$$

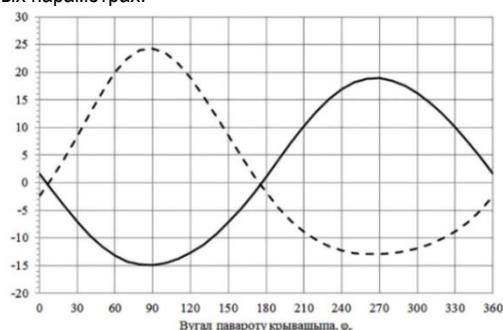
$$R_{A_2}^{\tau} = -R_{A_2\pi} \cos(\beta_2 - \psi) \quad \text{і для правай паловы}$$

$$R_{A_2}^{n\pi} = -R_{A_2\pi} \sin(\beta_2' + \psi), \quad R_{A_2}^{\tau\pi} = -R_{A_2\pi} \cos(\beta_2' + \psi) \quad \text{у}$$

прыведзеных формулах разглядаюцца сілы $R_{A_2\pi}$, $R_{A_2\pi}^n$, прыкладзеныя да каромысла, гэта значыць адваротныя да сіл, што

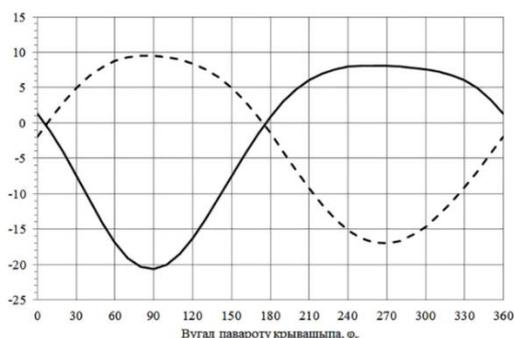
дзеінічаюць на рабочыя органы камеры. Таму ўзяты з адмоўнымі знакамі.

На рысунках 9 і 10 прадстаўлены графікі змянення велічын нармальнай R_{A_2}'' і тангенцыяльнай R_{A_2}' складальных сілы ўзаемадзеяння ў пункце A_2' . Як і раней графікі прадставім у адносных параметрах.



На восі ардынат паказана велічыня нармальнай кампаненты \tilde{R}_{A_2}''

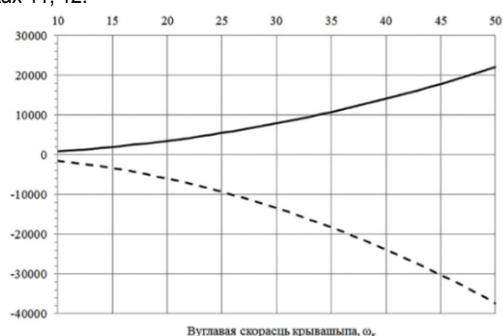
Рысунк 9 — Графік змянення нармальнай кампаненты \tilde{R}_{A_2}'' сілы ўзаемадзеяння рабочых органаў з каромыслам: суцэльная лінія – для левай паловы рабочей камеры, пункцірная – для правай



На восі ардынат паказана велічыня тангенцыяльнай кампаненты \tilde{R}_{A_2}'

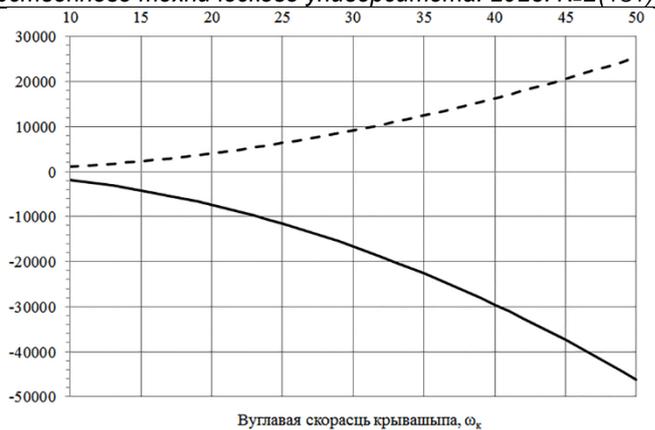
Рысунк 10 — Графік змянення тангенцыяльнай кампаненты \tilde{R}_{A_2}' сілы ўзаемадзеяння рабочых органаў з каромыслам: суцэльная лінія – для левай паловы рабочей камеры, пункцірная – для правай

Даследавана залежнасць тангенцыяльнай сілы ўзаемадзеяння рабочых органаў у крайніх становішчах каромысла ад велічын вуглавой скорасці ω_k крывашыпа. Адпаведныя графікі для левага ($\psi = 8,19^\circ$) і правага ($\psi = 9,06^\circ$) становішчаў каромысла паказаны на рысунках 11, 12.



На восі ардынат паказана велічыня тангенцыяльнай сілы \tilde{R}_{A_2}'

Рысунк 11 – Графік змянення тангенцыяльнай сілы \tilde{R}_{A_2}' ўзаемадзеяння рабочых органаў з каромыслам (крайняе левае становішча каромысла – $\psi = 8,19^\circ$): суцэльная лінія – для левай паловы рабочей камеры, пункцірная – для правай



На восі ардынат паказана велічыня тангенцыяльнай сілы \tilde{R}_{A_2}'

Рысунк 12 – Графік змянення тангенцыяльнай сілы \tilde{R}_{A_2}'

ўзаемадзеяння рабочых органаў з каромыслам (крайняе правае становішча каромысла – $\psi = 9,06^\circ$): суцэльная лінія – для левай паловы рабочей камеры, пункцірная – для правай

У крайнім левым становішчы каромысла ($\psi = 8,19^\circ$) пры $\omega_k = 10...50$ рад/с адноснае значэнне тангенцыяльнай сілы \tilde{R}_{A_2}' змяняецца ў наступных межах: $\tilde{R}_{A_2}' = 882,3...22076,9$ – для левай паловы рабочей камеры, для правай – $|\tilde{R}_{A_2}'| = 1493,7...37291,9$. У крайнім правым становішчы каромысла ($\psi = 9,06^\circ$) змены больш значныя: $|\tilde{R}_{A_2}'| = 1849,9...46195$ – для левай паловы рабочей камеры, для правай – $\tilde{R}_{A_2}' = 1016,9...25439,7$.

Заклучэнне

У даследаванні прапануецца дзве мадэлі рабочых органаў тэхналагічнай камеры ланцужнага агрэгата – камбінаваная і трохстрыжнявая. У камбінаванай мадэлі гнуткія сценкі прадстаўляюцца жорсткімі стрыжнямі, а ланцужныя палотны – бязважкімі ніцямі. Як адзначалася вышэй, паводле гэтай мадэлі рух ад прываднога звяна камеры (каромысла) перадаецца праз ніці да двух рабочых органаў толькі пры малых значэннях вуглавой скорасці крывашыпа (у прыведзеным прыкладзе пры $\omega_k \leq 0,26$ рад/с). Пры большых і рэальных велічынях ω_k адна з ніцей – левая ці правая – перыядычна расслабляецца і ў рух праз ніць прыводзіцца з такой жа перыядычнасцю рабочы орган толькі адной паловы камеры. Гэта абставіна паслужыла штаўшком, каб перайсці да трохстрыжнявой мадэлі. Аднак дынамічныя даследаванні пры рэальных значэннях ω_k можна працягваць і на падставе камбінаванай мадэлі, прымаючы сілу ўзаемадзеяння \tilde{R}_{A_2}' роўнай нулю для той паловы камеры, дзе яна атрымліваецца адмоўнай. Пры гэтым пабудаваныя на падставе трохстрыжнявой мадэлі графікі застаюцца справядлівымі, але іх участкі, што адпавядаюць адмоўным сілам \tilde{R}_{A_2}' , патрэбна лічыць фіктыўнымі. У абедзвюх мадэлях усе злучэнні паміж часткамі рабочых органаў, каромыслам і корпуснай рамай прымаюцца шарнірнымі. Маса палотнаў і рэчыва размяркоўваецца паміж трыма пунктамі, сумешчанымі з кінематычнымі парамі (шарнірамі). Вызначаны геаметрычныя параметры сістэмы ў адвольным становішчы, кінематычныя характарыстыкі руху яе частак і пунктаў. Знойдзены сілы інерцыі. Для вылічэння сіл ўзаемадзеяння рабочых органаў камеры агрэгата выкарыстаны класічны метады кінэстатыкі. Сілы ўзаемадзеяння прадстаўлены ў абсалютнай і адноснай формах. Вынікі даследавання могуць быць выкарыстаны для вызначэння нарузкі на рухавік прываднога механізма агрэгата і разліка злучэнняў на трываласць.

Спис цытаваных крыніц

1. Интенсификация технологических процессов в аппаратах адаптивного действия : коллектив. монография / Л. А. Сиваченко [и др.] : под науч. ред. Л. А. Сиваченко ; М-во образования Респ. Беларусь, Баранович. гос. ун-т. – Барановичи : БарГУ, 2020. – 359 с.
2. Патапаў, У. А. Распрацоўка алгарытму аналітычнага метаду кінематычнага аналізу чатырохзвеннага механізма ланцужнага аграгата / У. А. Патапаў [і інш.] // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2022. – № 2. – С. 105–112.
3. Камбінаваны метады сілавога аналізу прываднага механізма ланцужнага аграгата / У. А. Патапаў, С. І. Русан, Л. А. Сівачэнка // Вестн. БарГУ. Сер. Технические науки. – 2022. – № 2. – С. 36–46.
4. Патапаў, У. А. Мадэліраванне і аналіз сілавога ўзаемадзеяння звенняў у рабочай камеры ланцужнага аграгата / У. А. Патапаў, С. І. Русан, Л. А. Сівачэнка // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2023. – № 1. – С. 95–108.
5. Патапаў, У. А. Методыка ўстанаўлення залежнасцей паміж каардынатамі і вугламі ў сістэме дзвюх акружнасцей, злучаных адрэзкам / У. А. Патапаў, С. І. Русан, Л. А. Сівачэнка // Механика. Исследования и инновации. – 2021. – Вып.14. – С. 174–182.
6. Никитин, Н. Н. Курс теоретической механики: учеб. для машиностроит. и приборостроит. спец. вузов / Н. Н. Никитин. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1990. – 607 с.
7. Яблонский, А. А. Курс теоретической механики : учебник. / А. А. Яблонский, В. М. Никифорова – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. школа, 1966. – 439 с.

References

1. Intensifikaciya tekhnologicheskikh processov v apparatah adaptivnogo dejstviya : kollektiv. monografiya / L. A. Sivachenko [i dr.] : pod nauch. red. L. A. Sivachenko ; M-vo obrazovaniya Resp. Belarus', Baranovich. gos. un-t. – Barano-vichi : BarGU, 2020. – 359 s.
2. Patapaŭ, U. A. Raspracoŭka algarytmu analitychnaga metadu kinematychnaga analizu chatyrohzhvonnaga mekhanizma lancuzhnaga agregata / U. A. Patapaŭ [i insh.] // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2022. – № 2. – S. 105–112.
3. Kambinavany metady silavoga analizu pryvadnoga mekhanizma lancuzhnaga agregata / U. A. Patapaŭ, S. I. Rusan, L. A. Sivachenka // Vestn. BarGU. Ser. Tekhnicheskie nauki. – 2022. – № 2. – S. 36–46.
4. Patapaŭ, U. A. Madeliravanne i analiz silavoga ŭzaemadzeyannya zvennyaj u rabochaj kamery lancuzhnaga agregata / U. A. Patapaŭ, S. I. Rusan, L. A. Sivachenka // Vestnik Brestsko-go gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2023. – № 1. – S. 95–108.
5. Patapaŭ, U. A. Metodyka ŭstanaŭlennya zalezhnascej pamizh kaardynatami i vuglami ŭ sisteme dzvjuh akruzhnascej, zluchanyh adrezkam / U. A. Patapaŭ, S. I. Rusan, L. A. Sivachenka // Mekhanika. Issledovaniya i innovacii. – 2021. – Vyp.14. – S. 174–182.
6. Nikitin, N. N. Kurs teoreticheskoj mekhaniki: ucheb. dlya mashinostroita. i priborostroita. spec. vuzov / N. N. Nikitin. – 5-e izd., pererab. i dop. – M. : Vyssh. shk., 1990. – 607 s.
7. Yablonskij, A. A. Kurs teoreticheskoj mekhaniki : uchebnik. / A. A. Yablonskij, V. M. Nikiforova – 3-e izd., ispr. i dop. – M.: Vyssh. shkola, 1966. – 439 s.

Материал поступил 17.04.2023, одобрен 07.05.2023, принят к публикации 15.05.2023

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА С РЕГУЛИРУЕМОЙ СКОРОСТЬЮ

**О. Н. Прокопеня¹, Л. И. Вабищевич², А. В. Францевич³,
О. Г. Прожизко⁴, А. С. Лапука⁵**

¹ К. т. н., доцент, заведующий кафедрой автоматизации технологических процессов и производств
УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail : olegprokopenya@mail.ru

² К. т. н., доцент, доцент кафедры автоматизации технологических процессов и производств
УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail : vabik1948@mail.ru

³ Магистр, аспирант кафедры автоматизации технологических процессов и производств
УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail : alex.favg@gmail.com

⁴ Магистр, аспирант кафедры автоматизации технологических процессов и производств
УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail : prozhizhko_og@mail.ru

⁵ Ассистент кафедры автоматизации технологических процессов и производств
УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail : saluzung@mail.ru

Реферат

Для приводов постоянного тока, входящих в состав промышленных роботов, является актуальной проблема оптимизации по критерию минимальных потерь энергии, поскольку данные приводы работают с частыми пусками и торможениями, во время которых имеют место повышенные потери энергии.

В данной статье предлагается решение задачи оптимизации привода постоянного тока с регулируемой скоростью. Получены аналитические зависимости для расчета оптимальных коэффициентов в цепях обратной связи. С помощью математической модели исследовано влияние матриц критерия оптимизации на качество переходных процессов и потери энергии. Предложены рекомендации по выбору данных матриц при проектировании оптимальных приводов.

Ключевые слова: привод постоянного тока, регулирование скорости, оптимальный привод.

OPTIMIZATION OF DIRECT CURRENT DRIVE WITH SPEED CONTROL

O. N. Prokopenya, L. I. Vabishchevich, A. V. Francevich, O. G. Prozhizhko, A. S. Lapuka

Abstract

For DC drives included in industrial robots, the problem of optimization according to the minimum loss criterion is urgent, since these drives operate with frequent starts and braking, during which there are increased energy losses.

This article offers a solution to the problem of optimizing the DC drive with adjustable speed. Analytical dependencies were obtained to calculate optimal coefficients in feedback circuits. With the help of a mathematical model, the influence of the optimization criterion matrices on the quality of transient processes and energy loss was determined. Recommendations on selection of these matrices during design of optimal drives are proposed.

Keywords: DC drive, speed control, optimal drive.

Введение

Приводы постоянного тока широко применяются в составе промышленных роботов. Для них является характерным повторно-кратковременный режим работы с частыми пусками и торможениями. Известно, что при переходных процессах имеет место рост потерь энергии в обмотках двигателя, что обусловлено повышением тока относительно номинального значения, а потери пропорциональны квадрату тока. В этой связи для данных приводов актуальна проблема оптимизации по критерию, обеспечивающему минимальные потери энергии при заданном качестве переходных процессов. На практике задача поиска оптимального управления обычно решается для линейного объекта с использованием квадратичного критерия [1, 2] и именуется аналитическим конструированием регулятора.

Попытка решения данной задачи была предпринята авторами [3]. В данной работе выполнен количественный анализ влияния входящей в критерий оптимизации матрицы R на затраты энергии в переходном процессе применительно к конкретному приводу постоянного тока при фиксированных значениях матрицы Q. Однако представляет интерес оценка влияния отдельных коэффициентов матрицы Q, а также получение аналитических зависимостей для расчета оптимальных значений коэффициентов обратной связи по переменным состояниям, что позволяет построить оптимальный привод. Данная работа посвящена решению указанной проблемы.

Постановка задачи

На основе аналитического решения оптимизационной задачи для привода постоянного тока с регулируемой скоростью необходимо получить математические зависимости, позволяющие рассчитывать оптимальные значения коэффициентов обратной связи по скорости и току двигателя при заданных значениях матриц, входящих в критерий оптимизации. Далее с помощью математической модели необходимо исследовать влияние коэффициентов данных матриц на показатели качества переходного процесса и потери в приводе. Это позволит выработать практические рекомендации по выбору коэффициентов данных матриц при расчете оптимального привода и реализовать привод на практике.

Решение задачи оптимизации

Динамика привода постоянного тока при угловой скорости в качестве выходной переменной и работе в режиме идеального холостого хода описывается уравнениями

$$J_{\text{пр}} \cdot \dot{\omega} = c_M \cdot I_{\text{я}}, \quad (1)$$

$$L_{\text{я}} \cdot \dot{I}_{\text{я}} + R_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}} + c_e \cdot \omega = k_U U_{\text{я}}, \quad (2)$$

где ω – угловая скорость двигателя;

$I_{\text{я}}$ – ток якоря двигателя;

$J_{\text{пр}}$ – приведенный к валу двигателя момент инерции привода;

$L_{я}$ – индуктивность обмотки якоря;
 k_y – коэффициент передачи силового преобразователя;
 c_m и c_e – постоянные двигателя.

При их приведении к виду уравнений состояния

$$\dot{x} = Ax + Bu \tag{3}$$

матрицы объекта имеют вид

$$A = \begin{bmatrix} 0 & \frac{c_m}{J_{ПП}} \\ -\frac{c_e}{L_{я}} & -\frac{R_{я}}{L_{я}} \end{bmatrix}; \tag{4}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{k_y}{L_{я}} \end{bmatrix}; \tag{5}$$

где A и B – матрицы объекта.

Критерий качества регулирования

$$I = \int_{t_0}^{t_k} (u^T R u + x^T Q x) dt \tag{6}$$

где R – симметричная, положительно-определенная матрица весовых коэффициентов, определяющих затраты на управление;

Q – симметричная, неотрицательно-определенная матрица весовых коэффициентов, определяющих качество переходного процесса.

Минимальное значение критерия, соответствующее оптимальному управлению, ищется в виде квадратичной формы

$$I^* [x(t), t] = x^T P(t) x, \tag{7}$$

где $P(t)$ – весовая матрица.

Решением задачи нахождения минимума критерия является закон оптимального управления

$$u^*(t) = -R^{-1} B^T P(t) x(t), \tag{8}$$

При этом матрица $P(t)$ находится из решения матричного нелинейного дифференциального уравнения Риккати [2]

$$-\dot{P} = PA + A^T P - PBR^{-1}B^T P + Q. \tag{9}$$

Для получения стационарной системы в законе управления (8) используем установившееся решение уравнения (9), которое обозначаем \bar{P} и находим его как решение алгебраического уравнения

$$PA + A^T P - PBR^{-1}B^T P + Q = 0. \tag{10}$$

При этом закон управления

$$u^*(t) = -Kx(t), \tag{11}$$

где $K = -R^{-1} B^T \bar{P}$.

Для системы с одним входом матрица R состоит из одного элемента. Обозначим

$$R = [r]. \tag{12}$$

С учетом (5) и (12) закон управления

$$u^* = -\frac{k_y}{rL_{я}} p_{12} \omega - \frac{k_y}{rL_{я}} p_{22} I_{я} = -k_1 \omega - k_2 I_{я} \tag{13}$$

Таким образом, для построения оптимальной системы требуется найти только двух элементов p_{12} и p_{22} матрицы \bar{P} .

Матрицу Q , входящую в критерий (5), принимаем в виде

$$Q = \begin{bmatrix} q_{11} & 0 \\ 0 & q_{22} \end{bmatrix}. \tag{14}$$

Уравнение (10) после подстановки матриц (4), (5), (12), (14) приводится к виду

$$\begin{bmatrix} \frac{k_y^2}{rL_{я}^2} p_{12}^2 + \frac{2c_e}{L_{я}} p_{12} - q_{11} & \frac{k_y^2}{rL_{я}^2} p_{12} p_{22} - \frac{c_m}{J_{ПП}} p_{11} + \frac{R_{я}}{L_{я}} p_{12} + \frac{c_e}{L_{я}} p_{22} \\ \frac{k_y^2}{rL_{я}^2} p_{12} p_{22} - \frac{c_m}{J_{ПП}} p_{11} + \frac{R_{я}}{L_{я}} p_{12} + \frac{c_e}{L_{я}} p_{22} & \frac{k_y^2}{rL_{я}^2} p_{22}^2 + \frac{2R_{я}}{L_{я}} p_{22} - \frac{2c_m}{J_{ПП}} p_{12} - q_{22} \end{bmatrix} = 0 \tag{15}$$

Для нахождения p_{12} и p_{22} , которые входят в закон управления (13), достаточно приравнять к нулю элементы на главной диагонали (15)

$$\frac{k_y^2}{rL_{я}^2} p_{12}^2 + \frac{2c_e}{L_{я}} p_{12} - q_{11} = 0; \tag{16}$$

$$\frac{k_y^2}{rL_{я}^2} p_{22}^2 + \frac{2R_{я}}{L_{я}} p_{22} - \frac{2c_m}{J_{ПП}} p_{12} - q_{22} = 0 \tag{17}$$

Из (16) и (17) находим

$$p_{12} = \frac{rL_{я}}{k_y} \left(\sqrt{c_e^2 + k_y^2 q_{11} / r} - c_e \right), \tag{18}$$

$$p_{22} = \frac{rL_{я} R_{я}}{k_y^2} \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2c_m L_{я} k_y}{J_{ПП} R_{я}^2} \cdot k_1 + \frac{k_y^2}{R_{я}^2} \frac{q_{22}}{r}} \right), \tag{19}$$

Из (13) с учетом (18), (19) получаем

$$k_1 = \frac{1}{k_y} \left(\sqrt{c_e^2 + k_y^2 q_{11} / r} - c_e \right), \tag{20}$$

$$k_2 = \frac{R_{я}}{k_y} \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2c_m L_{я} k_y}{J_{ПП} R_{я}^2} \cdot k_1 + \frac{k_y^2}{R_{я}^2} \frac{q_{22}}{r}} \right), \tag{21}$$

Определение коэффициентов обратной связи по (20), (21) обеспечивает получение оптимальной системы. Из (20), (21) следует, что данные коэффициенты определяются не абсолютными значениями коэффициентов матриц Q и R , а отношениями q_{11}/r и q_{22}/r .

Методика исследований

Для оценки показателей качества переходного процесса и потерь энергии разработана математическая модель привода в приложении Simulink, которая приведена на рисунке 1.

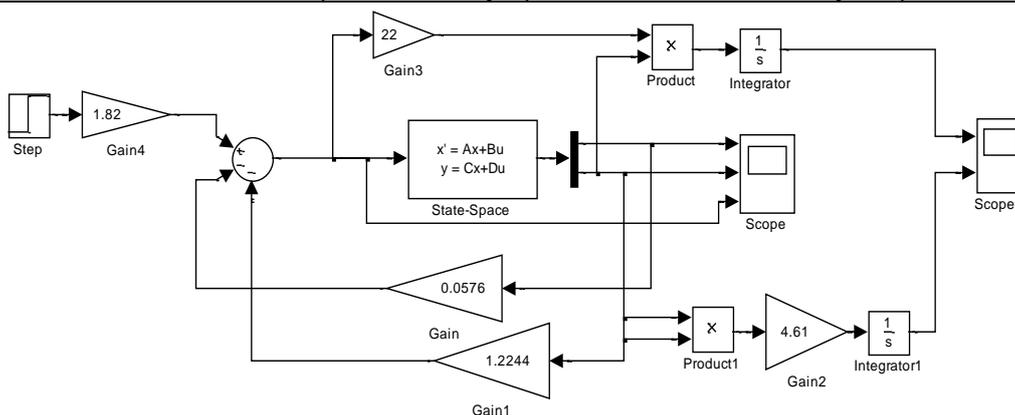


Рисунок 1 – Модель привода в приложении Simulink

В модели предусмотрен вывод на осциллограф Scope переменных состояния: угловой скорости ω (она же является выходной переменной) и тока якорной обмотки I_a . Вид осциллограммы показан на рисунке 2. На осциллограф Scope1 выводятся кривые изменения

энергии, потребленной двигателем, и потерь энергии в обмотке якоря ΔP . Вид осциллограммы показан на рисунке 3. Разность между двумя кривыми соответствует кинетической энергии вращения ротора.

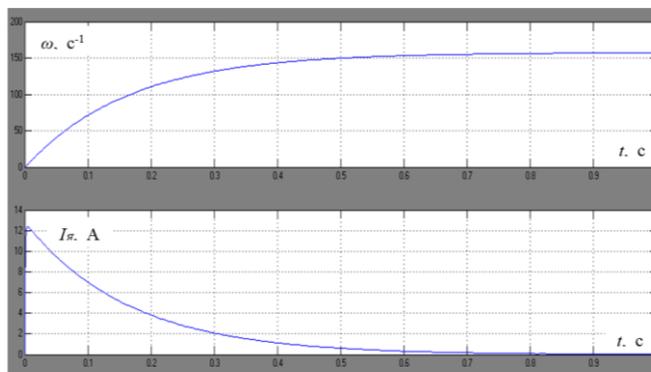


Рисунок 2 – Осциллограммы изменения угловой скорости и тока двигателя

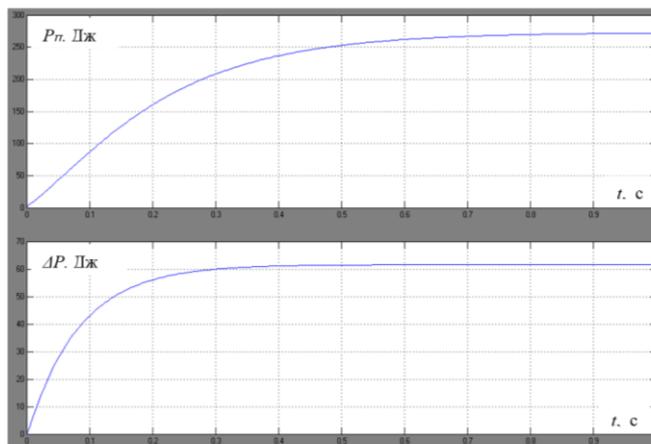


Рисунок 3 – Осциллограммы изменения потребленной энергии и потерь энергии

Процедура анализа реализуется следующим образом. При заданных значениях элементов матриц Q и R вычисляются значения k_1 и k_2 по (20), (21). Данные коэффициенты вводятся в модель и на основе получаемых в результате моделирования осциллограмм находятся показатели качества переходного процесса и потери энергии.

Результаты исследования и обсуждение

Результаты вычислений приведены в таблицах 1–4. Было установлено, что перерегулирование имеет место только при больших значениях q_{11}/r и не превышает 2 %. Поэтому в качестве основного показателя качества переходного процесса принято время регулиро-

вания t_p (вычисляется при допустимом отклонении регулируемой переменной 2 %), а в качестве показателя энергоэффективности – потери энергии в приводе за время переходного процесса ΔP . Данные показатели приводятся в таблицах 1–4.

Таблица 1 – Результаты моделирования при $q_{11} = 1, q_{22} = 0$

r	1	2	5	10
k_1	0,9437	0,6515	0,3930	0,2635
k_2	0,2832	0,2162	0,1465	0,1058
t_p, c	0,014	0,017	0,023	0,028
$\Delta P, Дж$	1556	1278	972	790

Таблица 2 – Результаты моделирования при $q_{11} = 1, q_{22} = 1$

r	1	2	5	10
k_1	0,9437	0,6515	0,3930	0,2635
k_2	0,9053	0,6158	0,3621	0,2371
t_p, c	0,042	0,043	0,045	0,050
$\Delta P, Дж$	689	660	606	547

Таблица 3 – Результаты моделирования при $q_{11} = 1, r = 1$

q_{22}	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10
k_1	0,9437	0,9437	0,9437	0,9437	0,9437	0,9437	0,9437
k_2	0,3760	0,4559	0,6523	0,9053	1,2881	2,0802	2,9919
t_p, c	0,018	0,022	0,031	0,042	0,058	0,091	0,128
$\Delta P, Дж$	1311	1153	891	689	513	335	240

Таблица 4 – Результаты моделирования при $r = 1$

q_{11}	0,1	0,01	0,01	0,01
q_{22}	1	1	1	2
k_1	0,2635	0,0576	0,0576	0,0576
k_2	0,8390	0,8181	0,5362	1,2244
t_p, c	0,132	0,36	0,26	0,51
$\Delta P, Дж$	233	86	118	61

Из полученных результатов следует, что увеличение значения матрицы R приводит к снижению потерь во всех случаях. При $q_{22} = 1$ это снижение происходит менее интенсивно, как видно из таблиц 1, 2. Практически обратно-пропорционально величине потерь изменяется время регулирования. С ростом длительности переходного процесса уменьшается пиковое значение тока, что и обуславливает снижение потерь.

Следует отметить, что увеличение q_{22} приводит к дальнейшему снижению потерь и увеличению времени регулирования, как следует из таблицы 3. Учитывая, что коэффициенты k_1 и k_2 , а следовательно и величина потерь определяются отношениями q_{11}/r и q_{22}/r , целесообразно принять $r = 1$, а желаемое время регулирования и величину потерь задавать с помощью q_{11} и q_{22} . При этом следует иметь в виду, что к снижению потерь приводит уменьшение q_{11} и увеличение q_{22} . Это иллюстрируется таблицей 4.

Необходимо также отметить, что только при увеличении времени регулирования до значения 0,5 с, пиковое значение тока в период пуска снижается до величины примерно три номинальных значения. Данному случаю соответствуют результаты, приведенные в последнем столбце таблицы 4, и осциллограммы, показанные на рисунках 2, 3. Обычно этой величиной ограничивают ток в приводе. Соответственно, при меньшем времени регулирования привод будет работать с ограничением тока, т. е. с переходом в нелинейный режим. Моделирование показало, что при небольшом ограничении на коротком интервале это не отражается существенно на качестве переходного процесса. Однако нелинейный режим работы является нежелательным и всегда требует дополнительного исследования.

Таким образом, можно сделать вывод, что необоснованное завышение быстродействия привода (короткий переходный процесс) приводит к увеличению потерь и увеличивает вероятность перехода в нелинейный режим при ограничении тока. Следовательно, время регулирования следует принимать по возможности большим, насколько это допустимо по условиям работы привода.

Если говорить о коэффициентах k_1 и k_2 , посредством которых реализуется оптимальный закон управления, то из таблиц 1–4 видно, что снижение потерь и увеличение длительности переходного

процесса сопровождается уменьшением k_1 и увеличением k_2 . При этом одно и то же время регулирования можно получить при разных значениях коэффициентов, т. е. изменение k_1 можно компенсировать соответствующим изменением k_2 . Это позволяет при выборе коэффициентов учитывать удобство технической реализации и другие факторы.

Заключение

В результате решения задачи оптимального управления для привода постоянного тока с регулируемой скоростью получены аналитические зависимости для расчета коэффициентов обратной связи по скорости и току двигателя. Это позволяет синтезировать оптимальный привод инженерным расчетом, не прибегая каждый раз к процедуре оптимизации. Однако результаты исследования демонстрируют, что это не гарантирует получения привода с минимальным энергопотреблением, поскольку все определяется выбором матриц Q и R, входящих в критерий оптимизации. Сформулированные рекомендации позволяют целенаправленно подойти к выбору данных матриц. В частности, показано, что наиболее экономичный привод можно получить при обеспечении предельно допустимой по условиям работы длительности переходного процесса за счет соответствующего уменьшения q_{11} и увеличения q_{22} при $r = 1$. Это уменьшает также вероятность работы привода с ограничением по току, т. е. в нелинейном режиме.

Список цитированных источников

1. Методы классической и современной теории автоматического управления: учебник: в 5 т. – Т. 4: Теория оптимизации систем автоматического управления / 2-е изд. перераб. и доп.– М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – Под ред. П. А. Пупкова, Н. Д. Егупова. – 744 с.
2. Солодовников, В. В. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования / В.В. Солодовников, В. Н. Плотников, А. В. Яковлев. – М.: Машиностроение, 1985. – 536 с.
3. Супрунчук, П. Д. Оптимальный электропривод постоянного тока / П. Д. Супрунчук, О. Н. Прокопеня, О. Г. Прожишко // Новые технологии и материалы, автоматизация производства : сборник статей / Брестский государственный технический университет – Брест : Издательство БрГТУ, 2021. – С. 20–25.

References

1. Metody klassicheskoy i sovremennoj teorii avtomaticheskogo upravleniya: uchebnik: v 5 t. – T. 4: Teoriya optimizatsii sistem avtomaticheskogo upravleniya / 2-e izd. pererab. i dop.– M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2004. – Pod red. P. A. Pupkova, N. D. Egupova. – 744 s.
2. Solodovnikov, V. V. Osnovy teorii i elementy sistem avtomaticheskogo regulirovaniya / V.V. Solodovnikov, V. N. Plotnikov, A. V. YAKovlev. – M.: Mashinostroenie, 1985. – 536 s.
3. Suprunchuk, P. D. Optimal'nyj elektroprivod postoyannogo toka / P. D. Suprunchuk, O. N. Prokopenya, O. G. Prozhizhko // Novye tekhnologii i materialy, avtomatizatsiya proizvodstva : sbornik statej / Brestskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet – Brest : Izdatel'stvo BrGTU, 2021. – S. 20–25.

Материал поступил 02.03.2023, одобрен 02.03.2023, принят к публикации 27.03.2023

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОЕКТИРОВАНИИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТРАНСПОРТНО-ИНФРАСТРУКТУРНЫХ КОМПЛЕКСОВ UST

А. Э. Юницкий¹, А. Ю. Кабаков², А. Г. Кошелев³, В. Н. Гаранин⁴

¹Д-р философии транспорта, генеральный конструктор

ЗАО «Струнные технологии», Минск, Беларусь, e-mail: a@unitsky.com

²Главный инженер проекта ЗАО «Струнные технологии», Минск, Беларусь, e-mail: a.kabakov@unitsky.com

³Начальник отдела «Архитектурные решения» ЗАО «Струнные технологии», Минск, Беларусь, e-mail: a.koshelev@unitsky.com

⁴К-т технических наук, учёный секретарь ЗАО «Струнные технологии», Минск, Беларусь, e-mail: v.garanin@unitsky.com

Реферат

Предметом исследования в статье выступают технологии BIM как разновидность информационного моделирования. Представлены краткий обзор развития и применения таких технологий в зарубежных странах и Республике Беларусь; приведены достоинства, недостатки и иные особенности использования BIM. На основе практического опыта проектирования и строительства в научной инженеринговой компании ЗАО «Струнные технологии» (г. Минск, Республика Беларусь) представлены особенности применения технологии BIM при реализации одного из инновационных проектов компании-разработчика на территории Республики Беларусь с точки зрения взаимодействия различных участников процесса при реализации сложных инженерных задач.

Ключевые слова: информационное моделирование зданий, транспортно-инфраструктурный комплекс uST, проект «Юнилайт», инфраструктура второго уровня, макет цифровой, проектирование, строительство, инновационный проект.

UST TRANSPORT AND INFRASTRUCTURE SOLUTIONS AS A PROMISING DIRECTION OF INNOVATIVE DEVELOPMENT

A. E. Unitsky, A. U. Kabakov, A. G. Koshelev, V. N. Garanin

Abstract

The subject of the research in the article is BIM technologies as a kind of information modeling. A brief overview of the development and application of such technologies in foreign countries and the Republic of Belarus is presented; the advantages, disadvantages and other features of using BIM are given. Based on the practical experience of design and construction in the scientific and engineering company Unitsky String Technologies Inc. (Minsk, Belarus), the features of the using of BIM technology in the implementation of one of the innovative projects of the company-developer on the territory of the Republic of Belarus are presented from the point of view of the interaction of various participants in the process in the implementation of complex engineering tasks.

Keywords: Building Information Model, uST transport and infrastructure complex, "Unilight" project, second-level infrastructure, digital layout, design, construction, innovative project.

Введение

Согласно [1] информационное моделирование зданий (BIM) представляет собой цифровое видение физических и функциональных характеристик объекта. BIM – это своего рода общий ресурс знаний для получения информации об объекте, служащий надежной основой для принятия решений в течение всего жизненного цикла объекта (от самой ранней концепции разработки до сноса готового сооружения).

Традиционное проектирование зданий и сооружений на раннем этапе в значительной степени основывалось на двухмерных технических чертежах (планы, фасады, разрезы и т. д.), т. е. с использованием двух координат на плоскости (2D). Информационное моделирование объектов расширяет процесс проектирования за пределы 2D, позволяя увеличить количество показателей проектирования. Так, помимо внедрения в BIM основных пространственных показателей (ширина, высота и глубина), с помощью использования временного показателя в качестве четвертого измерения современный процесс моделирования приобретает 4D-облик, а с использованием стоимости в качестве пятого показателя представляет собой 5D-проектирование.

С недавнего времени начата практика использования шестого измерения (6D) в проектировании, представляющего аспекты окружающей среды и устойчивости зданий и сооружений, и седь-

мого (7D) для управления объектами в течение всего срока службы (несмотря на противоречивость определения этих измерений). Это даёт основание полагать, что BIM на сегодняшний день охватывает больше, чем просто геометрию [2]. Указанные утверждения представим на рисунке 1 в виде развития технологии BIM во времени.

Из рисунка 1 видно, что на начальном этапе использовались инструменты управляемых CAD программ, позволяющих работать в форматах 2D и 3D. Дальнейшее совершенствование программы привело к внедрению дополненных инструментов взаимодействия, обеспечивающих общую среду данных и форматов. Коммерческая часть проектов при этом управлялась независимо и пакеты управления стоимостью проектов не интегрировались в основной процесс, что вызывало некоторые трудности в организации процесса проектирования.

Использование стандарта [3] частично решает указанные трудности. Управляемая 3D-среда содержит в отдельных дисциплинарных «инструментах BIM» уже согласованные объединённые данные, предполагающие ассоциативность чертежей с моделью, а также автоматическое обнаружение недостатков и визуализацию модели с учётом времени планирования и управления строительством.

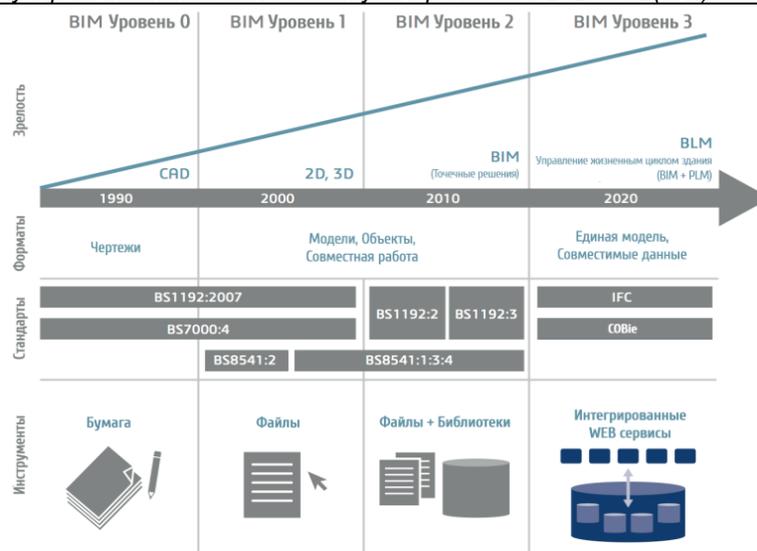


Рисунок 1 – Развитие технологии BIM во времени

Достоинства и особенности использования BIM

Развитие BIM в целом началось во второй половине XX века с «противостояния технологий» в военной отрасли между СССР и США с формата STEP, а более активную стадию совершенствования приобрело в 80–90-е гг. прошлого столетия. В свою очередь, рынок CAD-программ, позволяющих реализовать BIM-технологию, к настоящему времени представлен в основном 4-мя крупными «игроками» (рисунок 2).

- более длительное (по сравнению с 2D-планом) создание базовой модели для работы смежных подразделений;
- первоначальное отсутствие базы элементов (всё нужно делать практически «с нуля»);
- интеграция информационных моделей в уже используемые программные продукты и т. д.

BIM Software for 2006 vs 2020

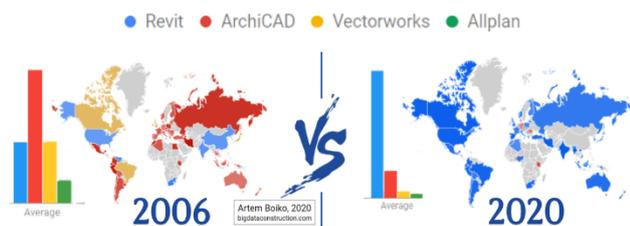


Рисунок 2 – Развитие технологии BIM во времени

Как показывает практика, применение технологии BIM при экспертизе и мониторинге инвестиционных проектов позволяет повысить их качество, сделать работу над проектом прозрачной, а сам проект – более управляемым, что в том числе содействует более рациональному использованию ресурсов. По оценке Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, эффект от представленной технологии позволит: снизить до 40 % вероятность ошибок и погрешностей в проектной документации в сравнении с традиционными методами проектирования; на 20–50 % сократить время на проектирование; в 6 раз уменьшить время на проверку проекта; до 90 % сократить сроки координации и согласования проекта [4]. Также, согласно данным указанного источника, BIM позволит в 4 раза снизить погрешности бюджета при планировании, сократить сроки инвестиционной фазы проекта до 50 %, сроки строительства — на 20–50 %, затраты на строительство и эксплуатацию — до 30 %. В обобщённом виде указанная информация содержится на рисунке 3.

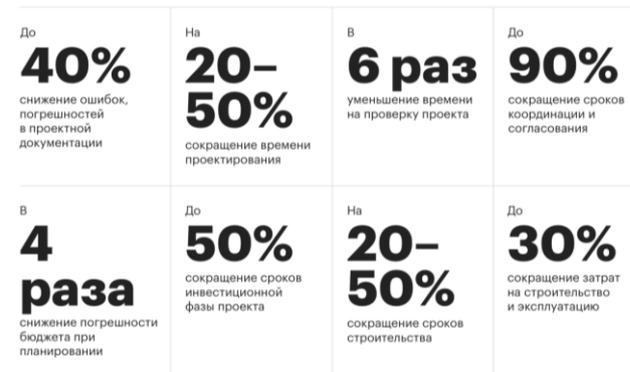


Рисунок 3 – Достоинства использования BIM

Краткий обзор мирового опыта использования технологии BIM

Одними из общепризнанных мировых лидеров в использовании BIM-технологий начиная с 1980-х годов являются Германия и Великобритания. Согласно [5] до 80 % строительных фирм в Германии в настоящее время используют BIM, около 73 % – в Великобритании. В Германии начиная с 2017 года обязательным является использование технологии BIM (BIM-технологии, BIM) для всех проектов стоимостью свыше 100 млн евро. В Великобритании, согласно законодательству, данные технологии обязаны использовать только государственные проекты [6].

Россия добилась значимых результатов во внедрении BIM с момента его первого применения в стране в 2014 году [7, 8]. Вместе с тем трудности внедрения данной технологии не позволяют повысить уровень её использования в стране в целом (в настоящее время это около 12 % по всей стране). Данная ситуация к настоящему времени не изменилась, несмотря на принятие на государственном уровне 15-ти национальных стандартов и 8-и наборов правил для информационного моделирования (иные европейские страны не приняли такого количества правовых актов по стандартизации BIM за указанный период).

Во Франции, с учётом отсутствия к настоящему времени единого стандарта BIM, закреплённого законодательно, около 60 % строительных фирм используют эту технологию [9].

Однако, внедрение любой технологии имеет ряд трудностей. В частности, при переходе на работу с BIM каждая компания сталкивается с рядом проблемных моментов (вопросов), от скорости и качества решения которых зависит результат работы. Среди таких можно выделить следующие:

- необходимость создания новых и перестройки существующих процессов проектирования;
- необходимость совершенствования материально-технической базы предприятия (современная вычислительная техника и т. д.);
- потребность в обучении персонала, создании BIM-отдела для координации работ и поддержки пользователей;

Опыт Республики Беларусь в использовании технологии BIM

Одним из пионеров внедрения информационного моделирования в рабочий процесс в Беларуси является ОАО «Институт Белгоспроект». В 2013 году данный институт был определен базовой проектной организацией, которой предстояло освоить BIM-технологии [10].

Начиная с 2012 года в стране выполнялась реализация отраслевой Программы внедрения информационных технологий комплексной автоматизации проектирования и поддержки жизненного цикла здания, сооружения (2012–2015 гг.), которая ставила своей задачей охватить весь комплекс по управлению жизненным циклом создаваемых объектов: предынвестиционная стадия, проектирование, строительство, эксплуатация, демонтаж [11]. С 1 января 2015 г. в установленном порядке были утверждены категории объектов для обязательного применения BIM в проектировании. В 2016 г. на коллегии Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь была подчеркнута актуальность перехода на цифровые технологии, поставлена задача по обеспечению перехода на проектирование объектов 1 и 2 классов сложности только в 3D-формате (использование BIM-технологий).

В рамках истекшей пятилетки в стране была реализована отраслевая программа информатизации строительного комплекса «Цифровое строительство на 2016–2020 годы», утвержденная постановлением Совета Министров от 23.03.2016 г. № 235.

В целом к настоящему времени в Беларуси с BIM работают многие проектные организации. К их числу можно отнести такие, как ООО «Энека», РУП «Белнипиэнергопром», УП «Белпромпроект», «Минскпроект», «Минскинжпроект» и «Белгипрострой», ОАО Институт «Минскгражданпроект», ОАО «Институт «Гомельпроект» и др.

Таким образом, в республике, как и в мире в целом, уделяется значительное внимание развитию BIM, что также подтверждается в научных трудах авторов [7, 12, 13]. Не является исключением в данной связи научная инженеринговая компания ЗАО «Струнные технологии», которая с начала своего существования благодаря основателю и генеральному конструктору Анатолию Эдуардовичу Юницкому имеет опыт внедрения BIM в строительство реальных объектов – транспортно-инфраструктурных комплексов uST (технологии uST). Ниже представлен анализ особенностей использования информационного моделирования в проектировании и строительстве инновационных транспортно-инфраструктурных комплексов uST.

Применение BIM в ЗАО «Струнные технологии»

На рисунке 4 приведены отдельные характеристики компании ЗАО «Струнные технологии», позволяющие использовать и развивать BIM-технологии.



Рисунок 4 – Отдельные показатели инженеринговой компании ЗАО «Струнные технологии» [14]

В связи с особенностями технологии uST часть указанных на рисунке 5 (инфраструктура транспортного комплекса uST) транспортно-инфраструктурных объектов, в совокупности обеспечивающих штатное функционирование комплекса и безопасное движение беспилотных рельсовых электромобилей на стальных колёсах (юнимобилей), расположена над землёй, на «втором уровне» [15]. При этом эффективная реализация подобных комплексных проектов в настоящее время невозможна без применения BIM-технологий.



Рисунок 5 – Инфраструктура «второго уровня» технологии uST

Ниже рассмотрен один из примеров строительства транспортно-инфраструктурного комплекса uST – проект «Юнилайт», который реализуется в г. Марына горка (Беларусь). При разработке данного проекта была использована BIM-технология, которая, в отличие от подавляющего большинства проектов с использованием такой технологии, имеет параллельную структуру организации процесса проектирование-строительство-эксплуатация.

Это один из первых коммерческих проектов, который в настоящее время реализуется на территории Беларуси (помимо построенных на территории ЭкоТехноПарка в г. Марына Горка шести тестовых проектов с различными типами предварительно напряжённых рельсо-струнных транспортных эстакад). Общий вид реализации проекта «Юнилайт» представлен на рисунке 6.



а)



б)

а – промежуточная поворотная опора; б – монтаж предварительно напрягаемых элементов путевой структуры – арматурных канатов

Рисунок 6 – Общий вид реализации проекта Юнилайт в 2022 г.

Процесс разработки подобного объекта подразумевает комплексную параллельную работу различных подразделений над созданием единого цифрового макета (рисунки 7–8).

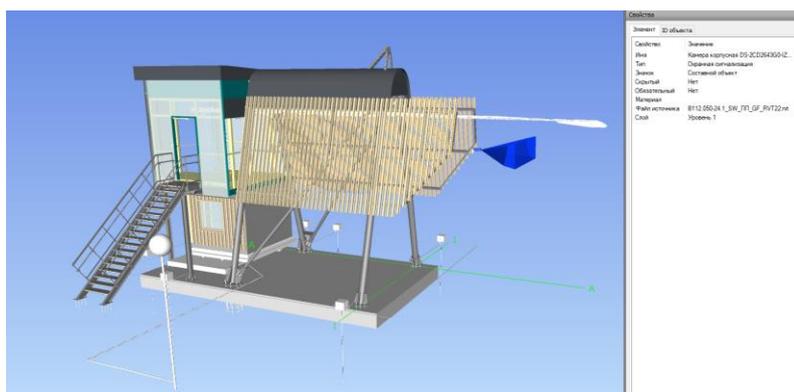
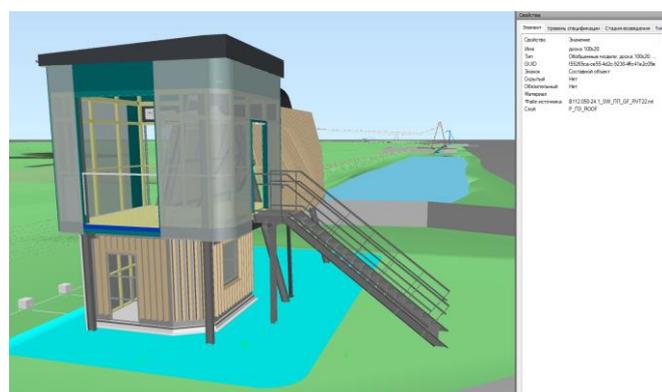


Рисунок 7 – Общий вид BIM-модели анкерной опоры, совмещённой со станцией



а)



б)

а – на примере промежуточной поворотной опоры;
б – на примере анкерной опоры, совмещённой с пассажирской станцией на «втором уровне»

Рисунок 8 – Общий вид BIM-модели линейного объекта

Особенность использования BIM с параллельной структурой (на примере представленного проекта «Юнилайт») заключается в необходимости организации одновременно плотной работы различных структурных подразделений, которые занимаются проектированием, строительством, монтажом и эксплуатацией объекта разработки. С использованием инструментов программных комплексов BIM удалось совместить работу инженеров разных направлений – строителей, технологов, конструкторов рельсовых электромобилей и преднапряжённых транспортных эстакад, проектировщиков транспортно-инфраструктурных комплексов uST и др.). Благодаря этому удалось выявить не менее 19 деталей на стадии проектирования, которые могли бы стать весьма дорогостоящими ошибками при реализации проекта на стадии закупки материалов и составных изделий.

Таким образом, данное взаимодействие имеет свои преимущества, позволяющие оперативно реагировать на меняющиеся условия строительства и монтажа сооружений. Для этого требовалось обеспечить:

- постоянный доступ к актуальным проектным решениям смежных подразделений в режиме реального времени;
- учёт количества изменений макета в связи с параллельной разработкой различных компонентов системы, конструкторским поиском оптимального решения, внесением уточнений в этот процесс заказчиком;
- проверку на сложность изготовления и монтажа некоторых компонентов системы.

Особенности BIM при реализации проекта «Юнилайт»

Проектирование и реализация трудоёмкой системы в рамках данного проекта отлична от традиционной схемы проектирования и строительства, когда участники процесса (заказчик – проектировщик – строитель) поточно выполняют свои функции и шаг за шагом продвигаются к

реализации объекта. На примере проектирования «Юнилайт» сделан обоснованный вывод о том, что состоящие из разных компонентов объекты невозможно выполнить качественно и «за короткие сроки» традиционным способом, подтверждением чему являются:

- наличие горизонтальных усилий, приходящих на анкерную опору (опора, воспринимающие горизонтальные и вертикальные нагрузки), достигающих значений в сотни и даже тысячи тонн, требует тщательной проработки её силовой части, что, в свою очередь, требует необходимости выполнения модели для её расчёта в расчётных программах. Следующим шагом в данном процессе является получение моделей узлов и деталей конструкции, учитывающих геометрические размеры и габариты приближения юнимобиля, которое также находится в разработке;
- описанные выше усилия, приходящие на анкерную опору, передаются через рельсо-струнную путевую структуру, что требует выполнения модели путевой структуры с узлами крепления и анкерения всех предварительно напряжённых элементов её силовой части – струн, корпуса рельса, головки рельса и др.;
- необходимость устройства посадочной площадки для пассажиров на силовой части анкерной опоры, имеющей сложную геометрию; также должны быть учтены габариты приближения рельсового электромобиля, нормы безопасности и эргономики;
- необходимость обслуживания пассажирских юнимобилей в рамках предрейсового осмотра непосредственно на одной из анкерных опор. Выполнение данного требования ведёт к необходимости получения модели, учитывающей габариты и эргономику пространства опоры для обслуживания (со всеми необходимыми инструментами и оборудованием).

Описанные особенности являются не единственными, т. к. при проектировании объекта «Юнилайт» разработчики различных под-

разделений должны взаимодействовать между собой и учитывать специфику работы каждого из них.

Решением указанной задачи является применение при проектировании технологии BIM, результатом которой выступает разработка цифрового макета (макетов) всего транспортно-инфраструктурного комплекса по параллельной структуре, который содержит в себе информацию от всех участников разработки.

Стадии внедрения технологии BIM в компании ЗАО «Струнные технологии»

Для решения сложных инженерных задач проектирования комплекса uST при помощи технологии BIM компания прошла ряд шагов, которые позволили выйти на этапы строительства. Такими шагами были:

1. Внедрение технологии BIM в проектирование объектов.
2. Адаптация опыта к проектированию транспортно-инфраструктурных объектов.
3. Наработка опыта и налаживание основных процессов.
4. Решение проблем внедрения.

На первом этапе, в 2017 году, руководством компании было принято решение о внедрении технологии информационного моделирования при проектировании всех новых объектов. На данном этапе сразу выявились следующие проблемы внедрения:

- Низкий уровень владения специальными программными комплексами специалистами, которым необходимо освоить работу с новыми программными пакетами.
- Материальная проблема – программные комплексы для информационного проектирования потребляют больше ресурсов компьютерной техники, которую нужно модернизировать.
- Проблема отсутствия нормативно-технической базы.
- Возрастание издержек на внедрение на первом этапе (стоимость лицензии ПО, большие затраты времени специалистов по сравнению с традиционным проектированием).
- Отсутствие мотивации специалистов в связи с тем, что технология внедряется директивным способом.

Проект «Юнилайт» позволил в первую очередь наладить все процессы по внедрению BIM в компании и сформировать основные требования и правила для её освоения. При этом на первом этапе:

- был создан сервер, на котором происходила работа и хранение BIM-моделей проектов;
- создана универсальная система папок для проекта, которая позволила хранить в порядке все имеющиеся модели;
- был сформулирован стандарт организации, в котором по аналогии с ГОСТ были зафиксированы общие правила моделирования, оформления, наименования и другие общие для всех участников разработки унифицированные правила;
- важным аспектом являлась также разработка шаблонов для разных разделов проектной документации и инструкций к их применению;
- создан информационный портал, на котором размещается актуальная информация и инструкции по информационному проектированию.

На втором этапе выработанный опыт прошёл адаптацию к возможным будущим разработкам транспортно-инфраструктурных проектов. На данном этапе были выработаны следующие решения:

- разработана методика координации сооружений на площадке проектирования с учётом их глобальных координат на местности, а также их высотного положения;
- разработаны шаблоны для проектирования за пределами Беларуси;
- опытным путем определена методика взаимодействия с трёхмерными моделями путевой структуры и моделями подвижного состава, инженерного и технологического оборудования.
- разработана методика проверки на ошибки объектов транспортно-инфраструктурного комплекса uST.

На третьем этапе после применения технологии информационного проектирования были выработаны следующие основные процессы:

- создание цифрового макета от стадии эскиза до стадии детальной разработки, включающая начало проектирования, сбор исходных данных, передача заданий между участниками, менеджмент и управление;
- внесение изменений в цифровой макет и система оповещения об изменениях;

- выпуск чертежей, рабочей модели Navisworks с прикрепленными к ней чертежами в электронном виде;
- архивация и хранение данных.

На четвёртом этапе был проведён SWOT-анализ проблем и ошибок внедрения и их решение. Так, были выявлены следующие проблемы:

- слабая разъяснительная работа на ранних этапах директивного внедрения, связанная с тем, что специалистам, имеющим большой опыт проектирования, освоение новых методик кажется замедлением и «отскоком» назад;
- отсутствие интереса со стороны подрядных и эксплуатирующих организаций ввиду того, что несмотря на информационное моделирование, они всё равно остаются потребителями чертежей на бумажном носителе.

Основным решением этих проблем стали проведение обучения и информирование о перспективах и преимуществах применения технологии информационного проектирования.

Наряду с выявленными проблемами были получены и позитивные результаты внедрения на предыдущих этапах:

- Повышение качества проектных решений. Основой повышения качества стало то, что при информационном проектировании специалист видит общую картину на разрабатываемом объекте в трёхмерном виде, а также все разработки смежных специальностей. Это даёт специалисту больше данных для принятия решений и снижает риски появления ошибок.
- Контроль качества «здесь и сейчас». Все участники процесса проектирования оценивают в режиме реального времени работу друг друга и могут оповещать о возникшей некачественной работе.
- Выявлено 30 %-ное сокращение сроков разработки объектов по сравнению с аналогичными объектами, которые проектировались без использования технологии информационного моделирования (до проекта «Юнилайт»).
- Качественное сочетание строительной части, путевой структуры и транспортных средств, что дало возможность передавать на стройку полную информацию о транспортном комплексе контролировать ход строительства.
- Детальный и быстрый анализ на ошибки всего транспортного комплекса, их выявление и устранение на стадии проектирования, до реализации и исправления на стройплощадке.

Заключение

С учётом представленной в настоящей статье информации, анализа использованных источников [7, 12, 13, 14] и практического опыта использования авторами BIM-технологий сделан вывод о том, что применение таких технологий в целом имеет ряд неоспоримых преимуществ, позволяющих:

- сокращать время проектирования и строительства объектов и тем самым оптимизировать финансовые потоки, уменьшая сроки и стоимость их строительства;
- на ранних этапах оценивать объёмы материальных ресурсов и работ, стоимость строительства;
- иметь возможность проводить проверку в пространственно-временной коллизии на стройплощадке, анализировать и оптимизировать использование машин и механизмов;
- создавать концептуальную 3D-модель, позволяющую визуализировать объект и в максимальной степени соответствовать ему в будущем виде;
- проводить симуляцию процесса строительства, создавать графики строительства, оптимизировать время работы дорогостоящей строительной техники, определять сроки участия в проекте субподрядчиков, оптимизировать объёмы материальных ресурсов и т. д.
- повышать качество и конкурентоспособность выпускаемой продукции, снижать стоимость строительно-монтажных работ по проекту (объекту).

Таким образом, пример реализации проекта «Юнилайт» компанией ЗАО «Струнные технологии» с использованием технологий BIM (с параллельной структурой), уже сейчас можно обозначить следующие ориентиры:

- а) применение на начальных этапах проектирования съёмку облака точек. Имея сложные городские условия в любой точке мира, при помощи облака точек, можно вписать транспортный комплекс наиболее рационально и целесообразно;

б) автоматизация рутинных процессов с применением инструментов программирования;

в) интеграция процессов менеджмента и моделирования на этапах проектирования, строительства и эксплуатации объектов;

г) применение цифровых моделей для прогнозирования пассажиропотока, аварийных ситуаций, проведения модернизаций, моделирования беспилотного управления, виртуальная эксплуатация объекта до его запуска.

Список цитированных источников

1. Frequently Asked Questions About the National BIM Standard-United States. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://web.archive.org/web/20141016190503/http://www.nationalbimstandard.org/faq.php#faq1>. – Data of access: 10.11.2022.
2. BIM. Википедия: свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/BIM>. – Дата доступа: 05.11.2022.
3. Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information Modeling : PAS 1192-2:2013. – 2013. – 68 p.
4. Что такое BIM и зачем новые технологии нужны девелоперам и госструктурам. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://realty.rbc.ru/news/5ca1ceff9a794758d0568b37>. – Дата доступа: 29.11.2022.
5. Романова, О. BIM-технология: уровень распространения в 7 ведущих странах / О. Романова [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.planradar.com/ru/bim-tehnologiya-uroven-rasprostraneniya-v-7-stranah>. – Дата доступа: 29.11.2022.
6. National BIM Report 2019 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.thenbs.com/knowledge/national-bim-report-2019>. – Дата доступа: 14.11.2022.
7. Применение BIM-технологий при проектировании и реконструкции зданий и сооружений / К. С. Петров [и др.] // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 4 – С. 6.
8. Внедрение BIM-технологий в строительство [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://alfabuild.spbstu.ru/userfiles/files/AlfaBuild/AlfaBuild_2019_11/11_5.pdf. – Дата доступа: 04.12.2022.
9. Germany poised to snatch UK's crown as European BIM leader [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.building.co.uk/news/germany-poised-to-snatch-uks-crown-as-european-bim-leader/5112479.article>. – Дата доступа: 04.12.2022.
10. BIM-технологии – ключ к еще более эффективному строительству [Электронный ресурс] Официальный сайт Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Режим доступа: http://mas.gov.by/ru/news_ru/view/bim-technologie-klyuch-k-esche-bolee-effektivnomu-stroitelstvu-1490. – Дата доступа: 24.11.2022.
11. Об утверждении отраслевой программы по разработке и внедрению информационных технологий комплексной автоматизации проектирования и поддержки жизненного цикла здания, сооружения на 2012–2015 годы : постановление М-ва архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, от 31 янв. 2012 г., № 4 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2012. – № 2/1742.
12. Состровчук, С. С. Применение BIM-технологий при проектировании зданий и сооружений в Республике Беларусь / С. С. Состровчук, Г. В. Земляков // Инновации в бетоноведении, строительстве производстве и подготовке инженерных кадров: сборник статей по материалам Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения И. Н. Ахвердова и С. С. Атаева, Минск, 9–10 июня 2016 г. : в 2 ч. / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: Э. И. Батыновский, В. В. Бабицкий. – Минск, 2016. – Ч. 2. – С. 133–138.
13. Шалобыта, Н. Н. Мировой и отечественный опыт нормирования в области информационного моделирования зданий и сооружений / Н. Н. Шалобыта, О. А. Акулова, Е. Н. Шалобыта // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2022. – № 1 – С. 53–61.
14. Транспортно-инфраструктурные решения Unitsky String Technologies Inc. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ust.inc>. – Дата доступа: 20.11.2022.
15. Юницкий А. Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе / А. Э. Юницкий. – Силакрос : «ПНБ принт», 2019. – 576 с.

References

1. Frequently Asked Questions About the National BIM Standard-United States. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://web.archive.org/web/20141016190503/http://www.nationalbimstandard.org/faq.php#faq1>. – Data of access: 10.11.2022.
2. BIM. Vikipediya: svobodnaya enciklopediya [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://ru.wikipedia.org/wiki/BIM>. – Data dostupa: 05.11.2022.
3. Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information Model-ing : PAS 1192-2:2013. – 2013. – 68 p.
4. CHto takoe BIM i zchem novye tekhnologii nuzhny developeram i gosstrukturam. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://realty.rbc.ru/news/5ca1ceff9a794758d0568b37>. – Data dostupa: 29.11.2022.
5. Romanova, O. BIM-tehnologiya: uroven' rasprostraneniya v 7 vedushchih stranah / O. Romanova [Elektronnyj resurs]. – Re-zhim dostupa: <https://www.planradar.com/ru/bim-tehnologiya-uroven-rasprostraneniya-v-7-stranah>. – Data dostupa: 29.11.2022.
6. National BIM Report 2019 [Elektronnyj resurs]. – Rezhim do-stupa: <https://www.thenbs.com/knowledge/national-bim-report-2019>. – Data dostupa: 14.11.2022.
7. Primenenie BIM-tehnologij pri proektirovanii i rekon-strukcii zdaniy i sooruzhenij / K. S. Petrov [i dr.] // Inzhe-nernyj vestnik Dona. – 2018. – № 4 – S. 6.
8. Vnedrenie BIM-tehnologij v stroitel'stvo [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: https://alfabuild.spbstu.ru/userfiles/files/AlfaBuild/AlfaBuild_2019_11/11_5.pdf. – Data dostupa: 04.12.2022.
9. Germany poised to snatch UK's crown as European BIM leader [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.building.co.uk/news/germany-poised-to-snatch-uks-crown-as-european-bim-leader/5112479.article>. – Data dostupa: 04.12.2022.
10. BIM-tehnologii – klyuch k eshche bolee effektivnomu stroi-tel'stvu [Elektronnyj resurs] Oficial'nyj sayt Minister'stva arhitekturny i stroitel'stva Respubliki Belarus'. – Rezhim dostupa: http://mas.gov.by/ru/news_ru/view/bim-technologie-klyuch-k-esche-bolee-effektivnomu-stroitelstvu-1490. – Data dostupa: 24.11.2022.
11. Ob utverzhdenii otraslevoj programmy po razrabotke i vnedreniyu informacionnyh tekhnologij kompleksnoj avto-matizacii proektirovaniya i podderzhki zhiznennogo cikla zdaniya, sooruzheniya na 2012–2015 gody : postanovlenie M-va arhitekturny i str-va Resp. Belarus', ot 31 yanv. 2012 g., № 4 // Nac. reestr pravovyh aktov Resp. Belarus'. – 2012. – № 2/1742.
12. Sostrovchuk, S. S. Primenenie BIM-tehnologij pri proekti-rovanii zdaniy i sooruzhenij v Respublike Belarus' / S. S. Sostrovchuk, G. V. Zemlyakov // Innovacii v betonovedenii, stroitel'nom proizvodstve i podgotovke inzhenernyh kadrov: sbornik statej po materialam Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, posvyashchennoj 100-letiyu so dnya rozhdeniya I. N. Ahverdova i S. S. Ataeva, Minsk, 9–10 iyunya 2016 g. : v 2 ch. / Belorusskij nacional'nyj tehnikeskij uni-versitet ; redkol.: E. I. Batyanskiy, V. V. Babickij. – Minsk, 2016. – CH. 2. – S. 133–138.
13. SHalobyta, N. N. Mirovoj i otechestvennyj opyt normirova-niya v oblasti informacionnogo modelirovaniya zdaniy i sooruzhenij / N. N. SHalobyta, O. A. Akulova, E. N. SHalobyta // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo univer-siteta. – 2022. – № 1 – S. 53–61.
14. Transportno-infrastrukturnye resheniya Unitsky String Technologies Inc. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://ust.inc>. – Data dostupa: 20.11.2022.
15. YUnickij A. E. Strunnye transportnye sistemy: na Zemle i v Kos-mose / A. E. YUnickij. – Silakrogs : «PNB print», 2019. – 576 s.

Материал поступил 04.03.2023, одобрен 08.03.2023, принят к публикации 27.03.2023

ГЕОЭКОЛОГИЯ

UDC 911.143 (476)

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF LARGE-SCALE MELIORATION OF THE BELARUSIAN POLESIE ON THE THERMAL REGIME OF SOILS

A. A. Volchak¹, V. V. Borushko²

¹ Doctor of Geographical Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Engineering Systems and Ecology of the UO «Brest State Technical University», Brest, Belarus, e-mail: volchak@tut.by

² Master of Physics.-Mat. of Sciences, PhD student of OE «Brest State Technical University», Brest, Belarus, e-mail: vadim79@tut.by

Abstract

The article presents the results of modelling of heat distribution in the soil at different dehumidification standards. The method of mathematical modelling for obtaining the temperature profile of soils, which allowed to estimate the change of temperature and thermal regimes of the drained lands of Belarusian Polesie, has been proposed. The results obtained help to ensure optimal microclimatic conditions for the use of reclaimed land in agriculture.

Keywords: Belarusian Polesie, peat-bog soil, derm-podzolic soil, melioration, temperature, heat capacity, amount of heat

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КРУПНОМАСШТАБНОЙ МЕЛИОРАЦИИ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ НА ТЕПЛОВЫЙ РЕЖИМ ПОЧВ

А. А. Волчек, В. В. Борушко

Реферат

В статье приведены результаты моделирования распространения тепла в почве при различных нормах осушения. Предложена методика математического моделирования для получения температурного профиля почв, которая позволила дать оценку изменению температурного и теплового режимов осушенных земель Белорусского Полесья. Полученные в работе результаты способствуют обеспечению оптимальных микроклиматических условий для использования мелиорированных земель в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: Белорусское Полесье, торфяно-болотная почва, дерново-подзолистая почва, мелиорация, температура, теплоёмкость, количество теплоты.

Introduction

The large-scale reclamation of Belarusian Polesie in the second half of the 20th century solved the problem of a complex of organizational-economic and technical measures to ensure the production of agricultural products by optimizing the water-air regime. As practice has shown, the reclamation in general has solved its tasks, but has had a significant impact on natural ecosystems, including the thermal regime of the territories.

The thermal regime, together with the water-air regime, mainly determine the agricultural productivity of the land. For this reason, the study of the laws of formation of the thermal regime of soils is one of the topical tasks of agriculture. Targeted management of this process will help to increase yields and improve the quality of cultivated crops.

Although the microclimate has a significant impact on crop growth and yield, insufficient attention is being paid to this factor. Fertilizer application, new varieties, weed control, etc. are generally considered. [1-3].

Belarusian Polesie is located within the Brest and Gomel regions, with an area of drained land of 7,315.9 and 1,415.5 thousand hectares respectively. This represents about 19% of all the lands of these regions [4], the main part of which is located on the territory of the Belarusian Polesie.

Agricultural expansion is not feasible in the short term, so intensification of crop yields is a priority. Of course, the main factor in its improvement, in addition to the quality of seeds and fertilizer application, is the amount of heat that falls on the soil surface, as well as the moisture supply of the root layer.

The nature of changes in the thermal regime of drained and uncultivated areas is different and is determined by both climatic factors and the degree of reclamation [5, 6]. In the first place, the coefficient of thermal conductivity varies from 0.1 W/(m⁰K) for dry peat to 0.5 W/(m⁰K) for

humidified [7]. Due to better thermal conductivity, the lower layers of moist soil are warmer and hold the heat longer when the ambient temperature decreases.

Moist soil, due to the presence of water, has a higher heat capacity than drained, which contributes to the accumulation of more heat.

The main source of heat is the radiant energy of the sun. Absorbed by the soil, it is converted into heat, which is transmitted to the lower horizon or returned to the atmosphere, respectively, through the phenomena of thermal conductivity or thermal radiation and reflection [8]. The difference between the energy absorbed and the energy emitted is the energy that goes into heating the Earth's surface. As the temperature gradient between the upper and lower soil increases, more heat is spread to the lower layers [9].

Depending on the heat capacity, the soil accumulates a certain amount of heat. As the heat transfer process from the top to the bottom layers is rather slow, the excess energy will be further reflected into the atmosphere. As a result, the ground layer of air is heated more strongly, resulting in its movement to a lower pressure area. Thus, these air masses carry with them thermal energy from the drained territories [10].

The purpose of this study is to assess the change in the thermal regime of the reclaimed lands of Belarusian Polesie.

Research methods and baseline data

The study is based on the solution of the radiation balance equation, which forms the thermal regime of soils. The radiation balance is a variation of the law of energy conservation with its alterations and transformations to a specific area of soil. Figure 1 shows the heat exchange scheme between the earth and the environment [11].

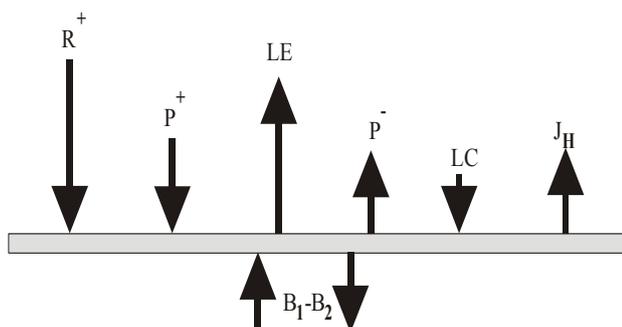


Figura 1 – Heat exchange scheme

The law of energy conservation in the heat exchange process occurs in accordance with the above scheme and is recorded as [11, 12]:

$$R^+ + P^+ + B_1 - B_2 = L \cdot E + P^- + J_H - L \cdot C, \quad (1)$$

where R^+ - radiation balance - the difference between absorbed short-wave (direct and scattered) radiation of the Sun and the balance of long-wave radiation (radiation of the Earth surface minus anti-radiation of the atmosphere) in the daytime and partly in the twilight hours of the day; P^+ - positive component of turbulent heat exchange - heat that enters the land area due to air movement - advective heat; $B_1 - B_2$ - change of heat reserves in the active soil layer - heat exchange in the soil; LE - heat consumption for total evaporation; P^- - heat consumption for air heating - turbulent heat exchange; J_H - long-wave (effective) radiation of the earth surface in the night hours of day; LC - heat condensation; L - latent heat of water evaporation.

Equation (1) is greatly simplified if the following symbols are adopted:
- thermal power resources

$$L \cdot E_0 = R^+ + P^+ + B_1 - B_2, \quad (2)$$

- total heat exchange

$$T = P^- + J_H - L \cdot C. \quad (3)$$

Then it will appear:

$$L \cdot E_0 = L \cdot E + T. \quad (4)$$

The E_0 value is equivalent to the heat energy resources of the heat exchange process (evaporation) and is expressed in the water layer thickness, which can evaporate when all heat resources are applied to the process. The T value is the total heat exchange for the heating of the ground air and for the night effective radiation of the Earth's surface, partially compensated by the anti-radiation of the atmosphere and the heat condensation of air vapors on the refrigerated elements of the Earth's surface [11, 12].

Water discharge during drainage directly or indirectly affects all components of the radiation balance. The exception is the annual average R^+ radiation balance, which is stable for the area.

Thermal conductivity equation [13, 14, 15] was used to describe the regularities of soil temperature profile formation:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right), \quad (5)$$

where ρ - density, kg/m³; C_p thermal capacity, J/(mol⁰K); k - thermal conductivity, W/m⁰K; T - temperature, ⁰K; ∇ - Hamiltonian.

Numerical modelling of the thermal regime of soils [16] is limited to calculation of the profile distribution of their temperatures [17]. The temperature at a given depth can be determined experimentally using mod-

ern thermal sensors [18, 19]. In practice, the use of these methods is difficult, as it requires a lot of equipment and measurements. At the same time, there are other methods for estimating soil heat at given depths, for example, through known soil surface temperature [20]. However, it is problematic to obtain a thermal conductivity function using the thermal wave method for large areas.

The solution to the above problem is mathematical modelling. To do this, it is necessary to determine the initial climatic conditions, which in turn will allow to calculate the temperature profile of the soil and to calculate the amount of heat accumulated by it.

In order to quantify the change in the heat intensity of soils, a numerical experiment has been carried out according to the following scheme: elementary volume of soils in 5 m³ with dimensions of 1 m - width, 1 m - length and 5 m - depth; the chosen value of depth with reserve corresponds to the level, at which the temperature fluctuations associated with the degree of warming of the air by sunlight cease [21].

The study considered models of the two most common soils: peat-wetland, consisting of an upper layer of peat, 2 meters deep, and a lower layer of sand, 3 meters deep; sodium-subtidal, which includes an upper layer of sand, 1 meter deep, and the bottom layer of coarse-grained sand, 4 meters deep. Since the largest area of the Belarusian Polesie occupies dernovo-subtidal soils (more than 35%), then there are dernovo-subtidal wetlands (about 27.5%) and peat-bog (about 20%) [22].

For sod-subtidal soils, calculations were made at different groundwater levels (UHF): 0 m, 0.4 m, 0.8 m and 1 m.

The numerical solution of the mathematical model is obtained by finite element method [23].

On the basis of specialized software, a model of heat transfer in soil was created and its warming dynamics under natural conditions was investigated. [24].

The data were based on meteorological information on the Poleskaya meteorological station, which is located in the center of Belarusian Polesie and is representative for the region [25]. The air temperature was assumed to be the average multi-annual value for a given day at 19:00, which is the average temperature on the day in question.

Using the above method, a numerical experiment was performed to construct a temperature profile of soils for the following boundary conditions:

1. On the upper surface of the soil, the heat flux equals the average monthly solar radiation flow per unit area of the horizontal surface.
2. The condition of thermal stabilization at 9.1 °C [26] is set on the lower surface of the soil to the average annual temperature above the surface [27].
3. Convective heat exchange [12] was also specified on the soil surface:

$$\nabla(-k\nabla T) = 0. \quad (6)$$

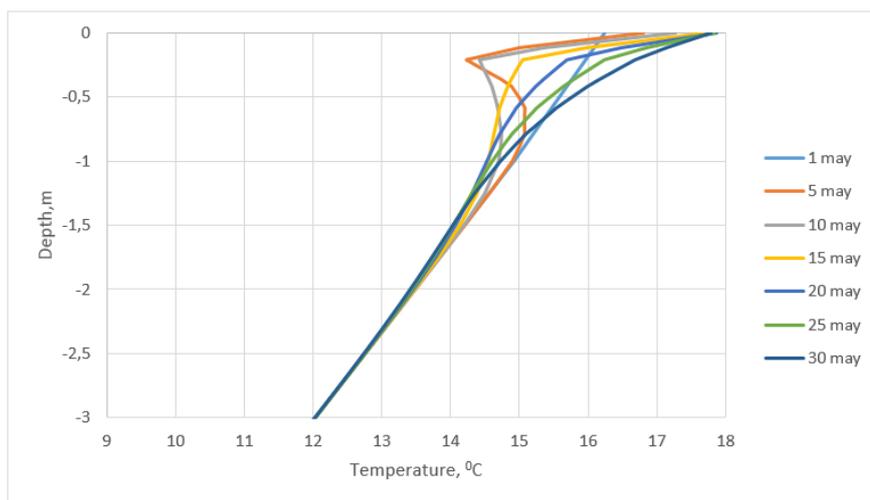
4. Thermal insulation conditions were applied on the lateral boundaries of the allocated volume.
5. Evaporation from the soil surface was defined as a change in the internal energy of the water during evaporation by the formula [28]:

$$Q = Lm - \nu RT, \quad (7)$$

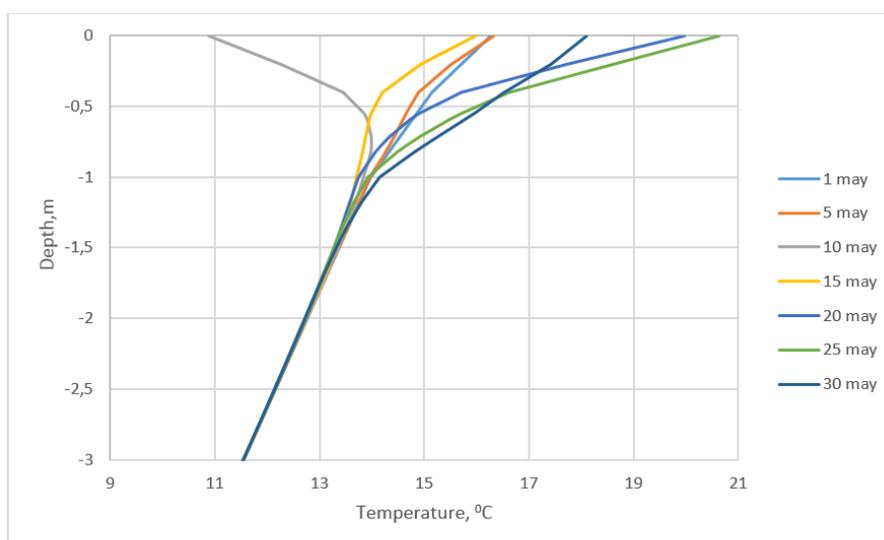
where L is the specific heat of vapor formation, J/kg; m is the mass of evaporated water, kg; ν is the quantity of the substance of evaporated water, mole; T is the air temperature, ⁰K; R is the molar gas constant, J/mol⁰K.

Results and their discussion

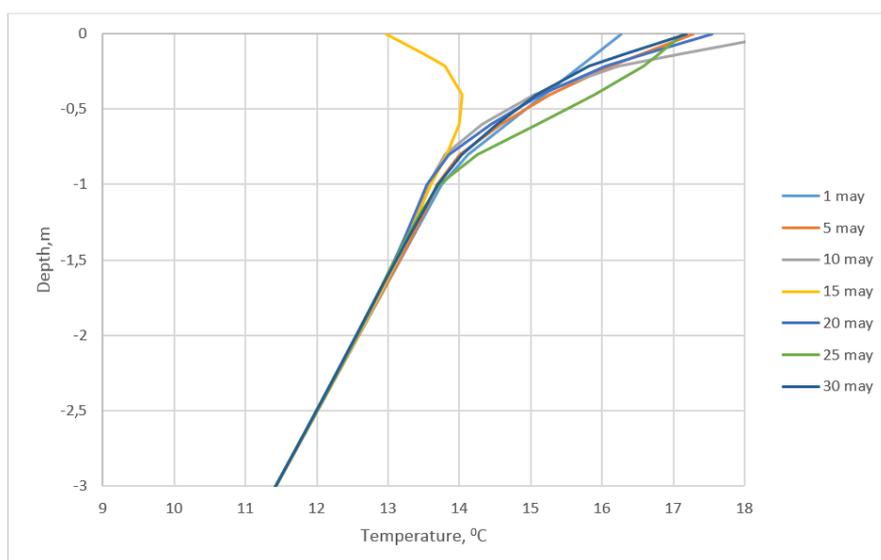
As a result of the numerical experiment the soil temperature is distributed over the entire thickness of the simulated system with an averaging interval of 24 hours from May to October inclusive. As an example, figure 1 shows the dependency charts for the month of May.



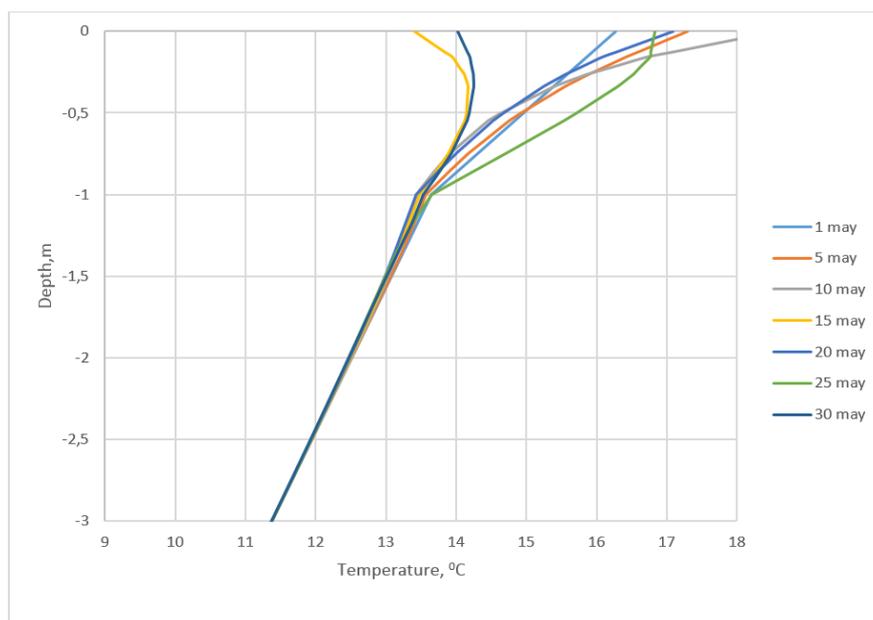
a)



b)



c)



d)

a) without drainage; b) with drainage at 0.4 m; c) with drainage at 0.8 m;
d) with drainage at 1 m

Figure 2 – Temperature distribution of sod-podzolic soil by depth for selected days

These graphs show that for drained land, the degree of dependence of soil heating in the surface layer is quite dependent on atmospheric temperature. For desiccated soils, the temperature variation over a month is 4°C; for desiccated soils, the temperature is about 8°C. This is due to the discharge of water from the root soil, which has a higher heat capacity than air.

On the graph for unspoiled soil, there are practically no temperature variations at a depth of about 1.5 m, and for drained soil this occurs at a

depth of about 0.8 m. A similar picture is observed for the remaining months under consideration.

Consider the graphs in Fig. 3 showing the soil temperature distribution by depth for one day. The 1st of May was taken as an example. It follows that in the dried soil, when approaching the surface, the temperature grows at a higher rate than in the soil without drying. The temperature rise rate is seen to be at the upper level of the groundwater.

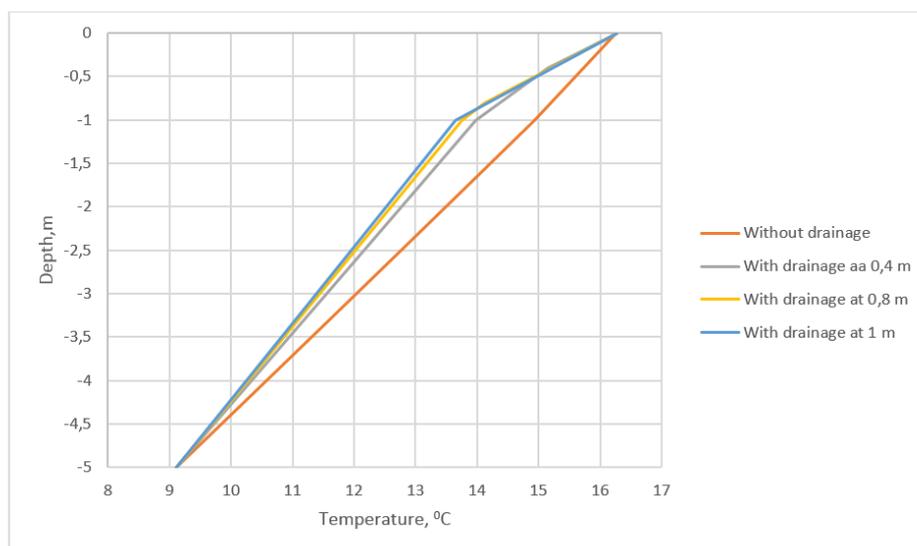
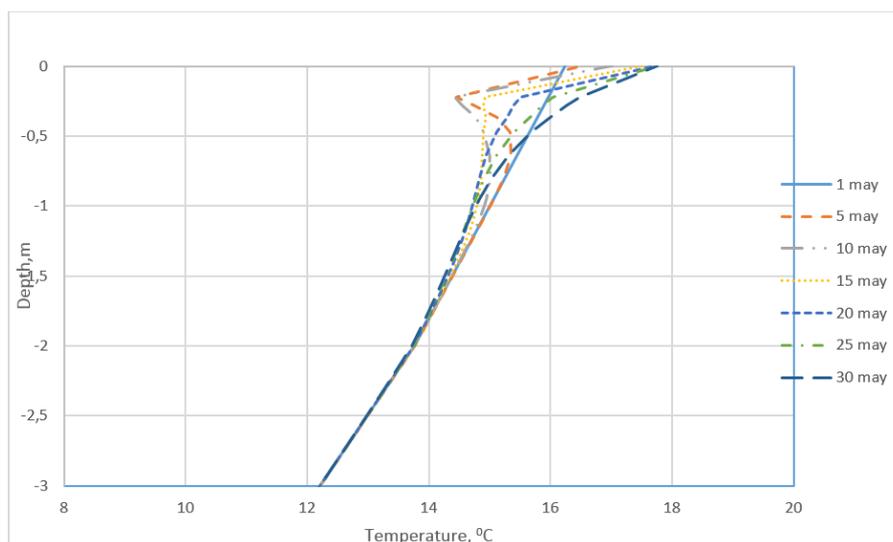


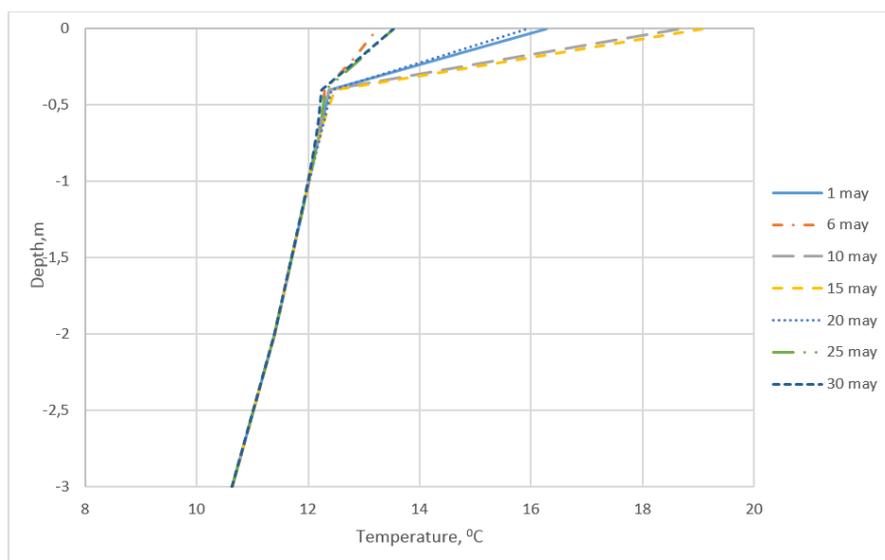
Figure 3 – Depth distribution of soil temperature for the 1st of May

For peat-bog soils, calculations were made for UGV levels of 0 m, 0.4 m and 0.8 m. Boundary conditions were chosen similar to those for dermis-subtidal soils.

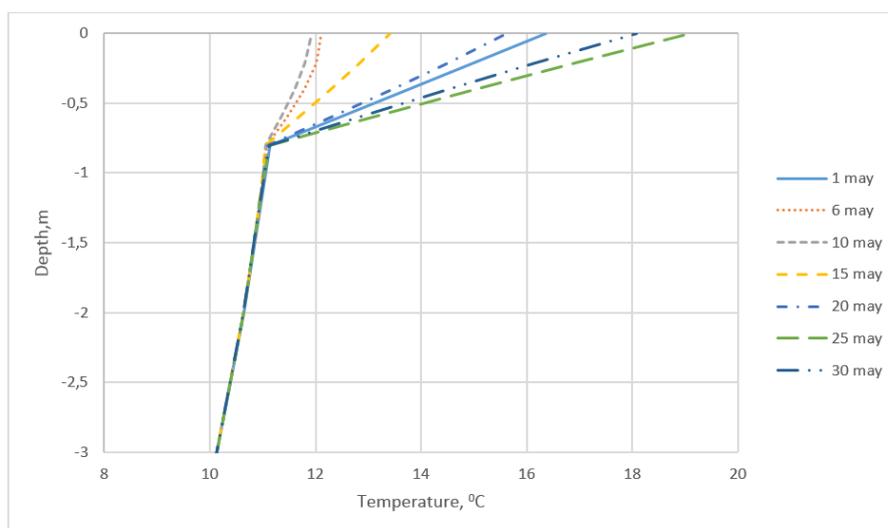
As a result of the numerical experiment the temperature distribution over the entire thickness of the daily system under consideration was obtained from May to October.



a)



b)



c)

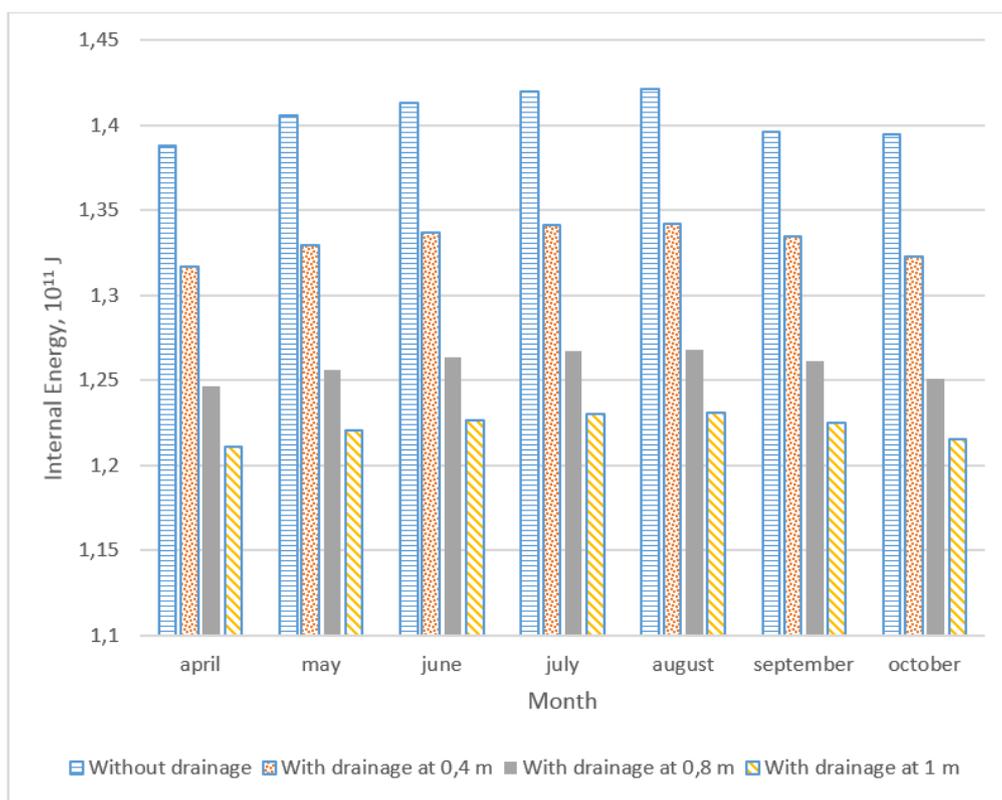
a) without drainage; b) with drainage at 0.4 m; c) with drainage at 0.8 m
Figure 4 – Temperature distribution of peat-marsh soil for selected days

Depending on soil properties at depths of 0.35 m to 1 m, daily fluctuations in soil temperature are attenuated [29]. So for the soil without drying, fluctuations of temperature values are practically not observed at a depth of about 1 m, and for the drained this happens already at a depth of about 0.8 m.

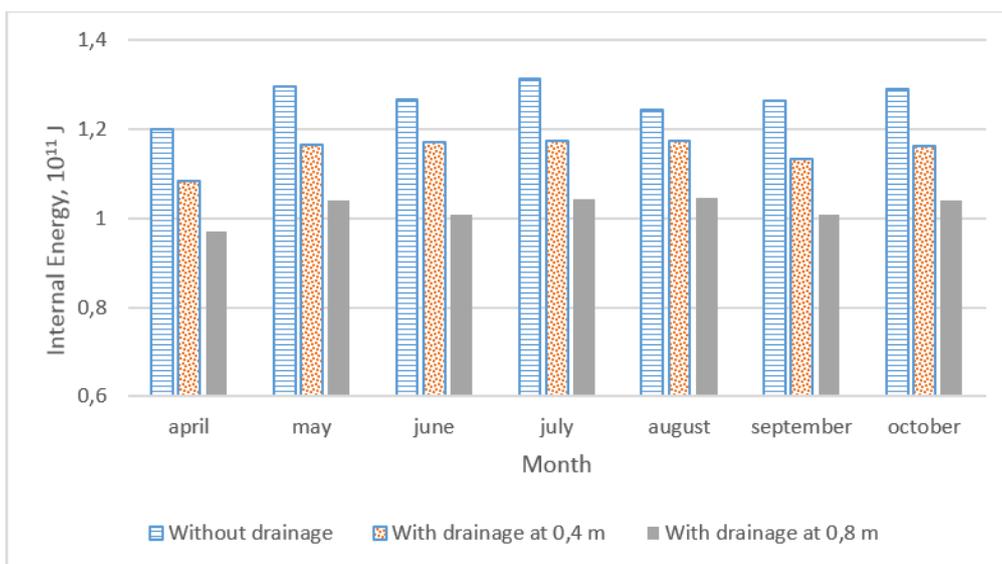
In the soil without drying, temperature variations begin to occur at a depth of approximately 2.5 m. As the surface approaches, the temperature rises evenly. At a depth of 2.5 m in the studied model lies a layer of constant temperature. But its jumps, which are observed on some days at a depth of about 0.2 m, are associated with the inertia of the process of heating the soil.

When the UGV is reduced by 0.8 m, ambient temperature variations have a significant influence on soil temperature already at the upper water level.

During the drainage process, as shown in the diagrams in Fig. 5, the amount of heat accumulated by the soil decreases with the decrease of the UGV. For dermal-subtidal soils, the energy difference before water discharge and with 0.8 m drainage reaches a maximum in August of $1.53 \cdot 10^{10} \text{ J}$. For peat-wetlands, this value is the highest in July (2.710^{10} J), with the same dehumidification rate. In this way, dermal-sprinkled soils are more resistant to heat loss during drying.



a)



b)

a) Dermal-subtidal soils, b) Peat-wetlands

Figure 5 – Accumulated energy

Thus, when draining the marshes together with water, a large amount of energy is taken, which is about 10^{10} J with 1 m^2 or 10^6 J per hectare. If we consider that the Belarusian Polesie, whose area is about 5 million hectares [9], is drained completely, the amount of heat that is missing the soil of the region during the growing season will be about 10^{16} J. For comparison: the installed capacity of the generation sources of the Republic of Belarus is 10 073.99 MW, which is $8.7 \cdot 10^{14}$ J per day or $2.4 \cdot 10^{12}$ J per year [30].

Conclusion

The reduction of the average heat capacity and thermal conductivity of the soil due to the reduction of its moisture content leads to a decrease in the amount of heat stored by the soil. This can lead to late frosts in spring and early autumn, which also do not contribute to increased crop yields. At the same time, the topsoil is re-dried and the growing conditions are unfavorable.

Therefore, when developing plans for the management of land reclamation systems, planning of crop rotation, selection of agro-technical methods of cultivation of crops, it is necessary to take into account the processes of heat redistribution in the soil.

References

- Zhuravlyov, M. Z. Plodorodie nizinnih bolot podtayochnoj zony lrysh-Ishimskogo mezhdurech'ya i nekotorye voprosy ih sel'skohozyajstvennogo ispol'zovaniya / M. Z. Zhuravlyov // Nauch. tr. OmSKHI. – Omsk, 1963. – T. 1. – S. 61–70.
- Motorin, A. S. Plodorodie torfyanyh pochv Zapadnoj Sibiri / A. S. Motorin // Melioraciya i vodnoe hozyajstvo. – 2020. – № 1. – S. 16–22.
- Kurchevskij, S. M. Sravnitel'naya ocenka peskovaniya i glinovaniya dlya povysheniya produktivnosti torfyanyh pochv / S. M. Kurchevskij, E. I. Podnebesnaya // Agrohimicheskij vestnik. – 2013. – № 2. – S. 27–28.
- Gosudarstvennyj zemel'nyj kadastr Respubliki Belarus' (po sostoyaniyu na 1 yanvara 2021 g.) Komitet po zemel'nym resursam, geodeziya i kartografiya. – Minsk, 2021.
- Mazhajskej, Yu. A. Povyszenie produktivnosti melkozaleznyh torfyanyh pochv pri vnesenii mineral'nyh dobavok / Yu. A. Mazhajskej, S. M. Kurchevskij // Agrohimicheskij vestnik. – 2015. – № 1. – S. 15–17.
- Iglovikov, A. V. Fiziko-himicheskie svojstva i pitatel'nyj rezhim narushennyh gruntov Krajnego Severa pri biologicheskoj rekultivacii / A. V. Iglovikov, A. S. Motorin // Agrarnyj vestnik Urala. – 2012. – № 7 (99). – S. 66–72.
- Dobrynin, V. M. Petrofizika (Fizika gornyh porod): Ucheb. dlya vuzov. 2-oe izd. pererab. i dop. pod red. D. A. Kozhevnikova. – M.: FGUP Izd-vo «Nef' i gaz» RGU nefti i gaza im. I. M. Gubkina, 2004. – 368 s.
- Kormilicina, O. V. Pochvovedenie / O. V. Kormilicina [i dr.]; pod obshch. red. V. A. Rozhkova. – M.: Izd-ij dom «Lesnaya promyshlennost'», 2006. – 272 s.
- Prirodoobustrojstvo Poles'ya: monografiya: v 4 kn. / pod obshch. nauch. red. Yu. A. Mazhajskego [i dr.]. Brest; Rovno; Varshava; Ryazan': Meshcherskij filial VNIIGiM im. A. N. Kostyakova, – 2019. – Kn. 1 : Belorusskoe Poles'e. – T. 2 : Preobrazovanie i ispol'zovanie prirodnyh resursov. – 503 s.
- Habutdinov, Yu. G. Uchenie ob atmosfere: uchebnoe posobie / Yu. G. Habutdinov, K. M. Shantalinskij, A. A. Nikolaev. – Kazan' : gos. un-t, 2010. – 257 s.
- Volchek, A. A. Gidravlika, gidrologiya, gidrometriya: uchebnoe posobie / pod obshch. red. A. A. Volcheka, P. V. Shvedovskogo, N. N. Sheshko. – M., Izd-vo Knorus, 2021. – 520 s.
- Gidrologicheskie raschyoty v meliorativnyh celyah: uchebnoe posobie / V. S. Mezencev [i dr.]. – Omsk : Omskij SKHI, 1980. – CH. 1. – 81 s.
- Tihonov, A. N. Uravneniya matematicheskoj fiziki / A. N. Tihonov., A. A. Samarskij. – M.: Izd-vo MGU, 1999. – 799 s.
- Modeli produkcionnogo processa sel'skohozyajstvennyh kultur / R. A. Poluektov [i dr.]. – SPb.: Izd-vo S-Peterb. un-ta, 2006. – 799 s.
- Hvorova, L. A. Dinamicheskoe modelirovanie i prognozirovanie v agrometeorologii / L. A. Hvorova, A. G. Topazh – Barnaul : Izd-vo Altajskogo gos. un-ta, 2010. – 262 s.
- Shein, E. V. Kurs fiziki pochv / E. V. Shein. – M.: Izd-vo MGU, 2005. – 432 s.
- Hvorova, L. A. Chislennoe modelirovanie sostavlyayushchih teplovogo rezhima pochv Altajskogo Priob'ya / L. A. Hvorova, A. V. Zharikov // Zhurnal Izvestiya AGU. – 2013. – № 1. – T. 1. – S. 126–130.
- Bolotov, A. G. Izmerenie temperatury pochvy s pomoshch'yu tekhnologii 1-Wire / A. G. Bolotov // Vest. Altajskogo gos. agrarnogo un-ta., – 2012. – № 11. – S. 29–30.
- CS230 Temperature Profiler. Revision: 4 /17: instruction manual // Campbell Scientific [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.cs230.pdf> – Data dostupa: 14.02.2022.
- Opreделение profil'nogo raspredeleniya temperatury pochvy na osnovanii temperatury ee poverhnosti / E. V. SHein [i dr.] // Zhurnal Zemledelie. – 2018. – № 7. – S. 26–29.
- Volchek, A. A. Ocenka vliyaniya osusheniya na teplovoj rezhim pochv Poles'ya / V. V. Borushko, A. A. Volchek // Kompleksnye problemy tekhnosfernoj bezopasnosti. Nauchnyj i prakticheskij podhody k razvitiyu i realizacii tekhnologij bezopasnosti : sb. tezisov po materialam XVII Mezhdun. nauch.-prakt. konf. – Voronezh, 2021. – S. 57–58.
- Prirodoobustrojstvo Poles'ya : monografiya : v 4 kn. / pod obshch. nauch. red. YU. A. Mazhajskego, A. N. Rokochinskogo, A. A. Volcheka, O. P. Meshika, E. Eznaha. – Ryazan' : Meshcher. f-l FGBNU «VNIIGiM im. A. N. Kostyakova», 2018. – Kn. 1 : Belorusskoe Poles'e. – T. 1 : Prirodno-resursnyj potencial. – 408 s.
- Dul'nev, G. N. Primenenie EVM dlya resheniya zadach teploobmena / G. N. Dul'nev, V. G. Parfenov, A. V. Sigalov. – M.: Vysshaya shkola, 1990. – 208 s.
- Borushko, V. V. K voprosu o vliyanii osusheniya na teplovoj rezhim meliorirovannyh zemel' Belorusskogo Poles'ya / V. V. Borushko, A. A. Volchek, V. I. Gladkovskij // Aktual'nye problemy nauk o zemle: ispol'zovanie prirodnyh resursov i sohranenie okruzhayushchej sredy : sb. materialov mezhdun. nauch.-prakt. konf., posvyashchyonnoj Godu nauki v Respublike Belarus' 25 – 27 sentyabrya : v 2 ch. / BrGU imeni A. S. Pushkina. – Brest, 2017. – CH. 2. – S. 6–9.
- Borushko, V. V. Ocenka vliyaniya osusheniya na teplovoj rezhim pochv Poles'ya / V. V. Borushko, A. A. Volchek // Kompleksnye problemy tekhnosfernoj bezopasnosti. Nauchnyj i prakticheskij podhody k razvitiyu i realizacii tekhnologij bezopasnosti : sbornik statej po materialam XVII Mezhdun. nauch.-prakt. konf. – Voronezh, 2021. – S. 368–374.
- WeatherOnline Ltd. – Meteorological Services [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: Temperature – Brest – Climate Robot Belarus (weatheronline.co.uk). – Data dostupa: 10.10.2022.
- Regional'naya fizicheskaya geografiya. Klimaty Zemli: ucheb.-metod. posobie: V 2 ch. / E. M. Zubashchenko [i dr.]. – Voronezh : VGPU, 2007. – CH. 1. – 183 s.
- Mihajlyuk, Yu. I. Orientirovannaya osnova dejstvij pri izuchenii himii elementov v kurse obshchej himii: uchebnoe posobie / YU. I Mihajlyuk, A. K. Mazitova, R. R. Kudoyarova. – Ufa : Izd-vo UGNTU, 2004. – 197 s.
- Pochvovedenie s osnovami geologii: uchebn. Posobie / A. I. Gorbylyova [i dr.]. – Mn.: Novoe znanie, 2002. – 480 s.

Материал поступил 09.12.2022, одобрен 12.01.2023, принят к публикации 12.01.2023.

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ОПАСНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

А. А. Волчек¹, С. В. Сидак², С. И. Парфомук³, Н. Н. Шешко⁴

¹ Д. геогр. н., профессор, профессор кафедры природообустройства УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: volchak@tut.by

² Ст. преподаватель кафедры информатики и прикладной математики УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: harchik-sveta@mail.ru

³ К. т. н., доцент, заведующий кафедрой информатики и прикладной математики УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: parfom@mail.ru

⁴ К. т. н., доцент, начальник научно-исследовательской части УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: optimum@tut.by

Реферат

Рассмотрены основные опасные гидрологические явления на территории Беларуси за период 2003–2022 гг. Анализ опасных гидрологических явлений на территории Беларуси за последние 20 лет показывает, что наиболее частыми являются опасные явления, сопровождающиеся низкими уровнями воды. Получены средние показатели понижения уровня воды ниже опасного и продолжительности стояния опасных низких уровней воды по гидрологическим постам, на которых наблюдались опасные гидрологические явления. Исследованы тенденции изменения этих показателей в многолетнем разрезе по отдельно выбранным гидропостам.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, опасное гидрологическое явление, высокие уровни воды, низкие уровни воды, доля сезонного стока, распределение водности.

MAIN TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF HYDROLOGICAL HAZARDS IN THE TERRITORY OF BELARUS

A. A. Volchak, S. V. Sidak, S. I. Parfomuk, N. N. Sheshko

Abstract

The main hydrological hazards in the territory of Belarus for the period 2003–2022 are considered. An analysis of hydrological hazard in the territory of Belarus over the past 20 years shows that the most frequent are hazardous phenomena accompanied by low water levels. The average indicators of water level decrease below the dangerous level and the duration of dangerous low water levels were obtained for hydrological stations where dangerous hydrological phenomena were observed. The trends of changes in these indicators in the long-term context for separately selected hydraulic gauging stations were investigated.

Key words: emergency, hydrological hazard, high water levels, low water levels, share of seasonal runoff, water distribution.

Введение

Обеспечение социальной, экономической и экологической безопасности страны напрямую связано с чрезвычайными ситуациями природного характера [1, 2]. Согласно ТКП 304–2011 (02300) «Мониторинг и прогнозирование чрезвычайных ситуаций. Общие положения. Порядок функционирования системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций» одним из источников чрезвычайных ситуаций природного характера являются опасные гидрологические явления (ОГЯ) [3]. Отнесение гидрологических явлений к категории опасных проводится согласно ТКП 17.10–28–2011 (02120) «Правила составления и оценки прогнозов гидрологического режима поверхностных вод». «Гидрологическое опасное явление – это событие гидрологического происхождения или результат гидрологических процессов, возникающих под действием различных природных или гидродинамических факторов или их сочетаний, оказывающих поражающее воздействие на людей, сельскохозяйственных животных и растения, объекты экономики и окружающую природную среду» [4].

Согласно [4] к опасным гидрологическим явлениям относят:

- высокие уровни воды (при половодьях, дождевых паводках, зажорах и заторах льда), при которых происходит затопление населенных пунктов, посевов сельскохозяйственных культур, автомобильных и железных дорог или повреждение крупных промышленных и транспортных объектов;
- низкие уровни воды (значения уровней воды в реках ниже отметок, при которых нарушается судоходство, водоснабжение городов и водохозяйственных объектов);
- ранний ледостав и появление льда на судоходных реках.

В последние годы в мире резко усилился интерес к проблемам обеспечения безопасности населения и хозяйства в связи с ростом ущербов от ОГЯ. Например, паводок в Беларуси в 2023 г., сопровождающийся превышением опасно высоких отметок уровней воды на отдельных участках рек бассейнов Западной Двины, Днепра, Березины, Сожа и Припяти, привел к затоплению прибрежных территорий, подтоплению домов и хозяйственных построек, проблемам с питьевой водой [5]. Стоит также отметить, что риск наводнений и других ОГЯ является ограничивающим фактором природопользования [6]. В свою очередь опасно низкие уровни воды влекут за собой проблемы с питьевой водой, высокий риск пожаров, приостановку судоходства, снижение разнообразия флоры и фауны, изменение бассейна водоема, нарушение работы сельскохозяйственных отраслей и энергетики.

На сегодняшний день в Беларуси ведется большая работа по исследованию опасных метеорологических явлений (ОМЯ) [1]. Несмотря на тесную связь ОГЯ с ОМЯ, необходимо более полное исследование ОГЯ, особенно в период современного потепления климата и увеличивающейся нагрузки на водные ресурсы, которое позволило бы учесть выявленные особенности при моделировании и прогнозировании опасных гидрологических процессов, а также принятию превентивных мер в случае возникновения чрезвычайных ситуаций. Учитывая актуальность проблемы всестороннего изучения ОГЯ, целью данного исследования является выявление многолетней динамики ОГЯ и их параметров на территории Беларуси.

Исходные данные и методы исследования

Для решения указанных выше задач в исследовании использованы материалы наблюдений государственного учреждения «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь по действующим гидрологическим постам за период инструментальных наблюдений, опубликованные в материалах государственных кадастров. Сведения о числе случаев и видах ОГЯ за период 2003–2022 гг., области их распространения взяты из опубликованных в открытых источниках экологических бюллетенях [5,7].

Характеристика ОГЯ на территории Беларуси

Ниже приведено распределение числа случаев и видов ОГЯ на территории Беларуси. Если ОГЯ наблюдалось одновременно или с небольшим интервалом времени на нескольких постах и было вызвано одним и тем же атмосферным процессом, то оно считалось как один случай.

2003 год

Низкие уровни воды – 1 случай.

В летне-осенний период отмечались весьма низкие уровни воды, опасные для судоходства на р. Немане у г. Гродно (01.06–30.11), р. Днепре – г. Могилев (02.06–12.10), р. Днепре – г. Жлобин (10.06–13.10), р. Березине – г. Борисов (04.07–21.10), р. Березине – г. Светлогорск (24.06–09.10), р. Соже – г. Гомель (08.06–14.10), р. Пине – г. Пинск (17.06–31.10) [5].

2004 год

Высокие уровни воды – 1 случай.

На р. Западной Двине на участке г. Полоцк–г. Верхнедвинск и в нижнем течении р. Сожа наибольшие уровни воды превысили опасные значения и вызвали подтопление населенных пунктов [5].

Низкие уровни воды – 1 случай.

В конце мая на р. Немане у г. Гродно и р. Днепре у г. Могилева и в первой и второй декадах июня на Западной Двине и Соже воды понизились ниже проектных отметок, лимитирующих судоходство. Период стояния опасно низких уровней составил 10–132 дня на Западной Двине, 187 дней на Немане, 120–198 на Днепре и 190 дней на Соже [5].

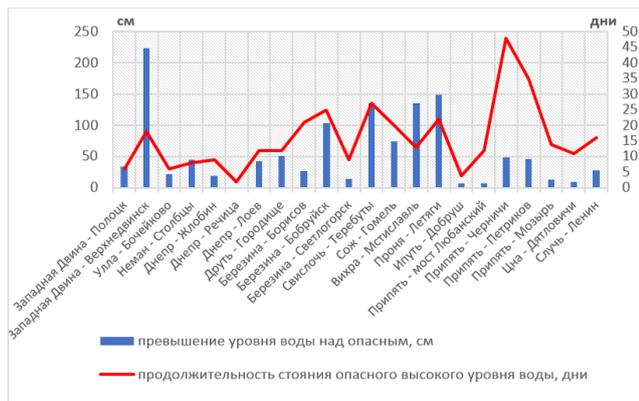
2007 год

Низкие уровни воды – 1 случай.

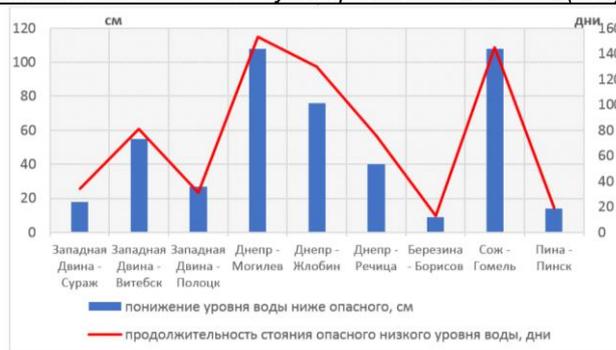
В связи с низкой водностью уровни воды опустились ниже проектных горизонтов, лимитирующих судоходство, на Днепре в районе Могилева в конце мая, а на Западной Двине (участок Сураж – Полоцк), Днепре (участок Жлобин – Речица), Немане в районе Гродно, Березине в районе Борисова, Соже в районе Гомеля и Пине в районе Пинска – в июне. Период стояния опасных низких уровней на судоходных участках Западной Двины продолжался 70–127 дней, Немана – 63, Днепра – 172–184, Березины – 171, Сожа – 156 и Пины – 139 дней [5].

2010 год

В 2010 г. отмечались 2 вида ОГЯ: высокие уровни воды (1 случай) и низкие уровни воды (1 случай). На рисунке 1 показаны параметры ОГЯ.



a)

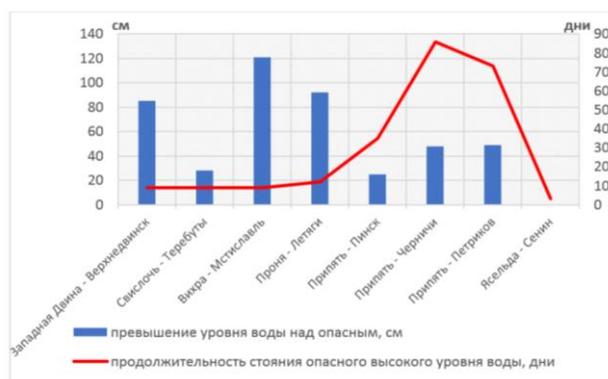


б)

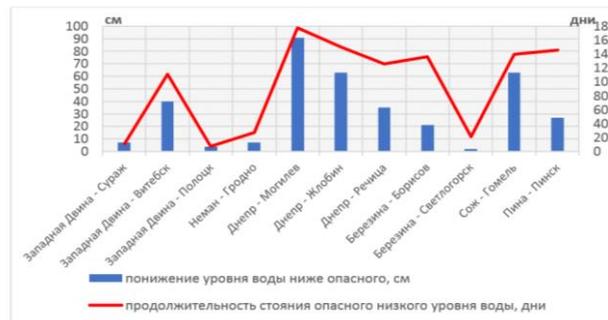
а – высокие уровни воды; б – низкие уровни воды
Рисунок 1 – Параметры ОГЯ на территории Беларуси в 2010 г.

2011 год.

В 2011 г. отмечались 2 вида ОГЯ: высокие уровни воды (1 случай) и низкие уровни воды (1 случай). На рисунке 2 показаны параметры ОГЯ.



a)

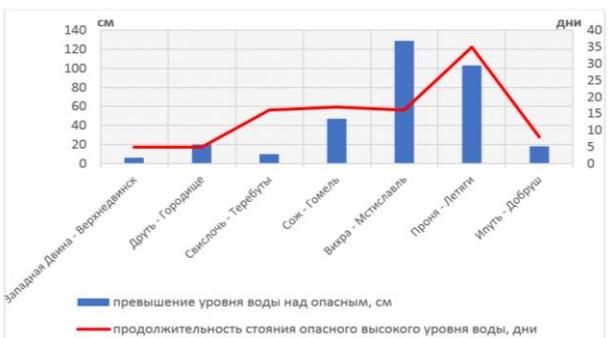


б)

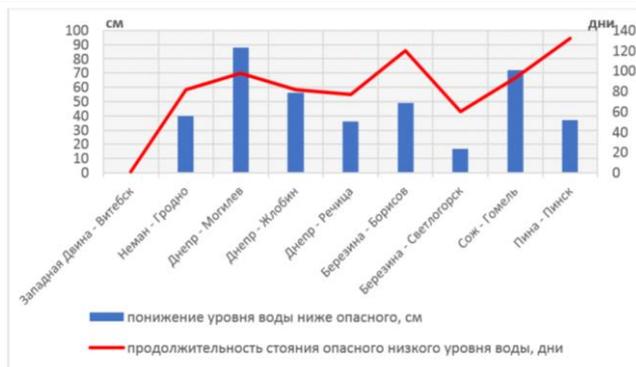
а – высокие уровни воды; б – низкие уровни воды
Рисунок 2 – Параметры ОГЯ на территории Беларуси в 2011 г.

2012 год

В 2012 г. отмечались 2 вида ОГЯ: высокие уровни воды (1 случай) и низкие уровни воды (1 случай). На рисунке 3 показаны параметры ОГЯ.



a)

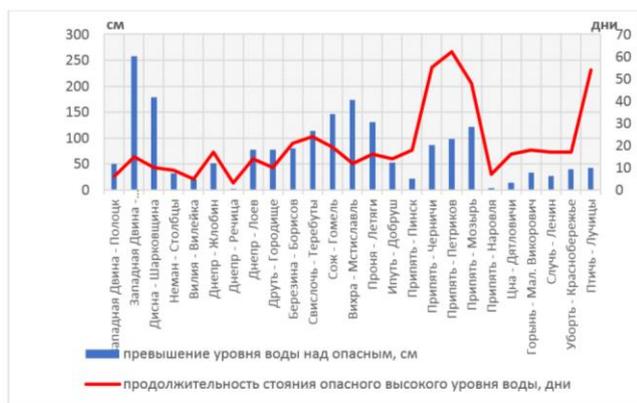


б)

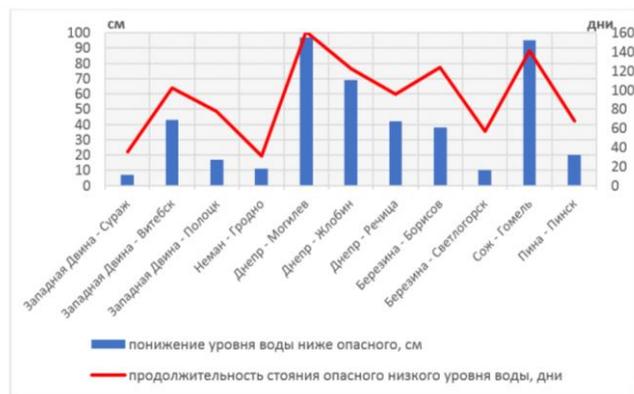
а – высокие уровни воды; б – низкие уровни воды
Рисунок 3 – Параметры ОГЯ на территории Беларуси в 2012 г.

2013 год

В 2013 г. отмечались 2 вида ОГЯ: высокие уровни воды (1 случай) и низкие уровни воды (1 случай). На рисунке 4 показаны параметры ОГЯ.



а)



б)

а – высокие уровни воды; б – низкие уровни воды
Рисунок 4 – Параметры ОГЯ на территории Беларуси в 2013 г.

2014 год

В 2014 г. отмечался 1 вид ОГЯ – низкие уровни воды (1 случай). На рисунке 5 показаны параметры ОГЯ.

Ниже исторических минимумов уровни воды в 2014 г. оказались на р. Западной Двине у г. Витебска (на 5 см), ее притоке р. Улле у д. Бочейково (на 14 см), р. Днепре у г. Могилева (на 33 см) и у г. Жлобина (на 10 см), р. Березине у г. Бобруйска (на 14 см), р. Соже у г. Кричева (на 7 см) и г. Гомеля (на 17 см), его притоке р. Беседи у д. Светиловичи (на 14 см), а также на притоке р. Припяти. Цне у д. Дятловичи (на 3 см) [5].

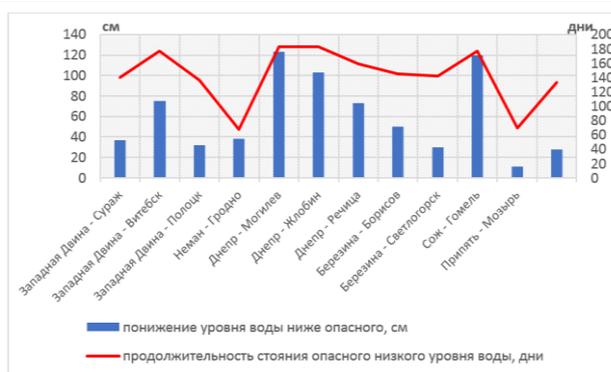


Рисунок 5 – Параметры ОГЯ (низкие уровни воды) на территории Беларуси в 2014 г.

2015 год

В 2015 г. отмечался 1 вид ОГЯ – низкие уровни воды (1 случай). На рисунке 6 показаны параметры ОГЯ.

Значения уровней воды в 2015 г. достигли исторических минимумов на р. Щара у г. Слоним, р. Нарев у д. Немержа и реке Беседи у д. Светиловичи. На 22 оперативных гидрологических постах из 64 уровни воды опустились ниже исторических минимумов.

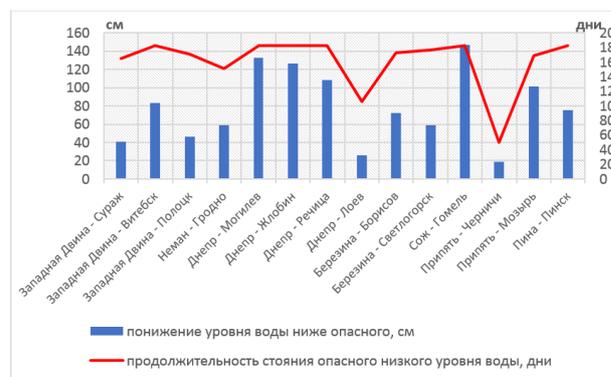


Рисунок 6 – Параметры ОГЯ (низкие уровни воды) на территории Беларуси в 2015 г.

2016 год

В 2016 г. отмечался 1 вид ОГЯ – низкие уровни воды (1 случай). На рисунке 7 показаны параметры ОГЯ.

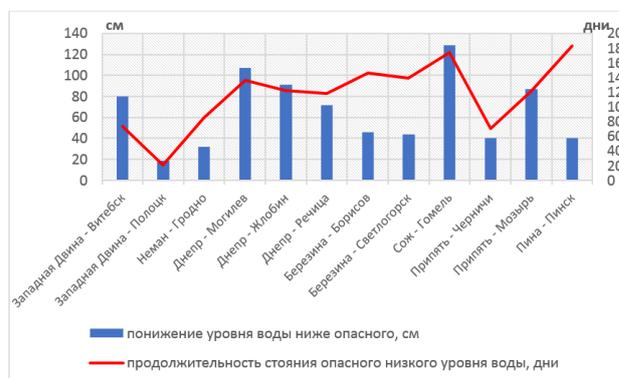


Рисунок 7 – Параметры ОГЯ (низкие уровни воды) на территории Беларуси в 2016 г.

2017 год

В 2017 г. отмечался 1 вид ОГЯ – низкие уровни воды (1 случай). На рисунке 8 показаны параметры ОГЯ.

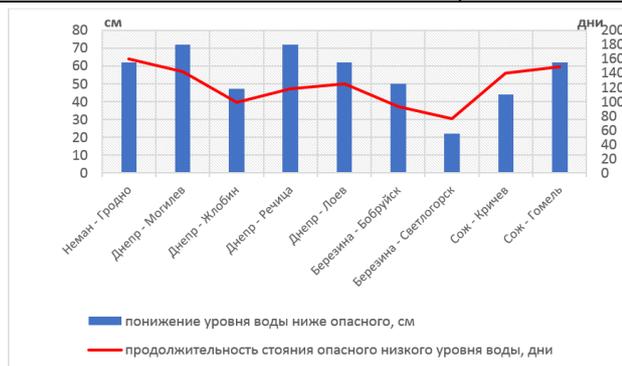


Рисунок 8 – Параметры ОГЯ (низкие уровни воды) на территории Беларуси в 2017 г.

2018 год

Низкие уровни воды – 1 случай

На Березине у г. Светлогорск, Днепре у г. Лоева, на Западной Двине у г. Витебск, Немане у г. Гродно, Днепре у г. Могилев, г. Жлобина и г. Речица, Березине у г. Бобруйск, Соже у г. Кричев, г. Славгород и г. Гомель уровни воды находились ниже отметок, лимитирующих судоходство [7].

2019 год

Низкие уровни воды – 1 случай

На Немане у г. Гродно и Соже у г. Славгорода уровни воды находились ниже отметок, лимитирующих судоходство.

2020 год

Низкие уровни воды – 1 случай

На Немане у г. Гродно, на Днепре у г. Могилева, г. Жлобина и г. Лоева, на Соже у г. Гомеля, г. Кричева и г. Славгорода, на Березине у г. Бобруйска и г. Светлогорска уровни воды находились ниже отметок, лимитирующих судоходство [7].

2021 год

Высокие уровни воды – 1 случай

На притоке Сожа р. Проня у д. Летяги уровень воды достиг опасной высокой отметки.

Низкие уровни воды – 1 случай

На Немане у г. Гродно, на р. Днепр у г. Лоева, на р. Березина у г. Светлогорска и р. Сож у г. Гомеля уровни воды опустились ниже опасных низких отметок, лимитирующих судоходство.

2022 год

Высокие уровни воды – 1 случай

Уровни воды превышали опасные высокие отметки на р. Сож у г. Гомеля, его притоках р. Проня у д. Летяги и р. Ипуть у г. Добруш.

Низкие уровни воды – 1 случай

На р. Березине у г. Светлогорск, р. Днепр у г. п. Лоева, р. Сож у г. Гомеля, Припяти у д. Черничи и г. Мозырь уровни воды опустились ниже отметок, лимитирующих судоходство.

Анализ опасных гидрологических явлений на территории Беларуси за последние 20 лет показывает, что наиболее частыми являются опасные явления, сопровождающиеся низкими уровнями воды. За период 2003–2022 гг. понижение уровня воды ниже опасного на Березине у г. Бобруйска в среднем составило 48 см, на Березине у г. Борисова – 40 см, на Березине у г. Светлогорска – 28 см, на Днепре у г. Жлобина – 80 см, на Днепре у г. Лоева – 29 см, на Днепре у г. Могилева – 102 см, на Днепре у г. Речицы – 61 см, на Западной Двине у г. Витебска – 53 см, на Западной Двине у г. Полоцка – 24 см, на Западной Двине у г. п. Сураж – 22 см, на Немане у г. Гродно – 35 см, на Пине у г. Пинска – 34 см, на Припяти у г. Мозыря – 66 см, на Припяти у д. Черничи – 29 см, на Соже у г. Гомеля – 102 см; средняя продолжительность стояния опасных низких уровней воды на Березине у г. Бобруйска составила 119 дней, на Березине у г. Борисова – 122 дня, на Березине у г. Светлогорска – 101 день, на Днепре у г. Жлобина – 132 дня, на Днепре у г. Лоева – 77 дней, на Днепре у г. Могилева – 152 дня, на Днепре у г. Речицы –

119 дней, на Западной Двине у г. Витебска – 104 дня, на Западной Двине у г. Полоцка – 74 дня, на Западной Двине у г. п. Сураж – 77 дней, на Немане у г. Гродно – 86 дней, на Пине у г. Пинска – 123 дня, на Припяти у г. Мозыря – 120 дней, на Припяти у д. Черничи – 60 дней, на Соже у г. Гомеля – 152 дня.

Если рассматривать тенденцию изменения перечисленных выше показателей в многолетнем разрезе по отдельно выбранным гидропостам (рисунок 9), то следует отметить высокую степень коррелированности данных по территории Беларуси и увеличение числа ОГЯ за последнее 10-летие:

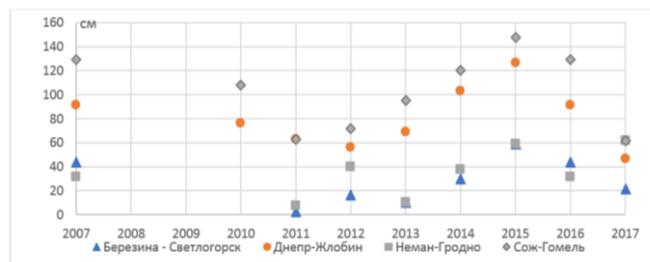


Рисунок 9 – Значения понижения уровня воды ниже опасного в многолетнем разрезе

ОГЯ на реках тесно связаны с трансформацией гидрологического режима, коррелирующей с тенденциями изменения климата [8–10]. Преобладание случаев ОГЯ, характеризующихся низким уровнем воды, напрямую связано с тем фактом, что на территории Беларуси в современный период наблюдаются определенные изменения в распределении водности по гидрологическим сезонам (таблица 1). Выбор именно таких периодов для целей сравнения и мониторинга изменения климата рекомендован Всемирной метеорологической организацией. Прежде всего необходимо обратить внимание на снижение доли весеннего и увеличение стока в зимний период, значительные коррективы в увеличение доли которого вносят зимние оттепели. Уменьшение доли весеннего стока отражает современную эколого-гидрологическую обстановку рек на фоне климатических изменений.

Таблица 1 – Доля сезонного стока в годовом речном стоке, %

Период	Доля стока по сезонам			
	весна	лето	осень	зима
<i>р. Припять – г. Мозырь</i>				
1961–1990 гг.	44	20	16	20
1991–2020 гг.	45	19	15	21
<i>р. Неман – г. Гродно</i>				
1961–1990 гг.	40	19	20	21
1991–2020 гг.	37	18	19	26
<i>р. Западная Двина – г. Витебск</i>				
1961–1990 гг.	55	15	16	14
1991–2020 гг.	50	15	18	17
<i>р. Березина – г. Бобруйск</i>				
1961–1990 гг.	28	21	26	35
1991–2020 гг.	29	21	27	33
<i>р. Днепр – г. Речица</i>				
1961–1990 гг.	48	19	16	17
1991–2020 гг.	42	19	18	21
<i>р. Сож – г. Гомель</i>				
1961–1990 гг.	55	15	15	16
1991–2020 гг.	48	17	16	20

Заключение

Рассмотрены основные опасные гидрологические явления на территории Беларуси за период 2003–2022 гг. Анализ опасных гидрологических явлений на территории Беларуси за последние 20 лет показывает, что наиболее частыми являются опасные явления, сопровождающиеся низкими уровнями воды. Получены средние показатели понижения уровня воды ниже опасного и продолжительности стояния опасных низких уровней воды по гидрологическим постам, на которых наблюдались опасные гидрологические явления. Исследованы тенденции изменения этих показателей в многолетнем разрезе по отдельно выбранным гидропостам. Полученные данные

можно использовать для комплексной оценки опасности гидрологических явлений и определения первоочередных защитных мер, ориентированных на обеспечение безопасности населения, хозяйственных объектов, объектов инфраструктуры и водных экосистем в бассейнах рек Беларуси.

Работа выполнена в рамках задания 1.04 НИР «Оценка гидролого-климатических режимов территории Беларуси в современных условиях» (подпрограммы «10.1 Природные ресурсы и их рациональное использование» ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 годы).

Список использованных источников

1. Логинов, В. Ф. Опасные метеорологические явления на территории Беларуси / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, И. Н. Шпока ; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т природопользования. – Минск : Беларуская навука, 2010. – 129 с.
2. Владимиров, А. М. Опасные природные явления / А. М. Владимиров // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2005. – № 1. – С. 42–53.
3. Мониторинг и прогнозирование чрезвычайных ситуаций. Общие положения. Порядок функционирования системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций. Технический кодекс установившейся практики ТКП 304-2011(02300). – Минск : Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, 2011. – 40 с.
4. Правила составления и оценки прогнозов гидрологического режима поверхностных вод. Технический кодекс установившейся практики ТКП 17.10-28-2011 (02120). – Минск : Минприроды, 2011. – 36 с.
5. Министерстве природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.minpriroda.gov.by/ru/bulleten-ru/>. – Дата доступа: 05.06.2023.
6. Антонова, М. М. Комплексная оценка опасных гидрологических явлений в бассейне Волги / М. М. Антонова // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. – 2011. – № 1. – С. 48–54.
7. Государственное учреждение «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» Минприроды Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rad.org.by/articles/voda/>. – Дата доступа: 05.06.2023.
8. Семенов, В. А. Климатически обусловленные изменения опасных и неблагоприятных гидрологических явлений на реках России / В. А. Семенов // Метеорология и гидрология. – 2011. – № 2. – С. 74–82.
9. Волчек, А. А. Многолетняя изменчивость стока рек Беларуси в условиях изменения климата и антропогенных воздействий / А. А. Волчек, С. В. Сидак, С. И. Парфомук // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания: сб. тр. IV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 55-летию Брест. гос. техн. ун-та и 50-летию ф-та инженерных систем и экологии, Брест, 7–8 окт. 2021 г. / Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: А. А. Волчек [и др.]. – Брест, 2021. – С. 101–113.
10. Волчек, А. А. Оценка современных изменений максимального стока рек Беларуси / А. А. Волчек, Ан. А. Волчек, С. В. Сидак // Географія. – 2020. – № 4 (167). – С. 26–33.

References

1. Loginov, V. F. Opasnye meteorologicheskie yavleniya na territorii Belarusi / V. F. Loginov, A. A. Volchek, I. N. Shpoka ; Nac. akad. nauk Belarusi, In-t prirodopol'zovaniya. – Minsk : Belaruskaya navuka, 2010. – 129 s.
2. Vladimirov, A. M. Opasnye prirodnye yavleniya / A. M. Vladimirov // Uchenye zapiski Rossijskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta. – 2005. – № 1. – S. 42–53.
3. Monitoring i prognozirovanie chrezvychajnyh situacij. Obshchie polozheniya. Poryadok funkcionirovaniya sistemy monitoringa i prognozirovaniya chrezvychajnyh situacij. Tekhnicheskij kodeks ustanovivshejsya praktiki TKP 304-2011(02300). – Minsk : Ministerstvo po chrezvychajnym situacijam Respubliki Belarus', 2011. – 40 s.
4. Pravila sostavleniya i ocenki prognozov gidrologicheskogo rezhima poverhnostnyh vod. Tekhnicheskij kodeks ustanovivshejsya praktiki TKP 17.10-28-2011 (02120). – Minsk : Minprirody, 2011. – 36 s.
5. Ministerstve prirodnyh resursov i ohrany okruzhayushchej sredy Respubliki Belarus' [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.minpriroda.gov.by/ru/bulleten-ru/>. – Data dostupa: 05.06.2023.
6. Antonova, M. M. Kompleksnaya ocenka opasnyh gidrologicheskikh yavlenij v bassejne Volgi / M. M. Antonova // Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografiya. – 2011. – № 1. – S. 48–54.
7. Gosudarstvennoe uchrezhdenie «Respublikanskij centr po gidrometeorologii, kontrolyu radioaktivnogo zagryazneniya i monitoringu okruzhayushchej sredy» Minprirody Respubliki Belarus' [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://rad.org.by/articles/voda/>. – Data dostupa: 05.06.2023.
8. Semenov, V. A. Klimaticheski obuslovlennye izmeneniya opasnyh i neblagopriyatnyh gidrologicheskikh yavlenij na rekah Rossii / V. A. Semenov // Meteorologiya i gidrologiya. – 2011. – № 2. – S. 74–82.
9. Volchek, A. A. Mnogoletnyaya izmenchivost' stoka rek Belarusi v usloviyah izmeneniya klimata i antropogennyh vozdeystvij / A. A. Volchek, S. V. Sidak, S. I. Parfomuk // Aktual'nye nauchno-tekhnicheskie i ekologicheskie problemy sohraneniya sredy obitaniya : sb. tr. IV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. 55-letiyu Brest. gos. tekhn. un-ta i 50-letiyu f-ta inzhenernyh sistem i ekologii, Brest, 7–8 okt. 2021 g. / Brest. gos. tekhn. un-t ; redkol.: A. A. Volchek [i dr.]. – Brest, 2021. – S. 101–113.
10. Volchek, A. A. Ocenka sovremennyh izmenenij maksimal'nogo stoka rek Belarusi / A. A. Volchek, An. A. Volchek, S. V. Sidak // Geografiya. – 2020. – № 4 (167). – S. 26–33.

Материал поступил 20.06.2023, одобрен 22.06.2023, принят к публикации 22.06.2023.

СОВРЕМЕННЫЕ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

О. П. Мешик¹, М. В. Борушко², В. А. Морозова³

¹ К. т. н., доцент, декан факультета инженерных систем и экологии УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail : omeshyk@gmail.com

² М. т. н., аспирант кафедры природообустройства, старший преподаватель кафедры лингвистических дисциплин и межкультурных коммуникаций УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail : borushko.marina@mail.ru

³ М.р.т. н., аспирант кафедры природообустройства, старший преподаватель кафедры начертательной геометрии и инженерной графики УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail : vmorozova-brest@mail.ru

Реферат

В статье даются оценки пространственно-временной изменчивости интегральных показателей, характеризующих приход солнечной радиации на земную поверхность. Обобщенные и систематизированные данные о продолжительности солнечного сияния, режиме облачности являются основой при составлении геолоэнергетического кадастра Республики Беларусь. Полученные результаты характеризуют репрезентативный период с 1979 по 2022 гг.

Ключевые слова: продолжительность солнечного сияния, облачность, число ясных дней, число пасмурных дней.

AN UP-TO-DATE ASSESSMENT OF SOLAR RADIATION CHARACTERISTICS OBSERVED IN BELARUS

A. P. Meshyk, M. V. Barushka, V. A. Marozava

Abstract

The article provides an up-to-date assessment of space-time variability of the integral parameters that characterize solar radiation reaching the ground surface in Belarus. The summarised data about sunshine duration and cloudiness can be used as a source of data to develop a solar energy cadastre of the Republic of Belarus. The results obtained in the research cover the time period from 1979 to 2022.

Keywords: sunshine duration, cloudiness, number of clear days, number of cloudy days.

Введение

Солнечная радиация – основной источник энергии на земле. Она играет первостепенную роль во многих биохимических процессах и формирует климат. В Республике Беларусь есть потребность в изучении особенностей пространственно-временного распределения характеристик солнечной радиации в связи с современными изменениями климата и его воздействиями на природу и жизнедеятельность человека, а также с внедрением энергосберегающих технологий и развитием возобновляемых, экологически безопасных энергоресурсов.

Изучением геолоэнергетических ресурсов климата Беларуси занимались многие белорусские исследователи [1, 2, 3, 4 и др.]. В работе [5] дается общее представление о распределении продолжительности солнечного сияния в исследуемом регионе. Автор отмечает, что на севере Беларуси самый длинный день в 2,5 раза длиннее наиболее короткого, на юге – в 2,1 раза. Разница в продолжительности дня между ее северной и южной частями как летом, так и зимой примерно 1 час.

Продолжительность солнечного сияния является интегральным показателем, характеризующим приход солнечной радиации на земную поверхность. Продолжительность солнечного сияния зависит от широты местности, сезона года, режима облачности, который в свою очередь определяется характером циркуляционных процессов.

Продолжительность солнечного сияния и режим облачности является одним из наиболее важных показателей, которые влияют на экологию, сельское хозяйство, здоровье человека и другие аспекты жизнедеятельности, поэтому их следует учитывать, в частности в градостроительстве, при планировании различных сельскохозяйственных мероприятий, для оценки геолоэнергетических ресурсов территорий и других видов деятельности. К тому же проведенные исследования могут представлять интерес для климатологов, занимающихся созданием региональных климатических моделей. Поэтому очевидна актуальность получения более глубокого, научно обоснованного представления о режиме солнечной радиации и его производных на территории Республики Беларусь.

Целью исследования является обобщение и систематизация данных о пространственно-временной изменчивости продолжительности солнечного сияния и режима облачности на территории Республики Беларусь для дальнейшего их применения при составлении геолоэнергетического кадастра изучаемой территории.

Для достижения поставленной цели исследования решались следующие задачи: систематизировать исследуемые характеристики и установить их современные численные значения; оценить характер пространственно-временной изменчивости месячных и годовых сумм продолжительности солнечного сияния (ПСС) и средней ПСС за день с солнцем, числа дней пасмурных с нижней и общей облачностью, числа дней ясных с нижней и общей облачностью, месячных и годовых значений балла нижней и общей облачности; выявить отношение фактически наблюдавшегося числа часов солнечного сияния к теоретически возможной ПСС; установить закономерности влияния широтных факторов, сезонности, циркуляционных процессов атмосферы на распределение исследуемых характеристик; установить взаимосвязи между исследуемыми характеристиками.

Материалы и методы

В настоящем исследовании использованы материалы государственного учреждения «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды», характеризующие радиационный режим и облачность территории Беларуси [6, 7]. Временные ряды за репрезентативный 44-летний период с 1979 по 2022 годы приняты по 13 метеостанциям в соответствии с данными климатического кадастра Республики Беларусь, публикуемыми в метеорологических ежемесячниках [8] и включают данные о фактической продолжительности солнечного сияния, средней ПСС за день с солнцем, возможной ПСС, количестве дней пасмурных по нижней и общей облачности, количестве дней ясных по нижней и общей облачности, балле нижней и общей облачности. Также использованы материалы Государственного кадастра возобновляемых источников энергии [9].

В работе реализованы методы статистической обработки данных наблюдений, в частности, методы корреляционного и регрессионного анализа, аналитических расчетов, анализ временных рядов, пространственное обобщение метеорологической информации и др. Обработка данных расчетов проводилась с использованием пакетов прикладных программ Microsoft Office.

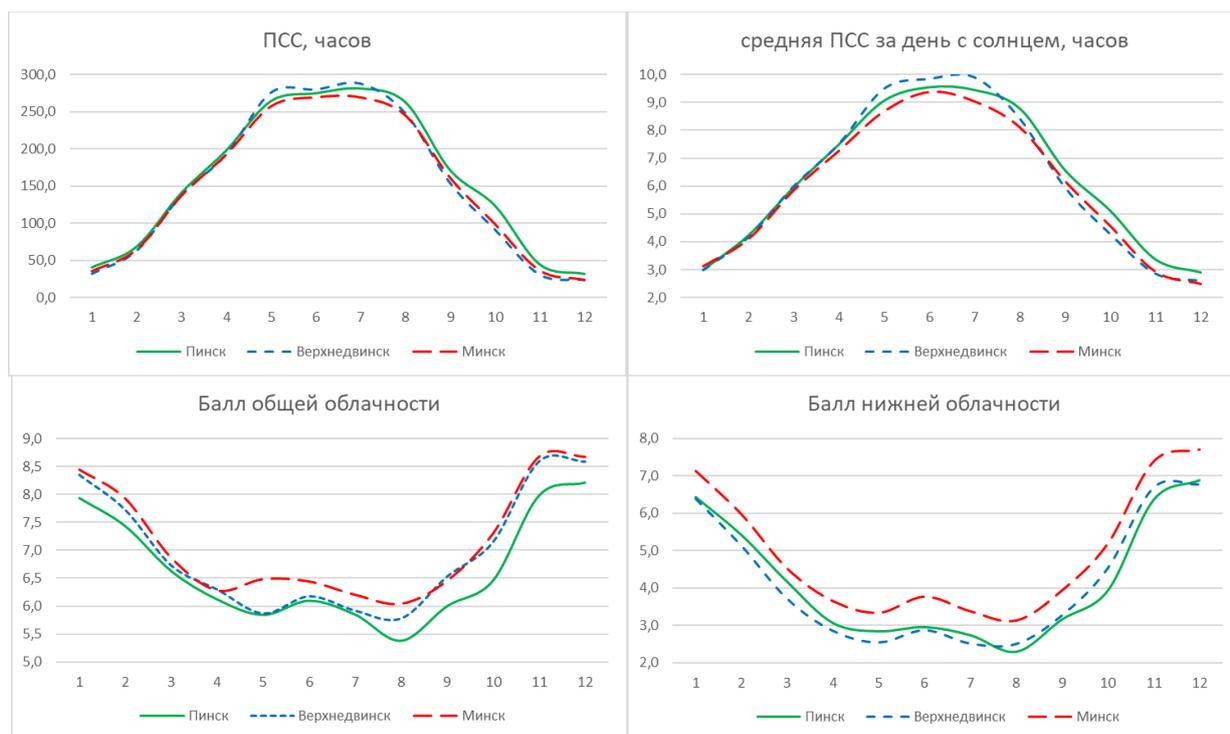
Результаты и обсуждение

Радиационный режим территории Беларуси остается недостаточно изученным, в первую очередь из-за неполных актинометрических данных. Актинометрические наблюдения, включающие в себя наблюдения за прямой, рассеянной, суммарной, отраженной радиацией и радиационным балансом, производятся на метеорологических станциях. На сегодняшний день на территории Беларуси таких станций всего 15, что не вполне достаточно для проведения объективного научно-исследовательского анализа [10]. К тому же наблюдения на станциях прерывались по различным причинам, поэтому ряды наблюдений имеют значительные пропуски информации. Например, на метеостанции Гродно актинометрические данные отсутствуют с 1985 по 2022 год. Ряды наблюдений за ПСС на метеостанции Нарочь озерная заканчиваются в 1986 году, а на станции Слуцк – в 1991 г. Эти метеостанции исключены из данного обобщения, так как здесь нарушена однородность и в итоге – репрезентативность временных рядов.

Другой проблемой при обеспечении объективными метеорологическими данными является репрезентативность расположения метеорологических станций [11]. Очевидно, чем равномернее располагаются метеорологические станции, регистрирующие определенное метеорологическое явление, тем надежнее будет точность научно-исследовательского анализа. Те 15 метеорологических станций, на которых регистрируются актинометрические показатели, т. е. данные о солнечном сиянии расположены относительно равномерно в северо-западной и центральной части республики. Однако северо-восток и практически вся Гомельская область не охвачены актинометрическими наблюдениями. Некоторые метеостанции находятся совсем близко друг к другу, например, Пинск и Полесская, Гомель и Василевичи, Минск и Марына Горка и образуют так называемые «связки». При этом другие территории оказываются не охваченными актинометрическими наблюдениями. В итоге недостаточность и неравномерность расположения пунктов наблюдений затрудняют качественное пространственное обобщение информации, построение карт, когда необходимо подключать методы интерполяции.

Как уже было сказано, продолжительность солнечного сияния зависит не только от широты местности [12], сезона года, высоты солнца над горизонтом в разное время года, но также от режима облачности, который в свою очередь зависит от особенностей циркуляционных процессов. Наблюдения за режимом облачности, т. е. определение состояния и развития физических процессов в атмосфере основываются на инструментальных измерениях метеорологических параметров. Однако количество, формы, вид и разновидность облаков зачастую определяются визуально, что также может носить субъективную оценку. Например, при наблюдениях за количеством облаков определяется общее количество облаков всех ярусов, покрывающих весь видимый небосвод (общая облачность), и количество облаков нижнего яруса (нижняя облачность). Количество облаков оценивается визуально по 10-балльной шкале. Высота нижней границы облачности измеряется как расстояние от поверхности земли до основания облака. При отсутствии в пункте наблюдений средств измерений, а также в случае, если самые низкие облака находятся не над пунктом наблюдений, высота нижней границы облачности определяется визуально [13].

В ходе исследования проведен анализ внутригодового хода таких характеристик как продолжительность солнечного сияния, средняя ПСС за день с солнцем, количество дней пасмурных по нижней облачности, количество дней пасмурных по общей облачности, количество дней ясных по нижней облачности, количество дней ясных по общей облачности, балл нижней облачности, балл общей облачности. На рисунке 1 представлено сравнение внутригодового хода изучаемых параметров на метеорологических станциях Пинск, Минск, Верхнедвинск. Выбор станций обусловлен их географическим положением. Пинск (52,12°с. ш.) представляет юг республики, Минск (53,90°с. ш.) – центральную часть, Верхнедвинск (55,75°с. ш.) – север. Как видно из графиков, в целом, все анализируемые характеристики имеют примерно одинаковый внутригодовой ход. Так, ПСС практически одинаковая с января по май, в остальное время года наблюдаются некоторые незначительные различия, определяемые широтным фактором. Отмечается больший балл облачности в Минске, что, вероятно, объясняется влиянием мегаполиса на режим метеорологических характеристик. Наибольшие различия наблюдаются в количестве ясных дней с общей и нижней облачностью. Заметно значительно большее количество ясных дней в Пинске, чем на остальных станциях, в период с августа по октябрь. При этом число пасмурных дней с общей и нижней облачностью коррелируют друг с другом.



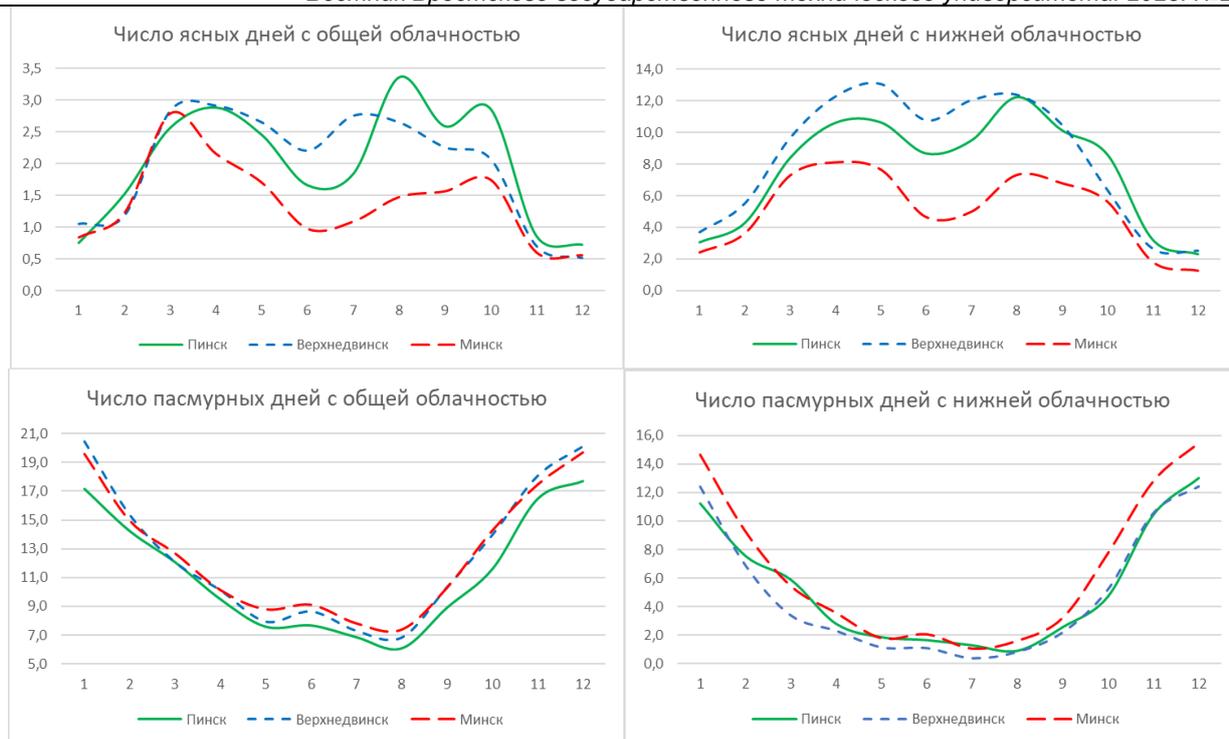


Рисунок 1 – Внутригодовой ход исследуемых характеристик солнечной радиации на метеорологических станциях Пинск, Минск, Верхнедвинск

В таблице 1 представлены современные оценки характеристик солнечной радиации за исследуемый репрезентативный период 1979–2022 гг. Как видно из таблицы 1, среднегодовая ПСС варьируется от 1793 часов в Минске до 1949 часов в Гомеле. Причиной тому, что наименьшее среднее значение ПСС соответствует Минску, отражены выше. Минимальное значение ПСС (1392 часа) зарегистрировано в Бресте в 1980 году, а максимальное – в Гомеле (2337 часов), что также не подтверждает прямую зависимость ПСС от широты метеостанции, так как Брест и Гомель находятся практически на одной параллели, 52,08 °с. ш. и 52,43 °с. ш. соответственно. Очевидно, есть другие причи-

ны, влияющие на величину ПСС, такие как облачность, обусловленная особенностями циркуляционных процессов в атмосфере под воздействием Атлантики, Балтийского моря и континентальных воздушных масс. В западном регионе республики имеют место большие коэффициенты вариации.

Так, средний балл общей облачности уменьшается с севера на юг. Максимальный среднегодовой балл общей облачности наблюдается в Березинском заповеднике (7,7 балла), а минимальный – в Бресте (6,5 балла), при этом разница между минимальными и максимальными значениями не имеют широких амплитуд (1,1 – 2,0 балла).

Таблица 1 – Средние и экстремальные (минимальные, максимальные) годовые значения исследуемых характеристик

Метеостанция	Продолжительность солнечного сияния за год, часов	ПСС средняя за день с солнцем, часов	Балл общей облачности	Балл нижней облачности	Число ясных дней с общей облачностью	Число ясных дней с нижней облачностью	Число пасмурных дней с общей облачностью	Число пасмурных дней с нижней облачностью
Верхнедвинск	1813 1603–2154	6,5 5,3–7,7	7 6,4–7,7	4,2 3,5–4,8	24 13–43	101 74–143	152 129–203	59 39–88
Шарковщина	1865 1645–2048	6,1 5,4–7,2	7,3 6,7–7,9	4,8 3,8–5,7	18 9–39	68 42–104	168 148–192	74 42–103
Березинский заповедник	1822 1583–2076	6,3 5,3–7,4	7,7 7,3–8,1	4,6 3,7–5,5	8 2–18	63 41–98	185 72–214	74 44–108
Ошмяны	1833 1559–2089	6,3 5,5–7,2	7,1 6,4–7,9	5,2 4,2–6,5	21 5–40	62 26–98	151 131–203	87 62–142
Горки	1855 1540–2221	6,4 5,5–7,2	6,8 6,3–7,4	4,5 3,7–5,4	22 11–39	80 52–117	135 99–171	66 38–93
Минск	1793 1443–2030	6,3 5,3–7,4	7,1 6,5–7,6	4,9 4,1–5,8	17 7–35	61 33–105	153 113–207	78 53–114
Марына Горка	1805 1434–2094	6,3 5,4–7,7	7 6,5–7,5	4,9 3,2–6,3	20 9–41	63 29–128	146 116–197	75 26–139
Костюковичи	1831 1539–2113	6,6 5,6–7,7	6,9 6,3–7,6	4,5 3,5–5,4	19 8–32	74 38–130	147 115–179	72 37–108
Волковыск	1940 1703–2220	6,2 5,4–6,7	6,9 6,3–7,8	4,6 3–6,8	22 6–36	92 45–153	137 106–171	62 23–116
Гомель	1949 1564–2337	6,6 5,7–8,1	6,8 6,3–7,4	4,3 3,2–4,7	24 13–44	98 64–142	143 111–176	64 41–96
Василевичи	1927 1574–2306	6,7 5,6–7,3	7,1 6,6–7,5	4,1 3,1–5,3	14 6–28	75 45–119	148 120–180	56 25–88
Пинск	1897 1525–2125	6,6 5,7–7,5	6,6 6,1–8	4,2 3,3–5,7	24 6–37	92 45–141	135 93–211	63 36–120
Брест	1887 1392–2239	6,5 5,4–7,2	6,5 6–7,3	4,8 4,1–5,7	25 14–44	64 37–89	130 105–175	75 48–107

Наибольшее число ясных дней с общей облачностью наблюдается в разных широтах на территории Беларуси: по 24 дня в Верхнедвинске, Гомеле и Пинске, минимальное – в Березинском заповеднике (8 дней). Число пасмурных дней по общей облачности уменьшается с севера на юг со 184 (Березинский заповедник) до 130 дней (Брест).

Таким образом, наблюдается определенная связь между ростом средней годовой ПСС, балла общей облачности, количества ясных дней с общей и нижней облачностью и уменьшением числа пасмурных дней по общей и нижней облачности с севера, северо-запада на юг, юго-восток [4]. В таблице 2 приведены парные корреляции между исследуемыми характеристиками на метеостанции Минск.

Наилучшая корреляция с большинством исследуемых характеристик имеет место у числа пасмурных дней с общей облачностью, о чем свидетельствует максимальная сумма парных коэффициентов корреляции ($\Sigma R = 4,12$). Также по баллу общей и нижней облачности можно проводить косвенные оценки других исследуемых параметров, при этом наблюдается наилучшая теснота связей и имеет место статистическая значимость. Однако статистически значимые связи для ПСС средней за день с солнцем с другими характеристиками отсутствуют.

Таблица 2 – Матрица парных коэффициентов корреляции (R) исследуемых характеристик (годовые значения) на метеорологической станции Минск

Метеорологические характеристики	Балл общей облачности	Балл нижней облачности	Число ясных дней с общей облачностью	Число ясных дней с нижней облачностью	Число пасмурных дней с общей облачностью	Число пасмурных дней с нижней облачностью	Продолжительность солнечного сияния за год, часов	ПСС средняя за день с солнцем, часов	ΣR
Балл общей облачности		0,62	0,67	0,60	0,82	0,46	0,53	0,34	4,04
Балл нижней облачности	0,62		0,38	0,76	0,71	0,85	0,49	0,08	3,89
Число ясных дней с общей облачностью	0,67	0,38		0,60	0,47	0,30	0,30	0,52	3,24
Число ясных дней с нижней облачностью	0,60	0,76	0,60		0,58	0,54	0,52	0,20	3,8
Число пасмурных дней с общей облачностью	0,82	0,71	0,47	0,58		0,74	0,52	0,28	4,12
Число пасмурных дней с нижней облачностью	0,46	0,85	0,30	0,54	0,74		0,27	0,13	3,29
Продолжительность солнечного сияния за год, часов	0,53	0,49	0,30	0,52	0,52	0,27		0,41	3,04
ПСС средняя за день с солнцем, часов	0,34	0,08	0,52	0,20	0,28	0,13	0,41		1,96

Значения ПСС являются наиболее важными и необходимы для составления геологического кадастра исследуемой территории. В таблице 3 представлены среднемесячные и среднегодовые значения фактической и возможной ПСС для метеорологических станций Пинск, Минск, Верхнедвинск. Наибольшая ПСС в Пинске и

Верхнедвинске достигается в июле (281 час и 288 часов соответственно), в Минске – в июне, июле (270 часов). Наименьшие значения количества часов солнечного сияния наблюдаются в декабре: Пинск – 32, Минск и Верхнедвинск – 24.

Таблица 3 – Продолжительность солнечного сияния на метеорологических станциях Пинск, Минск, Верхнедвинск

Метеостанция	Продолжительность солнечного сияния, часов	Месяц												Год
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Пинск	фактическая	40	68	141	198	265	275	281	263	171	124	45	32	1897
	возможная	258	279	367	416	486	499	502	454	380	330	265	242	4480
Минск	фактическая	36	65	138	193	258	270	270	246	162	99	37	24	1793
	возможная	249	274	367	420	494	510	512	460	382	328	258	232	4485
Верхнедвинск	фактическая	32	63	138	193	276	280	288	248	154	91	31	24	1813
	возможная	241	271	367	425	505	524	525	467	383	325	250	222	4505

ПСС во многом зависит от режима облачности. Это влияние особенно отчетливо прослеживается в отношении фактической ПСС к возможной (таблица 4). В зимние месяцы (ноябрь, декабрь, январь) процентное отношение достаточно малое и составляет 10–15 %. То

есть большая облачность холодного периода года сокращает возможную ПСС более чем на 80 %. В то же время, в летний период отношение фактической ПСС к возможной достигает более 50 %.

Таблица 4 – Отношение фактической ПСС к возможной (%) на метеорологических станциях Пинск, Минск, Верхнедвинск

Метеорологическая станция	Месяц												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Пинск	15,7	24,6	38,4	47,6	54,5	55,1	56,0	58,0	45,0	37,4	16,8	13,0	42,3
Минск	14,4	23,7	37,5	46,0	52,1	52,9	52,7	53,4	42,3	30,4	14,3	10,4	40,0
Верхнедвинск	13,3	23,3	37,5	45,3	54,6	53,4	54,8	53,1	40,2	28,2	12,3	10,6	40,2

В ходе исследования проведен комплексный анализ зависимостей наблюдаемых характеристик от широты метеорологической станции. Выполненный анализ характеризует исследуемые характеристики помесячно и в целом за год, что позволило оценить влияние

сезонных факторов на исследуемые взаимосвязи. На рисунках 2–4 приведены зависимости ПСС от широты за годовой период, июль – месяц с наибольшей продолжительностью ПСС и октябрь – месяц с наилучшей корреляцией исследуемых зависимостей.

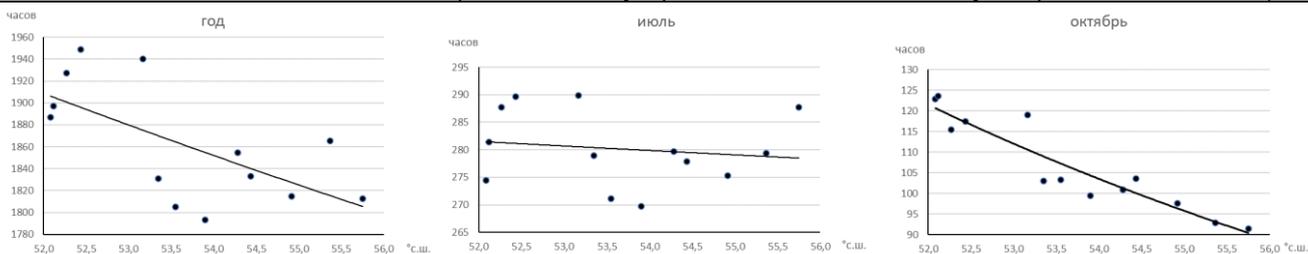


Рисунок 2 – Зависимость ПСС (часов) от широты метеорологической станции (°с. ш.)

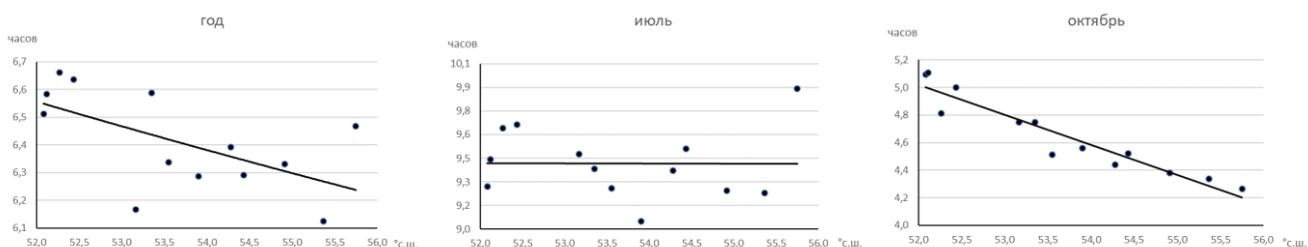


Рисунок 3 – Зависимость средней ПСС за день с солнцем (часов) от широты метеорологической станции (°с. ш.)

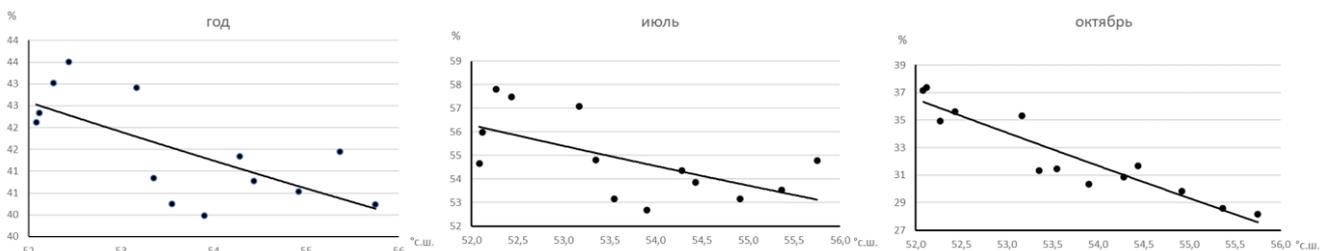


Рисунок 4 – Зависимость отношения наблюдавшейся ПСС к возможной (%) от широты метеорологической станции (°с. ш.)

В таблице 5 приведены уравнения регрессии и коэффициенты корреляции связей исследуемых характеристик солнечной радиации с широтой метеорологической станции. За отдельные месяцы приводятся худшие и лучшие оценки.

Таблица 5 – Статистические характеристики зависимостей между исследуемыми характеристиками (y) и широтой местности (x, °с. ш.)

Метеорологические характеристики	Год		Отдельные месяцы	
	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции
Продолжительность солнечного сияния, часов	$y = 44557x^{-0.797}$	0,65±0,18	$y = -0,8357x + 308,12$ (май)	0,13±0,28
			$y = 2E+09x^{4.237}$ (октябрь)	0,94±0,07
ПСС средняя за день с солнцем, часов	$y = 111,19x^{-0.716}$	0,60±0,19	$y = -0,01x + 6,4698$ (март)	0,08±0,29
			$y = -0,2187x + 16,392$ (октябрь)	0,95±0,07
Отношение фактической ПСС к возможной, %	$y = -0,779x + 83,053$	0,76±0,23	$y = -0,0979x + 52,298$ (апрель)	0,06±0,29
			$y = -128,5\ln(x) + 544,41$ (октябрь)	0,94±0,10
Балл общей облачности	$y = -0,1929x + 16,97$	0,24±0,26	$y = -0,0269x + 9,5937$ (ноябрь)	0,06±0,29
			$y = -0,3019x + 22,519$ (март)	0,37±0,24
Балл нижней облачности	$y = 4,2132\ln(x) - 12,2$	0,28±0,29	$y = 0,0268x + 1,9692$ (июнь)	0,08±0,29
			$y = 16,323\ln(x) - 60,338$ (октябрь)	0,73±0,21
Число дней ясных с общей облачностью	$y = 8E+07x^{-3.841}$	0,30±0,29	$y = -0,0436x + 4,334$ (март)	0,09±0,29
			$y = 2E+13x^{-7.486}$ (октябрь)	0,60±0,24
Число дней ясных с нижней облачностью	$y = 7113,7x^{-1.143}$	0,13±0,30	$y = -0,1135x + 10,901$ (февраль)	0,15±0,28
			$y = 6E+14x^{-8.065}$ (октябрь)	0,86±0,16
Число дней пасмурных с общей облачностью	$y = 0,0027x^{2.7386}$	0,66±0,23	$y = 0,2133x + 0,7812$ (март)	0,30±0,25
			$y = 59,257\ln(x) - 222,78$ (октябрь)	0,84±0,16
Число дней пасмурных с нижней облачностью	$y = 100,74\ln(x) - 331,55$	0,27±0,29	$y = 0,2298x - 4,1829$ (февраль)	0,23±0,26
			$y = 30,342\ln(x) - 114,68$ (октябрь)	0,56±0,25

Лучшую зависимость от широты местности демонстрирует продолжительность солнечного сияния практически в течение всего года, причем в октябре наблюдается наилучшая связь ($R = 0,94 \pm 0,07$). Такие параметры, как балл нижней облачности, число ясных дней с общей облачностью, число пасмурных дней с нижней облачностью не имеют статистически значимых связей с широтой в течение всего года и в целом за год. Наилучшие связи большинства характеристик с широтой местности приходятся на сентябрь–ноябрь, наихудшие соответствуют февралю–маю. Октябрь характеризуется определенным изменением циркуляционных процессов в атмосфере. С октября в Беларуси формируется тип барического поля, наблюдается рост атмосферного давления, образуются мощные антициклоны, приводящие в итоге к увеличению повторяемости

«бабье лето», несколько увеличивается число ясных дней с нижней облачностью (рисунок 1).

На рисунке 5 представлены графики временной изменчивости исследуемых характеристик на метеостанциях Пинск, Минск и Верхнедвинск. Отклонения от среднего для всех характеристик носят знакопеременный характер и позволяют установить определенную цикличность и тенденции развития метеорологических процессов.

В ходе анализа пространственно-временной изменчивости исследуемых характеристик были построены линейные тренды за весь репрезентативный период 1979–2022 гг., которые позволили оценить происходящие трансформации. Данные таблицы 6 представлены для метеорологической станции Минск.



Рисунок 5 – Отклонение от среднего значения исследуемых характеристик солнечной радиации на метеорологических станциях Пинск, Минск, Верхнедвинск

На территории Беларуси имеет место увеличение годовой ПСС в среднем на 46 часов за 10 лет [3], в Минске на 29 часов (таблица 6). Однако это увеличение определяется прежде всего весенне-летними месяцами. Поздней осенью и в зимний период ПСС сокращается, что очевидно определяется общепланетарными процессами, связанными с потеплением климата. Потепление для территории Беларуси особенно значимо в зимний период, когда погода становится неустойчивой. ПСС средняя за день с солнцем, балл общей и нижней облачности, число ясных дней с общей облачностью практически не изменяются в десятилетнем разрезе. Имеют место локальные трансформации месячных величин. Годовые значения числа пасмурных дней с общей и нижней облачностью уменьшаются адек-

ватно увеличению продолжительности солнечного сияния, что согласуется с ранее сделанными выводами.

Исследование временных изменений месячных и годовых значений исследуемых характеристик в Беларуси за период с 1979 по 2022 гг. показало, что имеется тенденция к долгопериодическим колебаниям (рисунок 6). Однако этот исследуемый период возможно разделить на две части с полностью противоположными трендами. Для большинства станций и характеристик переломным моментом, т. е. моментом, когда меняется направление тренда в течение периода метеорологических наблюдений, является период с 1998 по 2005 гг. Проведенный комплексный анализ позволил разбить временные ряды на две части: 1979–2003 гг. – 25 лет; 2004–2022 гг. – 19 лет (рисунок 6).

Таблица 6 – Трансформация характеристик солнечной радиации на метеорологической станции Минск / за 10 лет

Метеорологические характеристики	Месяц												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Продолжительность солнечного сияния, часов	-0,3	-4	6,9	8,7	-1,5	12,2	4,1	4,9	8,9	-2,2	-3,5	-3	28,9
ПСС средняя за день с солнцем, часов	0,1	-0,3	-0,1	0,1	-0,1	0,3	0,1	0	0,3	-0,1	-0,1	-0,3	-0,2
Балл общей облачности	0,1	0,2	0	-0,2	0,1	-0,3	-0,1	0	-0,1	0	0,1	0,1	0
Балл нижней облачности	0,2	0,3	-0,2	-0,2	-0,1	-0,4	-0,2	-0,2	-0,3	-0,1	0,1	0,1	-0,1
Число ясных дней с общей облачностью	0,1	-0,4	0	0,2	-0,2	0,1	0	-0,2	-0,2	0	-0,1	-0,1	-0,9
Число ясных дней с нижней облачностью	0	-0,6	0,1	0,5	0,2	1,0	0,4	0,3	1,1	0,3	-0,3	-0,1	3
Число пасмурных дней с общей облачностью	0,5	0,5	-0,1	-0,6	-0,5	-1,5	-1,0	-0,5	-0,9	-0,1	0,1	0,2	-4,1
Число пасмурных дней с нижней облачностью	0,6	0,4	-0,9	-0,6	-0,1	-0,7	-0,3	-0,4	-0,3	-0,3	-0,6	0	-3,6

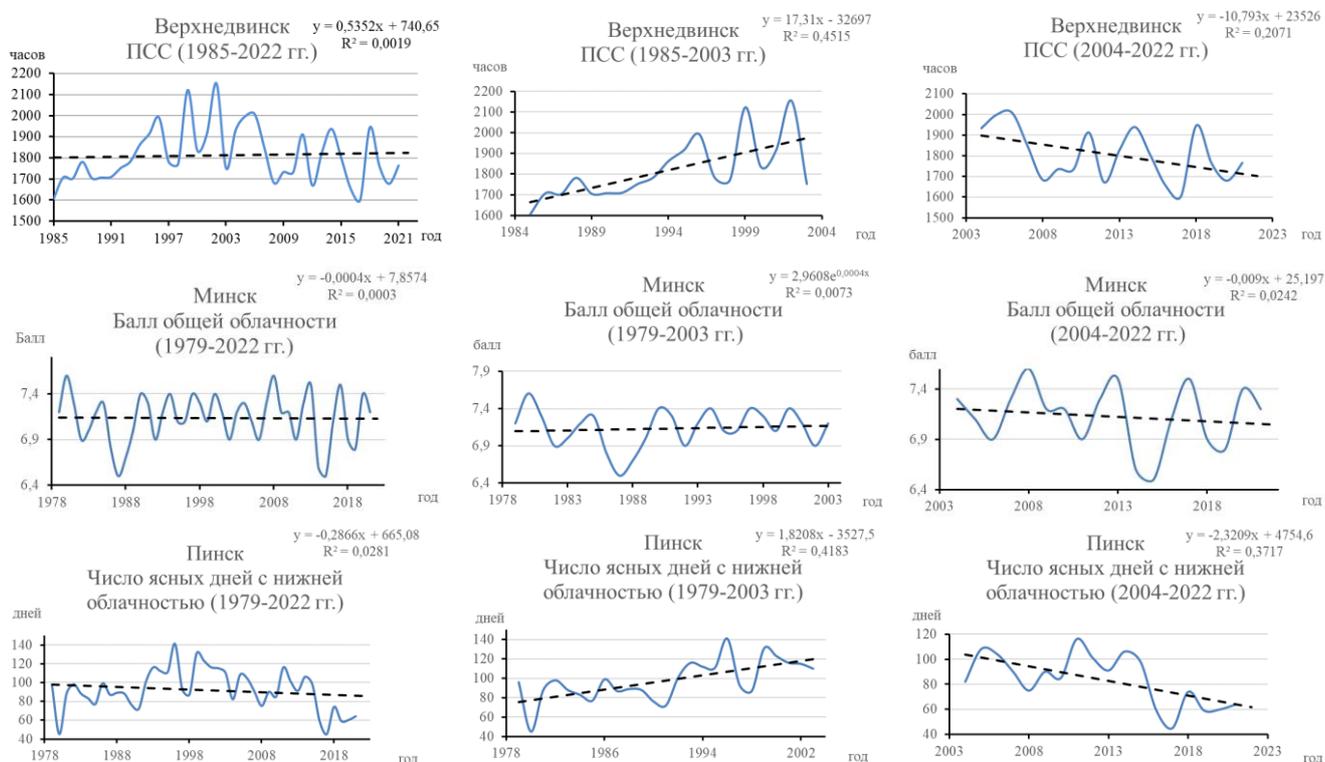


Рисунок 6 – Временная изменчивость характеристик солнечной радиации

В работах [14, 15, 16 и др.] исследованы многолетние изменения потока поверхностной нисходящей коротковолновой радиации, общей облачности, влияния облачности на коротковолновый поток и связанных с ними параметров в период 1965–2005 гг. Исследования свидетельствуют о повсеместном снижении приземной солнечной радиации в период с 1950-х по 1980-е годы, так называемое «глобальное затемнение» с частичным восстановлением во многих регионах в последнее время («глобальное осветление»). Авторы считают, что наиболее вероятным объяснением являются изменения в выбросах антропогенных аэрозолей, которые привели к большему рассеянию и поглощению коротковолнового излучения в период солнечного «затемнения» и меньшему рассеиванию и поглощению в более поздний период солнечного «осветления». Подобный эффект подтверждается наблюдаемыми нами долгопериодическими колебаниями (рисунок 6) на территории Беларуси и объясняется повсеместным энергетическим переходом промышленных предприятий Беларуси на использование более экологичного газового топлива вместо нефтепродуктов в 1990-х годах.

Выводы

Полученные результаты являются ориентирующей основой для обеспечения критически важных отраслей экономики Республики Беларусь (сельское хозяйство, строительство, транспорт, чрезвычайные ситуации и др.) данными о состоянии режима солнечной радиации. Ограниченность актуальной информации (данные 15 метеорологических станций), характеризующей особенности распределения ресурсов солнечной радиации по территории Республики Беларусь предполагает широкое включение в обобщение методов аналитических расчетов и интерполяции данных. Актуальной является работа по обеспечению гелиоэнергетического кадастра Республики Беларусь информацией, позволяющей интенсифицировать развитие солнечной энергетики. Проведенные исследования показали, что ресурсы солнечной радиации распределяются неравномерно в течение года и по территории, однако их достаточно для развития гелиоэнергетики в Беларуси.

Список цитированных источников

1. Камлюк, Г. Г. Гелиоэнергетические ресурсы и перспективы развития гелиоэнергетики в Республике Беларусь / Г. Г. Камлюк // Энергетическая стратегия. – 2012. – № 6 (30). – С. 35–37.
2. Пашинский, В. А. Оценка падающей солнечной радиации на горизонтальную поверхность территории в условиях Республики Беларусь / В. А. Пашинский, А. А. Буцько, А. А. Черкасова // Экологический вестник. – 2015. – № 2 (32). – С. 77–82.
3. Мешик, О. П. Оценка гелиоэнергетических ресурсов климата Беларуси / О. П. Мешик, М. В. Борушко, В. А. Морозова // Вестник БрГТУ. – 2020. – № 2(120) : Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 93–99.
4. A. Meshyk, M. Barushka, V. Marozava, E. Sarkynov, An. Meshyk, Climate Resource Potential to Develop Solar Power in Belarus / Meshyk A. [et al.]. – E3S Web Conf., 212 (2020) 01012.
5. Климат Беларуси / Академия наук Беларуси, Комитет по гидрометеорологии МЧС Республики Беларусь; под ред. В. Ф. Логинова. – Минск : Институт геологических наук АН Беларуси, 1996. – 234 с.
6. Справочник по климату Беларуси: в 6 ч. / Под. общ. ред. В. И. Мельника. – Минск : Минприроды, 2007. – Часть 5. Влажность воздуха. Солнечное сияние. Метеорологическая дальность видимости. – 48 с.
7. Справочник по климату Беларуси: в 6 ч. / Под. общ. ред. В. И. Мельника. – Минск : Минприроды, 2007. – Облачность. Атмосферные явления. – 56 с.
8. Климатический кадастр Республики Беларусь. Метеорологический ежегодник. – Минск : Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды, 1979–2022 гг.
9. Государственный кадастр возобновляемых источников энергии [Электронный ресурс] / Минприроды Респ. Беларусь. – Минск, 2020. – Режим доступа : http://www.minpriroda.gov.by/ru/new_url_19948904-ru/. – Дата доступа : 20.04.2023.
10. Борушко, М. В. Обеспеченность данными гидрометеорологических наблюдений проектной мелиоративной практики / М. В. Борушко // Мелиорация и сельское строительство. Поиск молодежи: Сборник научных трудов по материалам III Республиканской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и соискателей, посвященной 100-летию мелиоративно-строительного факультета / Белорусская государственная сельскохозяйственная академия; под ред. Р. А. Другомилова. – Горки : УО БГСХА, 2019. – С. 12–16.
11. Мешик, О. П. Продолжительность солнечного сияния как основной фактор, формирующий гелиоэнергетические ресурсы климата Беларуси / О. П. Мешик, М. В. Борушко, М. М. Мирзоев, В. А. Морозова, К. О. Мешик // Peasant. – 2022. – № 3 (96). – С. 127–133.
12. Метеопрогностическое регулирование в гелиоэнергетике / О. П. Мешик [и др.] // Вестник БрГТУ. – 2022: Технические науки (строительство, машиностроение, геоэкология); экономические науки. – № 3 (129). – С. 40–42.
13. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидрометеорологическая деятельность. Порядок осуществления приземных метеорологических наблюдений : ТКП 17.10-45-2021 (33140). – Введ. 31.12.2021. – Минск : Минприроды Респ. Беларусь, 2021. – 23 с.
14. M. Wild (2009), Global dimming and brightening: A review, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, Climate and Dynamics., 114, D10. <https://doi.org/10.1029/2008JD011470>.
15. Norris, J. R., and M. Wild (2007), Trends in aerosol radiative effects over Europe inferred from observed cloud cover, solar “dimming,” and solar “brightening,” J. Geophys. Res., 112, D08214. <https://doi.org/10.1029/2006JD007794>.
16. Martin Wild, Barbara Trüssel, Atsumu Ohmura, Charles N. Long, Gert König-Langlo, Ellsworth G. Dutton, Anatoly Tsvetkov (2009), Global dimming and brightening: An update beyond 2000, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, Climate and Dynamics., 114, D10. <https://doi.org/10.1029/2008JD011382>.

References

1. Kamlyuk, G. G. Gelioenergeticheskie resursy i perspektivy razvitiya gelioenergetiki v Respublike Belarus' / G. G. Kamlyuk // Energeticheskaya strategiya. – 2012. – № 6 (30). – S. 35–37.
2. Pashinskij, V. A. Ocenka padayushchej solnečnoj radiacii na gorizontal'nyu poverhnost' territorii v usloviyah Respubliki Belarus' / V. A. Pashinskij, A. A. But'ko, A. A. Cherkasova // Ekologicheskij vestnik. – 2015. – № 2 (32). – S. 77–82.
3. Meshik, O. P. Ocenka gelioenergeticheskikh resursov klimata Belarusi / O. P. Meshik, M. V. Borushko, V. A. Morozova // Vestnik BrGTU. – 2020. – № 2(120) : Vodohozajstvennoe stroitel'stvo, teploenergetika i geoekologiya. – S. 93–99.
4. A. Meshyk, M. Barushka, V. Marozava, E. Sarkynov, An. Meshyk, Climate Resource Potential to Develop Solar Power in Belarus / Meshyk A. [et al.]. – E3S Web Conf., 212 (2020) 01012.
5. Klimat Belarusi / Akademiya nauk Belarusi, Komitet po gidrometeorologii MCHS Respubliki Belarus'; pod red. V. F. Loginova. – Minsk : Institut geologicheskikh nauk AN Belarusi, 1996. – 234 s.
6. Spravochnik po klimatu Belarusi: v 6 ch. / Pod. obshch. red. V. I. Mel'nika. – Minsk : Minprirody, 2007. – CHast' 5. Vlazhnost' vozduha. Solnechnoe siyanie. Meteorologicheskaya dal'nost' vidimosti. – 48 s.
7. Spravochnik po klimatu Belarusi: v 6 ch. / Pod. obshch. red. V. I. Mel'nika. – Minsk : Minprirody, 2007. – Oblachnost'. ëAt-mosferye yavleniya. – 56 s.
8. Klimaticheskij kadastr Respubliki Belarus'. Meteorologicheskij ezhemesyachnik. – Minsk : Republikanskij centr po gidrometeorologii, kontrolyu radioaktivnogo zagryazneniya i monitoringu okruzhayushchej sredey, 1979–2022 gg.
9. Gosudarstvennyj kadastr vozobnovlyаемых istochnikov energii [Elektronnyj resurs] / Minprirody Resp. Belarus'. – Minsk, 2020. – Rezhim dostupa : http://www.minpriroda.gov.by/ru/new_url_19948904-ru/. – Data dostupa : 20.04.2023.
10. Borushko, M. V. Obespechennost' dannymi gidrometeorologicheskikh nablyudenij proektnoj meliorativnoj praktiki / M. V. Borushko // Melioraciya i sel'skoe stroitel'stvo. Poisk molodezhi: Sbornik nauchnykh trudov po materialam III Respublikanskoj konferencii studentov, magistrantov, aspirantov i soiskatelej, posvyashchennoj 100-letiyu meliorativno-stroitel'nogo fakul'teta / Belorusskaya gosudarstvennaya sel'skohozajstvennaya akademiya: pod red. R. A. Drugomilova. – Gorki : UO BGSKHA, 2019. – S. 12–16.
11. Meshik, O. P. Prodolzhitel'nost' solnechnogo siyaniya kak osnovnoj faktor, formiruyushchij gelioenergeticheskie resursy klimata Belarusi / O. P. Meshik, M. V. Borushko, M. M. Mirzoev, V. A. Morozova, K. O. Meshik // Peasant. – 2022. – № 3 (96). – S. 127–133.
12. Meteoprognosticheskoe regulirovanie v gelioenergetike / O. P. Meshik [i dr.] // Vestnik BrGTU. – 2022: Tekhnicheskie nauki (stroitel'stvo, mashinostroenie, geoekologiya); ekonomicheskie nauki. – № 3 (129). – S. 40–42.
13. Ohrana okruzhayushchej sredey i prirodopol'zovanie. Gidrometeorologicheskaya deyatel'nost'. Poryadok osushchestvleniya prizemnykh meteorologicheskikh nablyudenij : TKP 17.10-45-2021 (33140). – Vved. 31.12.2021. – Minsk : Minprirody Resp. Bela-rus', 2021. – 23 s.
14. M. Wild (2009), Global dimming and brightening: A review, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, Climate and Dynamics., 114, D10. <https://doi.org/10.1029/2008JD011470>.
15. Norris, J. R., and M. Wild (2007), Trends in aerosol radiative effects over Europe inferred from observed cloud cover, solar “dim-ming,” and solar “brightening,” J. Geophys. Res., 112, D08214. <https://doi.org/10.1029/2006JD007794>.
16. Martin Wild, Barbara Trüssel, Atsumu Ohmura, Charles N. Long, Gert König-Langlo, Ellsworth G. Dutton, Anatoly Tsvetkov (2009), Global dimming and brightening: An update beyond 2000, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, Climate and Dynamics., 114, D10. <https://doi.org/10.1029/2008JD011382>.

Материал поступил 30.06.2023, одобрен 30.06.2023, принят к публикации 04.07.2023.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ В АПК

А. Г. Челпик¹, Ю. А. Мажайский², Ю. В. Доронкин³, Е. А. Шашурина⁴

¹ Д. э. н., проф. ЧОУ ВО «Московский университет имени С.Ю. Витте» (Рязанский филиал); Рязань, Россия, e-mail: a-chepik@mail.ru

² Д. с.-х. н., проф., гл. науч. сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации (Мещерский филиал, г. Рязань); Рязань, Россия, e-mail: director@mntc.pro

³ К. с.-х. н., доцент, ГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева»; Рязань, Россия, e-mail: yury.doronkin@yandex.ru

⁴ К.с.-х.н., доцент ГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева»; Рязань, Россия; e-mail: phelkalena@mail.ru

Реферат

Проблемы определения экологической эффективности на различных уровнях хозяйствования приобретают первостепенное значение в условиях возрастающего загрязнения окружающей среды.

Исходя из экономических интересов государства, предприятия (организации), отдельного работника и т. д., формируются требования к состоянию экологических систем, которые непосредственно влияют на методику определения экологической эффективности, как сопоставления совокупных затрат на экологию и суммарного результата от прироста стоимости выпускаемой продукции, поддержание и улучшение здоровья населения данной территории, улучшения доступа к природным объектам и культурным ценностям, повышения уровня привлекательности экологически чистых территорий, возможность получения экологически чистой продукции.

Подходы к определению экологической эффективности: нормативно-технический, социальный, рыночный.

Информационная база для проведения расчетных обоснований складывается из данных государственных органов статистики, экологического надзора и мониторинга состояния земельных ресурсов, водного и воздушного бассейнов, флоры и фауны на территориях изучаемых экологических систем.

Ключевые слова: экологическая система, организационно-экономический механизм хозяйствования, методические подходы, оценка экологической эффективности, инвестиции, социальные факторы, рыночные отношения.

METHODOLOGICAL APPROACHES TO DETERMINING ENVIRONMENTAL EFFICIENCY IN AIC

A. G. Chepik, Yu. A. Mazhaysky, Yu. V. Doronkin, E. A. Shashurina

Abstract

The problems of determining environmental efficiency at various levels of management are of paramount importance in the conditions of increasing environmental pollution.

Based on the economic interests of the state, enterprise (organization), individual employee, etc. requirements are formed for the state of ecological systems that directly affect the methodology for determining environmental efficiency, such as comparing the total environmental costs and the total result from the increase in the cost of products, maintaining and improving the health of the population of a given territory, improving access to natural objects and cultural values, increasing the attractiveness of environmentally friendly territories, the possibility of obtaining environmentally friendly products.

Approaches to the definition of environmental efficiency: regulatory, technical, social, market.

The information base for carrying out calculation justifications consists of data from state statistical bodies, environmental supervision and monitoring of the state of land resources, water and air basins, flora and fauna in the territories of the studied ecological systems.

Keywords: ecological system, organizational and economic mechanism of management, methodological approaches, environmental efficiency assessment, investments, social, market.

Введение

Парадигма развития экономики АПК и экологическая эффективность

Парадигма как совокупность научных воззрений ученых и практиков отражает действие известных объективных законов и закономерностей, позволяющих с достаточно высокой точностью предвидеть тенденции и характер протекания экономических процессов в той или иной организационно-экономической системе хозяйствования. Ее суть в сфере АПК России сводится к динамичному развитию аграрного производства с учетом экологических требований к системе ведения сельского хозяйства.

При существенном росте численности населения, повышении уровня потребления продовольствия, социально-культурных услуг и благ современной цивилизации в возрастающей значимости встает проблема продовольственной безопасности, экологической безопасности, совершенствования методов определения и нормирования использования биоресурсов. Увеличение техно-

генной нагрузки на экосистемы, природные аномалии и катаклизмы требует своевременного принятия решений по сохранению и улучшению окружающей природы и экосистем, оказавшихся под интенсивным воздействием хозяйственной деятельности человека. Дальнейшее повышение эффективности производства уже не может ограничиваться экономической эффективностью, которая в условиях рыночных отношений ориентирована на получение максимума прибыли. Эта тенденция является очень опасной, если не брать во внимание оценку производственно-технологической, экономической, социальной и экологической эффективности. Последняя стала решающей в обосновании длительных перспектив хозяйствования. Ее критерии и системы показателей дают возможность количественно определить состояние окружающей среды и при заданных технологиях размеры необходимых инвестиций для поддержания и улучшения экосистем, входящих в зоны интенсивного земледелия.

Особенности методических подходов к определению экологической эффективности на различных уровнях хозяйствования

Продолжая рассмотрение основных результатов исследования по проблемам экологической эффективности [3], сегодня более подробно остановимся на разработанных, а также частично апробированных методиках ее определения на объектах хозяйствования в АПК.

Когда мы говорим об эффективности, то подразумеваем сопоставление совокупных затрат с конечными результатами хозяйствования (в большинстве случаев периодом отсчета является год). В рыночной экономике, которая ориентирована на извлечение максимума прибыли приемлемым сроком окупаемости инвестиций является 2-3 года (по сравнению с советским периодом, нормативный срок окупаемости составлял 3–5 лет). Из новейшей экономической истории известно, что в V технологическом укладе разработка освоение и внедрение в производство новых технологий должны составлять не более двух лет. В противном случае производитель товаров (услуг) может оказаться не конкурентно способным. Будем точнее и скажем, что в мировом автомобилестроении приблизительно каждые 6 месяцев появляется новая модель легкового автомобиля от производителя, занимающего лидирующие позиции на рынке.

В условиях глобализации наукоемкие технологии становятся настолько дорогостоящими, что требуют объединения усилий множества структур в пределах одного государства либо объединения усилий ряда стран. В этом случае проблемы экологичности производства становятся делом групповых и межгосударственных интересов. Отсюда прослеживается ответ на вопрос о возможности и необходимости снижения техногенной нагрузки на экологические системы.

На планетарном уровне ни США, ни Китай, ни ряд других развитых стран в реальном секторе экономики не принимают должных мер по сохранению и улучшению окружающей среды. В результате общий уровень загрязнения атмосферы (воздуха), воды и почвы приобретает угрожающие человечеству размеры, если к этому прибавить войны, изменения климата и природные катаклизмы, то становится совершенно очевидной необходимость определения показателей экологичности, но, в первую очередь, определения экологической эффективности как важнейшего фактора возможности долгосрочного хозяйствования на земле. Наступило время, когда на одной чаше весов оказались прибыль, а на другой – экологичность хозяйствования, под которой в научной литературе подразумевают соблюдение научно-обоснованных норм загрязнения окружающей среды, т. е. ПДК (предельных доз концентрации) вредных для человека веществ, сохранения природного фона, сложившегося за многие годы существования естественных биоценозов.

Понятно, что остановить научно-технический прогресс невозможно, но возможно сделать этот процесс регулируемым, более понятным, более экономически эффективным.

Как показывают конструктивные шаги, направленные на повышение экологической эффективности в нашей стране и за рубежом, дело это в геометрической прогрессии становится более затратное, если своевременно не принимать мер по регулированию загрязнения и деградации окружающей среды в зонах активного ведения сельского хозяйства.

Всеобщей современной тенденцией стало повышение доли государства в организационно-экономическом механизме хозяйствования. Толчком в этом направлении стала эпидемия Covid-19, потому что экономический интерес государства становится приоритетным над групповыми и частными интересами. Меры, принимаемые государством, являются всеобъемлющими, а решения, обязательные для исполнения всеми субъектами хозяйствования и гражданами. Количественно доля государства в решении стратегических вопросов в разных странах увеличивается до 20–30 % и выше. Пример КНР является поучительным в области распространения государственного регулирования экономикой страны. Не менее убедительным примером является усиление мер государственного регулирования против санкционного давления коллективного Запада на Россию и его АПК. Однако агрессивное отрицание многополярности мира, а также всего российского, прослеживалось на всем протяжении новейшей истории, что очень часто отрицательно влияло на состояние окружающей среды.

Таким образом, необходимость определения экологической эффективности для субъектов хозяйствования, а также инвестирование в природоохранную деятельность, является обязательным условием простого и расширенного воспроизводства. Основные подходы к определению экологической эффективности представлены в следующей таблице 1.

Таблица 1 – Методические подходы к определению экологической эффективности

Подходы	Критерии, показатели	Источники информации
1. Нормативно-технический	Минимум (оптимум) загрязнения окружающей среды. Показатели ПДК по основным видам опасных для человека и экологической системы веществ. Бально-рейтинговый метод оценки	Результаты мониторинга, данные органов государственного надзора РФ
2. Социальный	Зарботная плата и иные выплаты, доступ к материальным и культурным благам: санатории, зоны отдыха, музеи, театры, выставки и т. д. Продолжительность жизни (безболезненного периода) работника. Доступ к биосферным благам (лес, река, озеро, экологически чистая, обустроенная территория и т. д.). Срок окупаемости инвестиций на экологию (Т) $T = \frac{\Delta\Pi}{\Sigma I} \text{ (лет)}$ $\Delta\Pi$ – годовой прирост прибыли, тыс. руб. ΣI – сумма инвестиций, тыс. руб.	Данные государственной статистики, годовые отчеты субъектов хозяйствования. Заключение экспертов.
3. Рыночный (товарно-денежных отношений)	Максимум прибыли (минимум затрат) Показатели: – размер единовременных капитальных вложений в год, тыс. руб.; – уровень рентабельности (N), % $N = \frac{\Pi}{\Sigma I} * 100\%$ Π – прибыль за год, тыс. руб. ΣI – инвестиции в год, тыс. руб.	Документы о конъюнктуре рынка, в т. ч. земельных угодий водных ресурсов воздушного бассейна. Нормы и нормативы, результаты кадастровой оценки, результаты торгов, конкурсов, грантов и т. д.

В качестве пояснений к таблице 1 необходимо иметь в виду, что критерии и показатели экологической эффективности являются системными, т. е. выделенные подходы: нормативно-технический, социальный и рыночный – тесно взаимосвязаны и должны рассматриваться как единое целое. Мы предполагаем, что могут быть использованы и другие подходы к определению экологической эффективности, которые будут более детально характеризовать необходимые затраты на экологию и ожидаемые конечные результаты в тех или иных условиях хозяйствования.

Суть нормативно-технического подхода сводится к тому, что на субъектах хозяйствования наряду с органами государственного надзора организуются экологические посты, которые осуществляют мониторинг состояния воздушного бассейна, почвы, воды и т. д. Сегодня эта работа только начинает практически реализовываться на местах. Основными источниками данных о состоянии окружающей среды являются сведения (отчеты) государственных органов статистики и наблюдения частных компаний. Нередко такая информация не является общедоступной, представляется в ограниченном объеме и несвоевременно, т. е. после того, как случилось событие отрицательного или критического воздействия на биосистему. Умалчивание фактов экологических нарушений создают условия для образования зон и ареалов повышенного загрязнения. Чем выше ПДК, тем затратнее осуществлять мероприятия по восстановлению экологичности среды.

Главным, наиболее распространенным способом повышения экологической эффективности является наличие системы очистки, очистные сооружения, которые реально вводятся в строй и длительный период сохраняют свою работоспособность на субъекте хозяйствования и окружающей его территории. На практике нередко приходится частично или полностью останавливать технологический процесс, являющийся причиной экологических загрязнений, и природа в силу своих естественных особенностей восстанавливает безопасный экологический фон. Сегодня этот прием срывает все хуже и хуже, т. к. системное загрязнение экологии требует весьма длительных периодов самоочистки. Например, преодоление на Земле углеродного следа, по подсчетам ученых, требует 50–100 лет, что в принципе невозможно. Приблизительно такой же промежуток времени необходим для восстановления и самоочистки интенсивно используемых сельскохозяйственных угодий, о чем пишет в своей монографии профессор А. М. Югай [6].

Нормативно-технический подход к оценке экологической эффективности успешно реализуется с помощью бально-рейтинговой оценки влияния отрицательных факторов (ПДК отдельных видов веществ и их соединений). Не излагая подробности, что не является основной целью настоящей работы, можем сказать, что этот подход уже используется в теории и практике современного хозяйствования [7]. Профессору А. В. Васильеву удалось провести бально-рейтинговое ранжирование токсического воздействия нефтесодержащих отходов. Вместе с тем его обоснования не имеют выхода на стоимостную оценку и на определение суммарных затрат инвестиций, необходимых на приведение изучаемого объекта к научно-обоснованным дозам ПДК, а также не указано за счет каких источников это будет осуществляться.

Преимуществом рассматриваемого подхода является высокая достоверность конечных результатов, необходимых для проведения дальнейших расчетов. Определение размеров ожидаемых инвестиций для устранения отрицательного воздействия опасных веществ, поддержания их безопасного уровня либо коренного улучшения рассматриваемой экологической системы является предметом отдельного исследования.

Для примера рассмотрим определение затрат на восстановление экологической безопасности на земельном участке интенсивного использования в сельскохозяйственном предприятии.

На рисунке 1 представлено распределение зон по уровню опасности для человека (работника организации). Для I зоны критического загрязнения определяется ее площадь, далее с помощью норматива удельных затрат на восстановление 1 га территорий определяем суммарный объем необходимых инвестиций. В дальнейшем устанавливается исполнитель работ, сроки их проведения, проводится после операционный мониторинг. Аналогично определяются площадь II и III зоны риска, удельные затраты на 1 га. Затем их умножением определяется суммарный объем инвестиций.

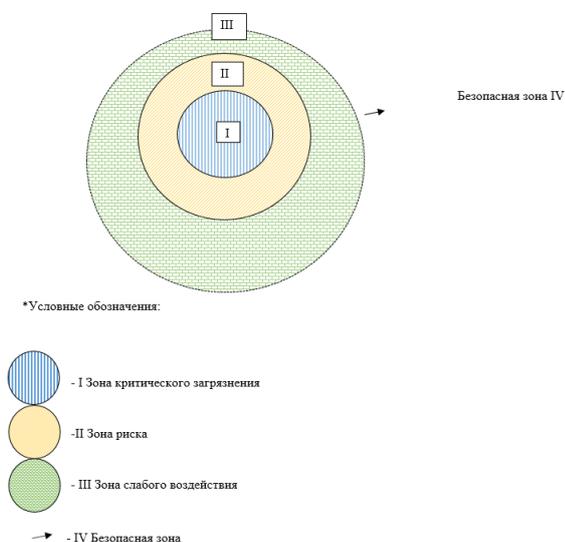


Рисунок 1 – Классификация зон загрязнения экологической системы отравляющими веществами

В соответствии с планом использования данного участка и технологическими картами организуется производство основной, дополнительной и вспомогательной сельскохозяйственной продукции, которая реализуется на рынке и частично может использоваться в самом хозяйстве. Суммарные затраты, включая издержки на проведение операций по улучшению экологии, вычитаются из выручки от реализации. Полученный результат и есть ожидаемая прибыль. При проведении вычислений целесообразно затраты на улучшение экологии переносить частями в зависимости от планируемого срока окупаемости сделанных инвестиций (2–5 лет).

$$\sum I_1 = S_1 * Z_1, \quad (1)$$

где $\sum I_1$ – необходимый объем инвестиций для зоны критического загрязнения (тыс. руб.);

S_1 – площадь зоны критического загрязнения, га;

Z_1 – затраты инвестиций на 1 га тыс. руб. на преодоление экологического загрязнения.

$$\sum C_1 = ВП_1 * Ц_1, \quad (2)$$

где $ВП_1$ – выход валовой продукции сельского хозяйства (сырья) в зоне критического загрязнения (I), ц;

$Ц_1$ – средняя фактическая цена реализации 1 ц сельскохозяйственной продукции (сырья), руб;

$\sum C_1$ – выручка от реализации сельскохозяйственной продукции (сырья) полученной в зоне критического загрязнения (I), тыс. руб.

Если принимать срок окупаемости инвестиций на преодоление экологического загрязнения в зоне I, как 3 года, то эффективность хозяйствования, включая экологическую эффективность определяется так:

$$Э_1 = \sum C_1 - (МДЗ_1 + \frac{1}{3} \sum I_1), \quad (3)$$

где $МДЗ_1$ – материально-денежные затраты, связанные с производством сельскохозяйственной продукции (сырья) в зоне критического загрязнения (I), тыс. руб.

$Э_1$ – экономическая эффективность производства сельскохозяйственной продукции (сырья) в зоне критического загрязнения (I), тыс. руб. (+ прибыль, – убыток);

На этом примере мы показали, как может определяться экономическая эффективность хозяйствования с учетом издержек связанных с улучшением экологии.

Конечным этапом в определении экологической эффективности в стоимостной оценке будет сопоставление дополнительно получаемой выручки от улучшения экологии с объемом необходимых затрат на улучшение экологической системы.

Самым важным этапом является суммарная оценка последствий улучшения экологии. Это и будет так называемая экологическая эффективность. В нашем примере она будет заключаться в следующем:

- увеличение площади сельскохозяйственных земель экологически чистых для производства сельскохозяйственной продукции. Следовательно, можно ожидать при использовании традиционной технологии увеличения объемов производства товарной продукции, ее реализации и получения дополнительной прибыли;

- производство органически чистых сельскохозяйственных продуктов дают преимущества при их реализации и, как правило, более высокие цены, что сопровождается приростом прибыли и т. д.

Восстановление экологической безопасности на данной территории влияет на многие другие факторы, что в соответствии с выбранным критерием и системой показателей позволяет более успешно хозяйствовать, повышает ее экологическую привлекательность.

Экологическая эффективность, определенная с помощью нормативно-технического подхода, одновременно оказывает влияние на показатели социальной и рыночной оценок.

Так, с позиции улучшения социального благополучия работников и жителей экологически восстановленной территории мы можем констатировать экономию средств от уменьшения заболеваемости, увеличение производительности труда, и как следствие, рост заработной платы, основных работников и членов их семей, повышение уровня экологической безопасности, уменьшение текучести кадров и ряд других преимуществ, связанных с социальным подходом, например, увеличение продолжительности активного участия работников в производстве после выхода на пенсию.

Теперь немногословно о рыночном подходе к оценке экологической эффективности, основанном на реализации в обществе его основного закона спроса и предложения.

Рыночная оценка экологической эффективности связана также с реализацией и некоторых других объективных законов: стоимости, перехода количественных изменений в качественные, закона соответствия производственных отношений уровню и характеру развития производительных сил и др.

Объектом экономических отношений при рыночной оценке экологической эффективности являются экологические системы, а точнее состояние их элементов и способность удовлетворить тем или иным потребностям человека. Человек как составляющая экологической системы выступает в роли субъекта управления, организующего и управляющего начала. Хозяйственная деятельность человека в условиях, возрастающих техногенных нагрузок на экосистемы, привела к необратимым последствиям для многих экосистем. Теперь для их восстановления и самовосстановления требуются значительные средства и время на проведение специальных мероприятий.

Сегодня объектом рыночных отношений становятся вода, воздух, почва, ландшафтные объекты, производственная и социальная инфраструктура. Они являются товарами особого вида. Приобретение их пользователями и длительное использование при гарантированном качестве, безусловно, оказывают стимулирующее воздействие как на здоровье человека, так и на его производительную силу. При проведении сравнительной оценки идентичных технологий, в выигрыше окажутся те, которые осуществляют свою деятельность в лучших экологических условиях. Ежегодный прирост прибыли и будет денежной оценкой экологической эффективности субъекта хозяйствования, но положительная составляющая экологической эффективности этим не ограничивается. Общее оздоравливающее воздействие благополучной экологической системы находит свое отражение в действии множества факторов различной принадлежности. Все они, в пересчете в денежные единицы, отражают прямую и косвенную оценку экологической эффективности.

В отличие от всех других видов эффективности: производственно-технологической, экономической и социальной эффективности, экологическая эффективность проявляется менее очевидно, имеет более продолжительные сроки окупаемости, ее цикличность обусловлена влиянием ряда естественных и экономических условий. Например, выявленная и определяемая на протяжении многих лет земельная рента I и земельная рента II, соответственно, по плодородию и по месторасположению земельного участка, широко используется в системе товарно-денежных отношений и мало кто связывает это с экосистемами.

Не вызывает сомнений, что сегодня миграция рабочей силы, переселение людей на постоянное место жительства связаны с экологической привлекательностью территорий: наличием леса, реки, озера, возможностью заниматься сельским домашним хозяйством и т. д.

Поэтому рыночная оценка экологической эффективности, с позиции многоукладной экономики, имеет свои преимущества и недостатки. Так, чем привлекательней элемент экологической системы, тем дороже доступ к нему.

Таким образом, рыночная оценка экологической эффективности выступает в виде экономических отношений между субъектами хозяйствования, между различными категориями пользователей экологическими благами. Более детальное рассмотрение этого вопроса является предметом самостоятельного исследования

Заключение

Изучение основ экологической эффективности: теоретических обоснований, методических подходов и практики их реализации в АПК и других сферах экономики позволили сформулировать ряд выводов, имеющих общий характер.

Экологическая эффективность, сравнительно новая категория в системе научных взглядов, является величиной, измеряемой как в натуральных, коэффициентных, так и в стоимостных показателях. Последствие экологического загрязнения отражается на макро- мезо- и микро-уровнях хозяйствования.

В условиях всеобщего распространения рыночной экономики возрастает необходимость государственного регулирования эко-

логических проблем с помощью не только правовых, но и товарно-денежных отношений, что на первый взгляд кажется неадекватным для решения столь разноплановых явлений.

Особым, сильно уязвимым к изменениям экологии, является АПК и особенно сельское хозяйство.

Рассматриваемые методические подходы к определению экологической эффективности: нормативно-технический, социальный и рыночный являются наиболее изучаемыми и достаточно адаптированными к стоимостной оценке. С их помощью можно оценить не только физические, химические, биологические изменения экологических систем, но и их воздействие на социальную среду, человека, на характер рыночных отношений, в которых объектом оценки становятся природно-экономические явления и процессы.

Список цитированных источников

1. Анисимова, А. В. Экологический менеджмент: учебное пособие / А. В. Анисимов. – М.: КНОРУС, 2013 – 352 с.
2. Оценка воздействия на окружающую среду: учебное пособие. – 2-е изд. / В. М. Питулько [и др.]. – М.: Издательский центр «Академия», 2016. – 400 с.
3. Экологическая эффективность в системе ведения сельского хозяйства на мелиорируемых землях / А. Г. Чепик [и др.]. – Вестник Брестского государственного технического университета. – 2023. – № 1 (130) 2023. – С. 129–133.
4. Прикладная экология: учебное пособие – 2-е изд. / М. П. Гришко [и др.]. – СПб.: Издательство «Лань», 2018. – 268 с.
5. Экономический анализ воздействия на окружающую среду / Д. Диксон [и др.]; перевод с англ. А. Н. Сальникова / перевод с англ. А. Н. Сальникова [и др.]. – М.: Вита-Пресс, 2000. – 270 с.
6. Методические положения рационального использования сельскохозяйственных земель с учетом агроэкологических, экономических и ресурсных ограничений в регионах России / А. М. Югай [и др.]. – М, 2009. – 203 с.
7. Васильев, А. В. Особенности мониторинга негативного воздействия нефтесодержащих отходов на биосферу / А. В. Васильев. – Тольятти, 2022.

References

1. Anisimova, A. V. Ekologicheskij menedzhment: uchebnoe posobie / A. V. Anisimova. – M.: KNORUS, 2013 – 352 s.
2. Ocenka vozdejstviya na okruzhayushchuyu sredyu: uchebnoe posobie. – 2-e izd. / V. M. Pitul'ko [i dr.]. – M.: Izdatel'skij centr «Akademiya», 2016. – 400 s.
3. Ekologicheskaya effektivnost' v sisteme vedeniya sel'skogo hozyajstva na melioriruemykh zemlyakh / A. G. Chepik [i dr.]. – Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2023. – № 1 (130) 2023. – S. 129–133.
4. Prikladnaya ekologiya: uchebnoe posobie – 2-e izd. / M. P. Grishko [i dr.]. – Spb.: Izdatel'stvo «Lan'», 2018. – 268 s.
5. Ekonomicheskij analiz vozdejstviya na okruzhayushchuyu sredyu / D. Dikson [i dr.]; perevod s angl. A. N. Sal'nikova / perevod s angl. A. N. Sal'nikova [i dr.]. – M.: Vita-Press, 2000. – 270 s.
6. Metodicheskie polozheniya racional'nogo ispol'zovaniya sel'sko-hozyajstvennykh zemel' s uchetoм agroekologicheskikh, ekonomicheskikh i resursnykh ogranichenij v regionah Rossii / A. M. Yugaj [i dr.]. – M, 2009. – 203 s.
7. Vasil'ev, A. V. Osobennosti monitoringa negativnogo vozdejstviya neftesoderzhashchih othodov na biosferu / A. V. Vasil'ev. – Tol'yatti, 2022.

Материал поступил 20.06.2023, одобрен 22.06.2023, принят к публикации 22.06.2023.

ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД РЫБОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В. Н. Штепа¹, В. И. Дунай², О. Н. Прокопеня³

¹Д. т. н., доцент, проректор по научной работе УО «Полесский государственный университет», Пинск, Беларусь, e-mail : tppoless@gmail.com

²К. б. н., доцент, ректор УО «Полесский государственный университет», Пинск, Беларусь, e-mail : box@polessu.by

³К. т. н., доцент, заведующий кафедрой автоматизации технологических процессов и производств УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail : olegprokopeny@mail.ru

Реферат

Разработана и испытана в лабораторных условиях схема очистки сточных вод рыбоперерабатывающих предприятий. Результаты испытаний показали высокое качество очистки воды: редукция по показателям «Концентрация хлоридов» и «Химическое потребление кислорода» составила 98,6 % и 99,5 %, соответственно. Выявленный недостаток, состоящий в потере функциональности ионообменных фильтров в связи с образованием слизистой жироподобной оболочки на ионитах, устранен внедрением вместо ионообменных фильтров электролизной установки.

При наличии автоматизированной системы управления данная установка обеспечивает требуемое качество очистки. В то же время она позволяет утилизировать отходы фильтрации с получением на их основе гипохлоритного дезинфектанта, который может быть востребован в различных отраслях.

Ключевые слова: очистка сточных вод, ионообменные фильтры, электролизная установка, гипохлорит.

APPLICATION OF THE AUTOMATIC ELECTROLYSIS PROCESSES IN WASTE WATER PURIFICATION SYSTEMS FROM FISH PROCESSING ENTERPRISES

V. N. Shtepa, V. I. Dunay, O.N. Prokopeny

Abstract

The scheme of the waste water treatment for fish processing enterprises developed and tested in laboratory conditions. The results of test demonstrate high-quality water treatment: reduction according to the indicators "Concentration of chlorides" and "Chemical oxygen consumption", respectively, 98.6% and 99.5%. At the same time, the disadvantage associated with the loss functionality ion-exchange filters because of formation of the mucous fat-like shell on ion exchangers. To eliminate the disadvantage electrolysis installation was applied instead of ion-exchange filters.

In the presence of an automated control system, this installation provides the required cleaning quality. At the same time, it allows us to dispose of filtering waste with the receipt of a hypochlorite disinfectant on their basis, which can be in demand in various branches.

Keywords: waste water purification, ion-exchange filters, electrolysis installation, hypochlorite.

Введение

При посоле рыбы и икры используют крепкие (140–160 г/л) растворы хлорида натрия [1]. Загрязнение белками, жирами и азотистыми соединениями делает их непригодными для многократного использования без специальной очистки. Более того есть некоторые виды бактерий и дрожжевых грибов, способных жить в крепких солевых растворах, которые вызывают в тузлуке гнилостное брожение, что очень опасно [2].

Типичные показатели отработанного рассола для засолки рыбы предприятия рыбопереработки представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Состав отработанного рассола для засолки рыбы

Показатель	ГОСТ 7448-2006
Азот общий, %	–
Азот аммонийный, мг/л	не более 29,2
Жиры, мг/л	не более 43,3
Фосфор, мг/л	не более 22,5
Хлориды, мг/л	–
Сульфаты, мг/л	не более 100
Химическое потребление кислорода (ХПК), мгО ₂ /л	не более 30

Обычно сброс сточных вод осуществляется в местные водоемы (пресные или соленые) или в канализационную систему [3]. При этом промышленные стоки предприятий рыбопереработки могут быть токсичными для рыбы и прочих водных организмов [1].

Соответственно, процессы на всех стадиях рыбопереработки подлежат контролю и надзору за соблюдением требований к выбросам, зафиксированным в Директиве ЕС 76/464/ЕЕС, и очистке городских сточных вод (Директива 91/271/ЕЕС). Рамочная директива ЕС по воде 2000/60/ЕС требует от рыбоперерабатывающих предприятий выполнения природоохранных мероприятий для достижения оптимального экологического и химического состояния поверхностных вод [2, 3].

Анализ состояния проблемы

Сточные воды, сбрасываемые рыбоперерабатывающими предприятиями, как правило, разделяются на четыре категории [4]:

- незагрязненные – от барометрических конденсаторов и от освежения оборотной воды с температурой +25 °С – +40 °С;
- загрязненные, содержащие жиры;
- загрязненные нежирные;
- тузлуки.

Первая категория может сбрасываться в водоёмы и канализацию без очистки. Вторая и третья категории обычно объединяются, и для их очистки используется комбинация разных способов [5]. Что касается тузлука, то перспективным является его повторное использование после регенерации.

Известны общие способы обработки тузлуков [5]:

- 1) добавление щелочи до осаждения белка, содержащегося в тузлуке, в изотонической точке, последующая фильтрация, а затем нейтрализация кислотой;
- 2) фильтрация тузлука через активированный уголь, что обеспечивает извлечение до 70 % азотистых веществ;
- 3) нагрев тузлука при температуре +103 °С в течение 15 мин, а затем отделение белковой взвеси центрифугированием;
- 4) очистка тузлука с помощью ультрафильтрации и диализа;
- 5) применение для очистки тузлука различных коагулянтов.

Так обработку тузлука хлорной известью производят в отдельном помещении с вытяжной вентиляцией [6]. Тузлук подают в приемный колодец, где он смешивается с поступающей туда из приготавителя 30–50 %-ной (по активному хлору) известковой суспензией хлорной извести. Перемешивание тузлука с суспензией производится с помощью сжатого воздуха или лопастей мешалки в течение 2–3 минут. Вспененный тузлучный раствор из приемного колодца перекачивают центробежным насосом в отстойник для отстаивания в течение 1 часа. Очищенный тузлук подают на подкрепление. Осадок из отстойника удаляют. Расход хлорной извести, содержащей 25 % активного хлора, составляет 10 г на 1 дм³ тузлука (примерно 1 % объема тузлука).

Перспективной является ультрафильтрация на основе мембран, например типа МФАС-Б, МФАР-Б. Это микропористый пленочный материал, изготовленный на основе смеси ацетатов целлюлозы, общей пористостью 80–85 %. При этом, актуальным направлением является комбинирование физико-химических методов с ультрафильтрацией, к которым относятся [4–6]:

- механическая фильтрация – очистка от взвешенных и коллоидных частиц;
- коагуляция белков и жиров;
- глубокая очистка отработанного тузлука от высокомолекулярных органических соединений на трубчатых ультрафильтрах;
- доочистка на угольном адсорбере, при необходимости, с возможностью реализации ионообменных процессов.

Примером одной из наиболее эффективных является технологическая схема очистки сточных вод, используемая на рыбоперерабатывающем комплексе города Оули (Финляндия) [4, 5]. Согласно данной схеме, на первом этапе система механической фильтрации удаляет твердые частицы и крупные загрязнения, на втором этапе производится очистка загрязненной воды от органических загрязнений массой более 200 кДа методом ультрафильтрации под вакуумом на заряженных полимерных мембранах. Периодически, по мере концентрирования в емкости органических загрязнений до максимально возможной степени, производится их сброс в шламовый резервуар-накопитель. Шлам после дальнейшего сгущения вывозится на утилизацию. Фильтрат подается на финишную стадию очистки. В качестве оборудования на данной стадии применяются установки нанофильтрации со специально подобранными мембранами компании Filmtec, которые пропускают в фильтрат до 85 % хлорида натрия. Фильтрат представляет собой загрязненную воду со сниженной на 15–20 % концентрацией поваренной соли и после корректировки солевого состава подается на повторное использование на участок посола рыбы.

В процессе эксплуатации такой системы водоочистки установлено, что локальная очистка сточных вод с повторным использованием тузлука дешевле их полной очистки и сброса в водные объекты в соответствии с существующими требованиями предельно-допустимых концентраций (ПДК) загрязнителей, что обеспечивает повышение технико-экономических показателей производства [7]. Кроме того, повторное использование очищенного от органических примесей и взвешенных веществ рассола является шагом к созданию безотходного производства. Таким образом, при построении новых систем водоочистки также следует ориентироваться на повторное использование отходов, либо производство на их основе полезного продукта.

При этом следует учитывать, что для дезинфекции производственных и бытовых помещений используются привозные химические реагенты, и было бы целесообразно также производить их из продуктов очистки.

Исходя из выявленных особенностей процесса переработки тузлука, можно сформулировать основные направления исследований с целью совершенствования процесса очистки сточных вод рыбоперерабатывающих предприятий (рисунок 1).

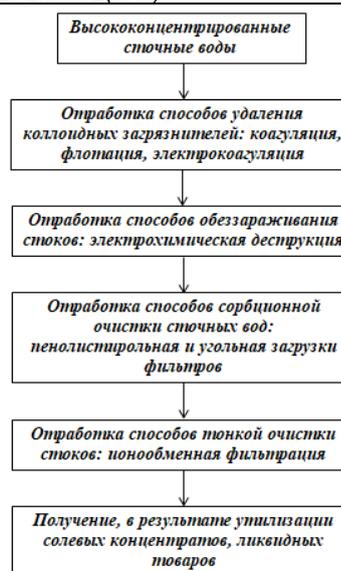


Рисунок 1 – Концептуальные направления исследований для совершенствования процесса очистки сточных вод рыбоперерабатывающих предприятий

Постановка задачи

На основе анализа преимуществ и недостатков известных методов очистки сточных вод рыбоперерабатывающих предприятий, а также используемого на различных стадиях очистки оборудования необходимо разработать эффективную для отечественных условий схему процесса очистки, обосновать выбор необходимого оборудования и уровень его автоматизации, при которых обеспечивается максимальная степень вторичной переработки отходов.

Результаты экспериментальных исследований

На основе анализа результатов предварительных экспериментов по обработке высококонцентрированных водосбросов были сформулированы следующие выводы относительно целесообразности использования комплексной флоаткоагуляции, электрокоагуляции, электрохимической деструкции, сорбционной фильтрации:

1. Флоаткоагуляция и электрохимическая деструкция выполняют технологические задачи – осаждения и окисления дисперсных соединений загрязнителей с эффективностью порядка 60–70 %.
2. Перед ионообменной фильтрацией целесообразно применять сорбционную фильтрацию для уменьшения нагрузки на иониты, желательно с использованием загрузки на основе активированного угля.

С учетом этого предложена следующая технологическая схема очистки (рисунок 2). Она содержит последовательную обработку устройствами и агрегатами:

- сита, жируловители – механическое отделение загрязнителей;
- электрофлоаткоагулятор – очистка от дисперсных соединений загрязнителей;
- электрохимический деструктор – обеззараживание и окисление загрязнителей оставшихся после флоаткоагуляции;
- сорбционные фильтры (например, фильтрация через пенополистирол и активированный уголь с предварительным подщелачиванием стоков до pH около 8);
- ионообменные фильтры.



Рисунок 2 – Технологическая схема реализации очистки высококонцентрированных сточных вод рыбоперерабатывающего предприятия

На основе предложенной схемы (см. рисунок 2) была проведена обработка сточной воды. Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Объединённые результаты электрофлотокоагуляционной очистки, электрохимической деструкции и ионной фильтрации

Номер пробы (стадия обработки)	Водород. показ., pH	Хлориды, мг/л	Сухой остаток, мг/л	Сульфаты, мг/л	Взвеш. в-ва, мг/л	ХПК мгО ₂ /л	Фосфат ион, мг/л	Азот аммон., мг/л
Исходная (сточная) вода	5,88	14244,0	43013,0	522,0	3796,0	20200,0	864,8	14,03
№ 1 (Электрофлотокоагуляционная очистка)	7,62	19759,0	47946,0	152,0	2286,0	8689,0	<1,5	14,94
№ 2 (Электрохимическая деструкция)	8,26	17697,0	36512,0	116,2	1414,0	7395,0	<1,5	19,16
№ 3 (Сорбционная фильтрация)	7,97	5105,0	11188,0	57,1	764,0	2280,0	<1,5	10,19
№ 4 (Катионирование)	1,73	438,0	1652,0	1276,0	54,0	193,0	<0,5	<2,0
№ 5 (Анионирование)	11,82	67,0	312,0	<40,0	48,0	<100,0	<0,5	<2,0
№ 6 (Полный цикл ионообменной фильтрации: катионирование + анионирование)	8,06	202,0	390,0	57,1	22,0	<100,0	<0,5	<2,0

Используемые режимы водоочистки (при расходе сточных вод в лабораторной установке – 5 м³/сутки):

Стадия обработки № 1: доза химического коагулянта (FeCl₃) – 2200 мг/л, доза щёлочи – 90 мг/л, сила тока – 50 А, напряжение 23 В.

Стадия обработки № 2 (очищалась вода после стадии обработки № 1): сила тока – 70 А, напряжение – 22 В.

Стадия обработки № 3 (очищалась вода после стадии обработки № 2): использовались фильтры с пенополистирольной загрузкой и угольный картридж, скорость фильтрации – 0,5 мм/с.

Стадия обработки № 4 (очищалась вода после стадии обработки № 3): использовался катионит регенерированный согласно методических рекомендаций [6] после предварительной водоочистки, скорость фильтрации – 0,5 мм/с.

Стадия обработки № 5 (очищалась вода после стадии обработки № 3): использовался анионит регенерированный согласно методических рекомендаций [6] после предварительной водоочистки, скорость фильтрации – 0,5 мм/с.

Стадия обработки № 6 (очищалась вода после стадии обработки № 3): выполнялся полный цикл ионообменной фильтрации, где использовались катионит и анионит заново приготовленные, скорость фильтрации – 0,5 мм/с.

По показателям «Концентрация хлоридов» и «Химическое потребление кислорода» (стадии обработки № 1, № 2, № 3, № 6) эффективность очистки представлена на рисунках 3 и 4.

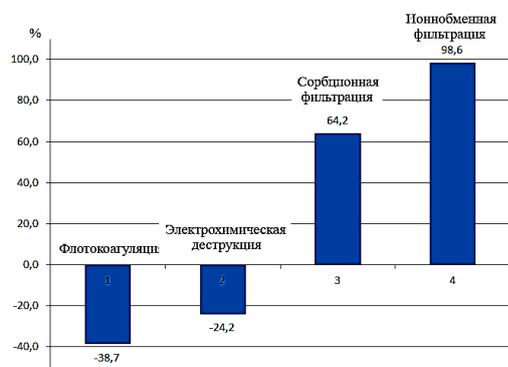


Рисунок 3 – Редукция хлоридов на разных стадиях очистки (повышение их концентрации при электрофлотокоагуляции связано с использованием коагулянта FeCl₃)

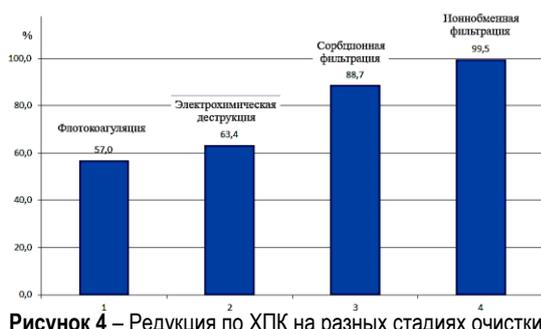


Рисунок 4 – Редукция по ХПК на разных стадиях очистки

Полученные результаты показывают, что предложенная технологическая схема обеспечивает высокое качество очистки. Однако апробационная практика эксплуатации электродиализёра при очистке сточных вод рыбоперерабатывающего предприятия показала, что через небольшой период (менее 3 суток) нормальная работа устройства нарушилась, что сопровождалось выделением из него «специфического неприятного гнилостного» запаха.

Поскольку в электродиализёре используются ионообменные мембраны, то встал вопрос о восстановлении функциональности ионообменных смол после их регенерации.

Цикл регенерации смолы включает в себя [6, 8]:

- промывку водой для удаления взвешенных солей;
- пропускание реагента через смолу для удаления ионов, которые связаны со смолой;
- промывку водой для удаления раствора регенерации.

В составе фильтров для разных ионитов используются разные реагенты (для катионитов – кислоты, для анионитов – щёлочи, совместно – деминерализованная вода).

Были проведены процессы регенерации обоих видов смол после обработки сточных вод. При регенерации, выполненной согласно методическим рекомендациям [6], экспериментально подтвердилось, что смолы после фильтрации полноценно не восстановили функциональность (см. таблицу 2, стадии обработки № 4 и № 5): после катионита имела место повышенная концентрация сульфатов, а после анионита – высокое значение pH. При этом формировалась слизистая жироподобная плёнка, которая не смывалась.

Совершенствование процесса очистки

Для устранения выявленного недостатка было решено вместо ионообменных фильтров использовать электролизные гипохлоритные установки. Последние позволяют также получать из сточных вод дезинфектант на основе электролиза растворов поваренной соли, значительные концентрации которой находятся в тузлуке.

В целом гипохлорирование [9] – электрохимический способ получения гипохлорита натрия (NaClO) основан на синтезе хлора путем электролиза водного раствора хлорида натрия (NaCl) и его взаимодействии со щёлочью в одном и том же аппарате – электролизере (рисунок 5).



Рисунок 5 – Внешний вид экспериментального электролизного блока получения гипохлорита натрия из обработанной сточной воды рыбоперерабатывающего предприятия (с возможностью работы с загрязнённым водным раствором)

Полученный продукт, при повышении концентрации хлоридов до 200 г/л, продемонстрировал признаки дезинфектанта на основе гипохлорита натрия (при массовой концентрации активного хлора не менее 7 г/л). Это создаёт объективные предпосылки для производства ликвидных товаров (рисунок 6) на основе хлорпроизводных.



Рисунок 6 – Варианты использования гипохлоритного дезинфектанта, получаемого в результате очистки сточных вод рыбоперерабатывающих предприятий

На рисунке 7 представлена усовершенствованная схема очистки, в которой используются все элементы из предыдущей схемы (см. рисунок 2), кроме ионообменных фильтров. Вместо них применены электролизные гипохлоритные установки, позволяющие получать гипохлоритный дезинфектант, который может использоваться как для обработки используемого технологического оборудования, так и в качестве побочного продукта для последующей реализации. В частности, на его основе могут быть получены препараты для санитарной обработки против коронавирусов, что придает дополнительную актуальность данной технологии.

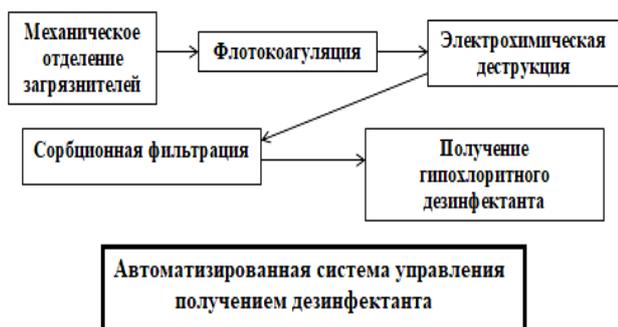


Рисунок 7 – Вариант структурной схемы очистки стоков с получением дезинфектанта

Следует отметить, что процесс получения гипохлорита натрия путем электролиза требует контроля и регулирования ряда параметров [10]:

- контроль электропроводности раствора;
- контроль мутности исходного раствора;
- контроль pH раствора;
- контроль температуры водного раствора;
- регулирование силы тока и напряжения;
- регулирование подачи раствора.

Поэтому, электролизная установка должна быть автоматизированной, т.е. иметь соответствующие системы контроля и регулирования, без чего не может быть обеспечено требуемое качество очистки и получение дезинфектанта с заданными параметрами.

Заключение

Разработанная и апробированная в лабораторных условиях схема очистки сточных вод рыбоперерабатывающих предприятий показала свою эффективность, редукция по показателям «Концентрация хлоридов» и «Химическое потребление кислорода» составила 98,6 % и 99,5 %, соответственно. Выявленный

недостаток, состоящий в потере функциональности ионообменных фильтров в связи с образованием слизистой жироподобной оболочки на ионитах, устранен внедрением вместо ионообменных фильтров электролизной установки. При наличии автоматизированной системы управления данная установка при обеспечении требуемого качества очистки позволяет утилизировать отходы фильтрации с получением на их основе гипохлоритного дезинфектанта, который может быть востребован в различных отраслях.

Дальнейшие исследования необходимо направить на создание математической модели процесса электролиза и разработку автоматизированной системы управления электролизной установкой, что позволит использовать ее в составе высокоэффективных комплексов очистки сточных вод.

Список цитированных источников

1. Поспелов, Ю. В. Технологические процессы, оборудование и линии рыбоперерабатывающих производств/ Ю. В. Поспелов, Г. Н. Ким. – Владивосток : Орион, 2007. – 270 с.
2. EC (European Commission). 2005. Integrated Pollution Prevention and Control, Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Food, Drink and Milk Industries. BREF finalized. Dated January 2006. p.
3. EC (European Commission). 2006. Integrated Pollution Prevention and Control, Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Food, Drink and Milk Industries. BREF finalized. Dated January 2006. EC. [Electronic resource] – Mode of acces: <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>.
4. Ашуров, А. Методы очистки сточных вод рыбоперерабатывающего предприятия [Электронный ресурс] / А. Ашуров, Дж. Н. Шерматов, А. М. Саидов // Избранные публикации проекта «Водная Гармония»: Водные исследования и технологии. – Норвегия : Проект Водная Гармония, 2015. – Режим доступа: http://www.waterh.net/wp-content/uploads/2015/10/Article_42.pdf. – Дата доступа: 12.05.2023.
5. Очистные предприятий рыбопереработки [Электронный ресурс] / Удачные проекты. – Режим доступа: <https://luckyprojects.ru/dlya-gyborpererabotki.html>. – Дата доступа: 17.04.2023.
6. Мазоренко, Д. І. Інженерна екологія сільськогосподарського виробництва / Д. І. Мазоренко, В. Г.Цапко, Ф. І. Гончаров – К.: Знання, 2006 – 376 с.
7. Вертай, С. П. Обоснование структуры и заданий системы поддержки принятия решений обобщенной оценки перспективности инновационных технологий / С. П. Вертай, В. Н. Штепа // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК. – Київ : Видавничий центр НУБіП України, 2016. – Вип. 240. – С. 86–93
8. Штепа, В. М. Обґрунтування та розробка критерію енергоефективності функціонування електротехнологічних систем водопідготовки / В. М. Штепа, Ф. І. Гончаров, М. А. Сироватка // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК: збірник наукових праць. – Київ : НУБіПУ, 2011. – Вип. 161. – С. 187–193.
9. Штепа, В. М. Обґрунтування робочої міри ефективності електротехнологічної водоочистки / В. М. Штепа // Енергетика і автоматика. – 2018. – № 4. – С. 99–111. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/view/11558>. – Дата звернення: 16.10.2019.
10. Вероятностные нейронные сети в задачах управления комбинированными системами водоочистки / В. Н. Штепа [и др.] // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2018. – № 2 (110): Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 88–90.

References

1. Pospelov, Yu. V. Tekhnologicheskie processy, oborudovanie i linii ryborerabatyvayushchih proizvodstv/ Yu. V. Pospelov, G. N. Kim. – Vladivostok : Orion, 2007. – 270 s.

2. EC (European Commission). 2005. Integrated Pollution Prevention and Control, Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Food, Drink and Milk Industries. BREF finalized. Dated January 2006. p.
3. EC (European Commission). 2006. Integrated Pollution Prevention and Control, Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Food, Drink and Milk Industries. BREF finalized. Dated January 2006. EC. [Electronic resource] – Mode of acces: <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>.
4. Ashurov, A. Metody ochistki stochnyh vod rybopererabatyvayushchego predpriyatiya [Elektronnyj resurs] / A. Ashurov, Dzh.N. SHermatov, A. M. Saidov // Izbrannye publikacii proekta «Vodnaya Garmoniya»: Vodnye issledovaniya i tekhnologii. – Norvegiya : Proekt Vodnaya Garmoniya, 2015. – Rezhim dostupa: http://www.waterh.net/wp-content/uploads/2015/10/Article_42.pdf. – Data dostupa: 12.05.2023.
5. Ochistnye predpriyatij rybopererabotki [Elektronnyj resurs] / Udachnye proekty. – Rezhim dostupa: <https://luckyprojects.ru/dlya-rybopererabotki.html>. – Data dostupa: 17.04.2023.
6. Mazorenko, D. I. Inzhenerna ekologiya sil'skogospodarskogo virobniictva / D. I. Mazorenko, V. G. Capko, F. I. Goncharov. – K. : Znannya, 2006 – 376 s.
7. Vertaj, S. P. Obosnovanie struktury i zadaniy sistemy podderzhki prinyatiya reshenij obobshchyonnoj ocenki perspektivnosti innovacionnyh tekhnologij / S. P. Vertaj, V. N. SHtepa // Naukovij visnik Nacional'nogo universitetu bioresursiv i prirodokoristuvannya Ukraïni. Seriya : Tekhnika ta energetika APK. – Kiïv : Vidavnichij centr NUBiP Ukraïni, 2016. – Vip. 240. – S. 86–93
8. SHtepa, V. M. Obgruntuvannya ta rozrobka kriteriyu energoefektivnosti funkcionuvannya elektrotekhnologichnih sistem vodopidgotovki / V. M. SHtepa, F. I. Goncharov, M. A. Sirovatka // Naukovij visnik Nacional'nogo universitetu bioresursiv i prirodokoristuvannya Ukraïni. Seriya: Tekhnika ta energetika APK: zbirnik naukovih prac'. – Kiïv : NUBiPU, 2011. – Vip. 161. – S. 187–193.
9. SHtepa, V. M. Obgruntuvannya robochoï miri effektivnosti elektrotekhnologichnoï vodoochistki / V. M. SHtepa // Energetika i avtomatika. – 2018. – № 4. – S. 99–111. – [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupu: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/view/11558>. – Data zvernennya: 16.10.2019.
10. Veroyatnostnye nejronnye seti v zadachah upravleniya kombinirovannymi sistemami vodoochistki / V. N. SHtepa [i dr.] // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2018. – № 2 (110): Vodohozyajstvennoe stroitel'stvo, teploenergetika i geokologiya. – S. 88–90.

Материал поступил 19.05.2023, одобрен 21.06.2023, принят к публикации 21.06.2023

УДК 338.23

РАСШИРЕННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ РЕСУРСОВ КАК ФАКТОР ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ*

Е. А. Бидзюра

Аспирант, старший преподаватель кафедры экономики и права УО «Белорусский национальный технический университет», Минск, Беларусь, e-mail: bidziura@bntu.by

Реферат

Определено понятие «экономическая безопасность Республики Беларусь». Показано, что расширенное использование вторичных ресурсов повышает уровень экономической безопасности Республики Беларусь, несмотря на то, что на уровне отдельных промышленных предприятий расширенное использование вторичных ресурсов снижает уровень экономической безопасности. Расширенное использование вторичных ресурсов позволит избежать устойчивого дефицита предложения, являющегося одним из основных рисков для экономической безопасности Республики Беларусь. Ограниченность ресурсов при постоянном росте социально-экономических потребностей в обществе является причиной возникновения экзогенных угроз экономической безопасности и проблем эффективного использования ресурсов. Расширенное использование вторичных ресурсов способствует внедрению новых технологий в производственные процессы, а также сокращению объема захоронения отходов на полигонах и снижению объема использования первичных ресурсов.

Ключевые слова: вторичные ресурсы, рынок вторичных ресурсов, ресурсосбережение, управление использованием вторичных ресурсов, циркулярная экономика, зеленая экономика, экономическая безопасность.

EXPANDED USE OF SECONDARY RESOURCES AS A FACTOR OF ENSURING ECONOMIC SECURITY

E. A. Bidziura

Abstract

The concept of "economic security of the Republic of Belarus" is defined. It is shown that the expanded use of secondary resources increases the level of economic security of the Republic of Belarus, despite the fact that at the level of individual industrial enterprises the expanded use of secondary resources reduces the level of economic security. Expanded use of secondary resources will help to avoid a sustainable shortage of supply, which is one of the main risks for the economic security of the Republic of Belarus. The limited resources with the constant growth of socio-economic needs in society is the cause of exogenous threats to economic security and problems of efficient use of resources. The increased use of secondary resources contributes to the introduction of new technologies into production processes, as well as a reduction in landfill waste and a decrease in the use of primary resources.

Keywords: secondary resources, market of secondary resources, resource saving, management of the use of secondary resources, circular economy, green economy, economic security.

Введение

Республика Беларусь является малой открытой экономикой, в высокой степени подверженной влиянию глобальных технологических тенденций, и по мере ужесточения экономической и геополитической конкуренции для сохранения устойчивого положения на мировом рынке вынуждена искать пути повышения уровня экономической безопасности. Ранее нами было выявлено, что экономическую безопасность представляется возможным охарактеризовать как способность функционировать при потенциальных и актуализированных вызовах и угрозах таким образом, чтобы обеспечить удовлетворение социально-экономических потребностей личности, общества и государства. В результате исследования установлено, что под экономической безопасностью в общем плане понимается: «поддержание нормы функционирования субъекта, обеспечивающееся путем создания единого, устойчивого, организационно оформленного, относительно самостоятельного комплекса механизмов, ориентированного на реализацию социально-экономических интересов и намеченных стратегических целей в условиях актуализированных и потенциальных угроз» [1, с. 129]. Данное определение подходит для описания экономической безопасности в общем плане, а когда объектом исследования выступает национальная экономическая система, то под экономической безопасностью Республики Беларусь будем понимать: поддержание нормы функционирования национальной экономики, обеспечивающееся путем создания единой, относительно самостоятельной динамичной системы, ориентированной на реализацию сбалансированных социально-экономических интересов общества в условиях актуализированных и потенциальных угроз. Угрозы экономической безопасности, как правило, предполагают случайные новые явления или вызовы, то есть это случайные регулярные еще не повторяющиеся связи и отношения.

Результаты и их обсуждение

В течение трех последних десятилетий большинство стран мира сменило курс развития экономики в пользу «зеленой», приоритетом которой выступает устойчивое развитие с минимальными рисками для окружающей среды. Проблема устойчивого развития была озвучена еще в рамках доклада, представленного Римскому клубу в 1960-х годах, в ответ на очевидные угрозы существования человечеству, порожденные погоней за обогащением, вступающей в противоречие с природными ограничениями. «Этот доклад возник как реакция европейских интеллектуалов на очевидные проблемы угрозы существованию человечества в случае, если дальнейшая капиталистическая экспансия будет продолжаться в тех формах, в которых она происходила до этого» [2, с. 58]. Несмотря на то, что устойчивое развитие направлено на гармонизацию отношений «человек – общество – природа», излишняя приверженность целям такого развития способна оказать сдерживающий эффект для социально-экономического развития страны, а в некоторых случаях и обернуть это развитие вспять. Для иллюстрации вышесказанного следует привести в качестве примера негативный опыт Шри-Ланки, в которой главной причиной дефолта, объявленного в 2022 году впервые со дня обретения независимости в 1948 году, послужил переход к ограниченному земледелию и отказ от удобрений. Так, в 2021 году Шри-Ланка ввела запрет на импорт удобрений, способствующих повышению плодородия, и пестицидов, используемых для уничтожения вредителей и возбудителей болезней сельхозкультур, и перешла к органическим удобрениям, что привело к катастрофическому снижению урожайности.

Обостряющаяся конкуренция затрагивает не только сферу услуг и различные виды товаров, но и природные ресурсы, что обусловлено непрерывным истощением общемировых запасов, происходящим ввиду их ограниченности при постоянном росте социально-экономических потребностей в обществе. Оптимизи-

ровать производственные процессы и не допустить истощения природных ресурсов на современном этапе развития экономики позволит переход к циркулярной экономике, в рамках которой «обеспечивается безотходность производства продукции за счет создания для нее жизненного цикла замкнутого вида путем повторной переработки отходов, в результате которой получают вторичные ресурсы, замещающие в процессе производства продукции первичные» [3, с. 157]. Иными словами, основным принципом циркулярной экономики является обеспечение максимальной эффективности каждого процесса.

В качестве одного из приоритетных направлений Национальной стратегией устойчивого развития на период до 2035 года определено «Обеспечение экологической безопасности, переход к рациональным моделям производства и потребления (циркулярной экономике)» [1, с. 21]. Экономика замкнутого цикла или же циркулярная экономика предполагает «внедрение современных подходов к повышению ресурсоэффективности, снижению экологических последствий производственной деятельности, достижению социального эффекта в сфере потребления товаров» [2, с. 13]. Приоритетом при данном виде развития экономики становится уменьшение использования природных ресурсов путем внедрения новых технологий, позволяющих сократить использование ресурсов или ввести в оборот вторичные ресурсы. Таким образом, экономика замкнутого цикла приходит на смену линейной модели экономического развития «добывай – производи – выбрасывай», характеризующуюся использованием изделий и материалов в течение нескольких циклов «добывай – производи – повторно используй», что способствует формированию новой цены на первичные ресурсы, поскольку в них будет заложен рециклинг.

Рынок вторичных материальных ресурсов представляет собой систему социально-экономических отношений между субъектами, связанных с переработкой промышленных и других отходов для последующего полезного использования в производственном цикле. Эффективное функционирование рынка вторичных ресурсов предполагает изучение потребностей субъектов и учет специфики вторичных материальных ресурсов. Субъектами рынка вторичных ресурсов являются:

- 1) предприятия, образующие в процессе своей деятельности производственные отходы;
- 2) непромышленные организации, поставляющие вторичные ресурсы;
- 3) предприятия, осуществляющие переработку вторичных отходов;
- 4) предприятия, использующие переработанные ресурсы в своей производственной деятельности;
- 5) посреднические и логистические организации, работающие в данном сегменте рыночной экономики.

Несмотря на то, что за последние 10 лет переработка вторичных ресурсов в Республике Беларусь увеличилась почти в три раза (2012 год – 10 %, 2021 – 29 %³), значительная часть отходов складывается на мусорных свалках, что оказывает негативный эффект как в экономическом, так и в экологическом аспекте. Как справедливо отмечают В. К. Донченко и Г. В. Хильченко, «переход на промышленные технологии переработки ТКО с использованием наилучших доступных технологий (НДТ) позволит коренным образом изменить ситуацию за счет значительного сокращения их поступления на полигоны» [4, с. 89]. Использование наилучших доступных технологий позволит диверсифицировать направления переработки материальных ресурсов, с дальнейшим включением в производственный цикл.

Сложившийся уровень переработки материальных ресурсов обусловлен тем, что не все виды ресурсов являются перерабатываемыми, то есть используются лишь высоколиквидные и прибыльные отходы. В 2021 году объем сбора вторичных материальных ресурсов составил 790,6 тыс. т, что превышает более чем в 2 раза объем сбора в 2012 г. (381,6 тыс. т). При этом, по данным ГУ «Оператор вторичных материальных ресурсов», на первом месте по сбору находятся отходы бумаги и картона (384,5 тыс. т в 2021 г.⁴), на втором – отходы стекла (192 тыс. т), на третьем – полимерные отходы (106,6 тыс. т). Также начиная с 2015 года, в соответствии с постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 30 июня 2020 г. № 338⁵, организован сбор от физических лиц электрического и электронного оборудования в местах розничной торговли, в которых осуществляется реализация электрического и электронного обо-

удования. На начало 2021 года в Республике Беларусь функционировало 429 организаций, входящих в систему сбора вторичных материальных ресурсов.

Ряд экзогенных и эндогенных факторов подталкивают к переходу экономики Республики Беларусь к циркулярной модели, способствующей реализации экологических и социально-экономических интересов общества, среди которых следует выделить:

- 1) сложившиеся технологические барьеры на мировом рынке – ужесточение требований к товарам, заключающихся в возможности дальнейшей переработки и вторичного использования;
- 2) возможность снижения себестоимости производственной продукции посредством использования вторичных материальных ресурсов. Снижение себестоимости будет способствовать увеличению конкурентоспособности национального промышленного комплекса, что в свою очередь приведет к повышению уровня экономической безопасности;
- 3) необходимость выполнения мер по экологизации реального сектора экономики, что обусловлено требованиями международных соглашений и конвенций;
- 4) ускоренный рост цен на первичные ресурсы, вызывающий необходимость сокращения их потребления за счет вторичной переработки и многократного использования изделий.

Переход к циркулярной экономике несет в себе большой экономический потенциал, поскольку способствует экономическому росту путем создания новых рабочих мест, активизации инновационной деятельности, а также уменьшению уровня вредных выбросов в процессе производства, что положительно повлияет на уровень экономической безопасности, помимо этого «развитие циркулярной экономики может стать определенной «изюминкой» в продвижении бренда города или региона на национальном и международном уровне, способно привлечения в город дополнительных ресурсов, в том числе, людских» [5, с. 36].

На экономическую безопасность Республики Беларусь влияет большое количество факторов, среди которых можно выделить расширенное использование вторичных ресурсов, в рамках которого используются вторичные ресурсы в большем количестве, тем самым сберегая природу и экономя первичные ресурсы. Ограниченность ресурсов при постоянном росте социально-экономических потребностей в обществе является причиной возникновения экзогенных угроз экономической безопасности и проблем эффективного использования ресурсов. Расширенное использование вторичных ресурсов, в свою очередь, позволит избежать устойчивого дефицита предложения. Сегодня устойчивый дефицит предложения является одним из основных рисков для экономической безопасности Республики Беларусь. Под устойчивым дефицитом предложения следует понимать не только дефицит товаров конечного потребления, но и дефицит ресурсов, необходимый для производственной деятельности (сырье, материалы, комплектующие и др.). Противостоять данной угрозе представляется возможным лишь на уровне промышленных предприятий путем расширенного использования вторичных ресурсов в качестве необходимого сырья или для получения энергии. Однако, на данный момент «ответственность за модель производства и потребления, а также выбор способа утилизации отходов определяется исключительно личными представлениями об экологической ответственности и зависит от готовности нести связанные с этим дополнительные издержки» [6, с. 20].

¹ Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2035 года : одобрена Протоколом заседания Президиума Совета Министров Республики Беларусь от 4 февраля 2020 г. № 3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://economy.gov.by/uploads/files/Natsionalnaja-strategija-ustojchivogo-razvitiija-Respubliki-Belarus-na-period-do-2035-goda.pdf>. – Дата доступа: 10.06.2022.

² Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://minpriroda.gov.by/uploads/files/2021/nats.plan-po-razvitiiju-zelenoj-ekonomiki.pdf>. – Дата доступа: 25.03.2022.

³ Отчет ГУ «Оператор вторичных материальных ресурсов» за 2021 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vtoperoperator.by/sites/default/files/operator_2021_0.pdf. – Дата доступа: 10.06.2022.

⁴ Там же.

⁵ Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 30 июня 2020 г. № 388 «О реализации Указа Президента Республики Беларусь от 17 января 2020 г. № 16» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.alta.ru/tamdoc/20bl0388/>. – Дата доступа: 13.06.2022.

Расширение использования вторичных ресурсов влияет на экономическую безопасность Республики Беларусь, поскольку снижает зависимость национальной экономики от первичных ресурсов, которыми наша страна не обладает и которые преимущественно импортируются. Вышеописанное приобретает особое значение в условиях логистических кризисов и санкционных войн, при которых вводится ограничение на импорт ряда ресурсов и имеет место нарушение цепочек поставок, поскольку неполучение того или иного вида ресурсов ставит под угрозу экономическое развитие и экономическую безопасность страны. Расширенное использование вторичных ресурсов призвано снизить данные риски экономической безопасности Республики Беларусь.

В новых социально-экономических и технологических условиях практически невозможно разделить экономическую безопасность Республики Беларусь и экономическую безопасность промышленных предприятий, так как «эти два процесса не только переплетены и взаимообусловлены, что само по себе делает любое разграничение того, где заканчивается экономическая безопасность промышленного предприятия и начинается экономическая безопасность страны, исключительно теоретической, поскольку на практике это невозможно. Напротив, экономическая безопасность промышленных предприятий выступает важнейшей компонентой экономической безопасности страны» [7, с. 192]. Из приведенной цитаты видно, что экономическая безопасность страны и экономическая безопасность промышленного предприятия являются взаимосвязанными, поскольку нарушение экономической безопасности страны происходит через подрыв конкурентоспособности отдельных промышленных предприятий, однако данная связь является односторонней.

Ранее нами было установлено, что понятие экономической безопасности промышленного предприятия представляется возможным интерпретировать как «поддержание функционирования промышленного предприятия в пределах нормы путем создания устойчивой динамичной системы, ориентированной на законную реализацию социально-экономических интересов при экономически допустимом риске в условиях актуализированных и потенциальных угроз с целью повышения конкурентоспособности производимой продукции и обеспечения непрерывной деятельности предприятия» [8, с. 105]. В контексте расширенного использования вторичных ресурсов, на уровне отдельного промышленного предприятия далеко не всегда является экономически выгодным с точки зрения соотношения цена-качество. Вторичная переработка является трудоемким и дорогостоящим процессом, поскольку первоначально необходимо тщательно отсортировать отходы производства, что в дальнейшем позволит отделить от общего объема захоронения такие виды ресурсов как макулатура, стекло, различные виды пластмасс, черные и цветные металлы, пригодные для вторичного использования. Перечисленные виды отходов являются наиболее распространенными и их сбор осуществляется непосредственно на промышленных предприятиях. А для повышения уровня сортировки отходов среди физических лиц следует принять соответствующие меры, так, например, в Германии установлены «умные» контейнеры, которые благодаря прохожих за сортировку мусора или же опыт Скандинавских стран, где применяется система «депозитов», при которой в цену продукции входит стоимость утилизации упаковки.

Для промышленного предприятия при использовании вторичных ресурсов идет удорожание производства, поскольку необходимо дополнительные средства для проведения модернизации. При принятии решения о проведении модернизации собственнику необходимо пойти на риск, то есть начать перестраивать предприятие. В этот момент привычное функционирование нарушается, и на промышленное предприятие начинают воздействовать новые экзогенные и эндогенные факторы, порождаемые данным процессом. На стадии модернизации предприятие всегда более уязвимо к влиянию конъюнктуры, потому что оно привлекает дополнительные ресурсы. Экономические ресурсы стоят денег, соответственно, возникает ситуация, при которой происходит истощение оборотных средств, соответственно, используются банковские кредиты. В данном случае возникает противоречие между долгосрочными инвести-

циями и краткосрочной экономической выгодой, поскольку предприниматель, как правило, хочет получить отдачу от вложений уже сегодня. С другой стороны, инвестирование в так называемую зеленую экономику, которая может принести прибыль через несколько лет. Сегодня вторичная переработка является самым экологически и экономически безопасным способом утилизации отходов, поскольку позволяет сократить объем захоронения отходов на полигонах, а также снижает объем использования первичных ресурсов.

Расширенное использование вторичных ресурсов повышает уровень экономической безопасности Республики Беларусь, даже при условии того, что на уровне отдельных промышленных предприятий расширенное использование вторичных ресурсов снижает уровень экономической безопасности. Так происходит ввиду того, что применяются разные критерии для оценки экономической безопасности промышленного предприятия и оценки экономической безопасности страны. Для собственника промышленного предприятия выгоднее взять первичное сырье и переработать его, поскольку главным интересом является получение прибыли (ее максимизация). С точки зрения функционирования экономики в целом, расширенное использование вторичных ресурсов является выгодным, поскольку помимо соотношения затраты-результат, эффективность функционирования экономической системы определяется еще социальными и экологическими критериями, которые представляют собой качественные характеристики.

Заключение

Определено понятие «экономическая безопасность Республики Беларусь». Показано, что расширенное использование вторичных ресурсов повышает уровень экономической безопасности Республики Беларусь, несмотря на то, что на уровне отдельных промышленных предприятий расширенное использование вторичных ресурсов снижает уровень экономической безопасности. Расширенное использование вторичных ресурсов позволит избежать устойчивого дефицита предложения, являющегося одним из основных рисков для экономической безопасности Республики Беларусь. Ограниченность ресурсов при постоянном росте социально-экономических потребностей в обществе является причиной возникновения экзогенных угроз экономической безопасности и проблем эффективного использования ресурсов. Расширенное использование вторичных ресурсов способствует внедрению новых технологий в производственные процессы, а также сокращению объема захоронения отходов на полигонах и снижению объема использования первичных ресурсов.

** Работа выполнена при поддержке БРФФИ (договор с БРФФИ №Г21М-012 от 01.07.2021 г.).*

Список цитированных источников

1. Бидзюра, Е. А. Теоретические аспекты определения экономической безопасности как экономической категории / Е. А. Бидзюра // Экономическая наука сегодня : сб. науч. ст. / БНТУ. – Минск, 2021. – Вып. 14. – С. 123–132.
2. Солодовников, С. Ю. Экономический рост и истинные инвестиции: сущность и взаимообусловленность / С. Ю. Солодовников // Вестник Коми республиканской академии государственной службы и управления. Серия: Теория и практика управления. – 2017. – № 18 (23). – С. 56–63.
3. Проблемы развития циркулярной экономики как фактора устойчивого развития России / Н. А. Мурзак [и др.] // Юг России: экология, развитие. – 2020. – Т. 15, № 3 (56). – С. 155–164.
4. Донченко, В. К. Современные тенденции формирования рынков вторичных ресурсов / В. К. Донченко, Г. В. Хильченко // Региональная экология. – 2018. – № 4 (54). – С. 88–97.
5. Ратнер, С. В. Анализ динамики и направлений развития европейской нормативно-правовой базы в области циркулярной экономики / С. В. Ратнер // Дружковский вестник. – 2021. – № 2(40). – С. 23–37.
6. Абсаямова, С. Г. Циркулярная экономика как основа перехода к устойчивому развитию / С. Г. Абсаямова, С. Халилов // Техника и технология транспорта. – 2023. – № 1(28). – С. 17–21.

7. Солодовников, С. Ю. Парадигмальный кризис белорусской экономической науки, цифровизация и проблемы подготовки кадров в сфере обеспечения национальной безопасности / С. Ю. Солодовников // *Экономическая наука сегодня* : сб. науч. ст. / БНТУ. – Минск, 2019. – Вып. 10. – С. 182–194.
 8. Бидзюра, Е. А. Теоретико-методологические подходы к определению экономической безопасности промышленных предприятий / Е. А. Бидзюра // *Экономическая наука сегодня* : сб. науч. ст. / БНТУ. – Минск, 2022. – Вып. 15. – С. 100–108.
- References**
1. Bidzyura, E. A. Teoreticheskie aspekty opredeleniya ekonomicheskoy bezopasnosti kak ekonomicheskoy kategorii / E. A. Bidzyura // *Ekonomicheskaya nauka segodnya* : sb. nauch. st. / BNTU. – Minsk, 2021. – Vyp. 14. – S. 123–132.
 2. Solodovnikov, S. Yu. Ekonomicheskij rost i istinnye investicii: sushchnost' i vzaimoobuslovlennost' / S. Yu. Solodovnikov // *Vestnik Komi respublikanskoj akademii gosudarstvennoj sluzhby i upravleniya. Seriya: Teoriya i praktika upravleniya*. – 2017. – № 18 (23). – S. 56–63.
 3. Problemy razvitiya cirkulyarnoj ekonomiki kak faktora ustojchivogo razvitiya Rossii / N. A. Murzak [i dr.] // *Yug Rossii: ekologiya, razvitie*. – 2020. – T. 15, № 3 (56). – S. 155–164.
 4. Donchenko, V. K. Sovremennye tendencii formirovaniya rynkov vtorichnyh resursov / V. K. Donchenko, G. V. Hil'chenko // *Regional'naya ekologiya*. – 2018. – № 4 (54). – S. 88–97.
 5. Ratner, S. V. Analiz dinamiki i napravlenij razvitiya evropejskoj normativno-pravovoj bazy v oblasti cirkulyarnoj ekonomiki / S. V. Ratner // *Drukerovskij vestnik*. – 2021. – № 2(40). – S. 23–37.
 6. Absalyamova, S. G. Cirkulyarnaya ekonomika kak osnova perekhoda k ustojchivomu razvitiyu / S. G. Absalyamova, S. Halilov // *Tekhnika i tekhnologiya transporta*. – 2023. – № 1(28). – S. 17–21.
 7. Solodovnikov, S. Yu. Paradigmal'nyj krizis belorusskoj ekonomicheskoy nauki, cifrovizaciya i problemy podgotovki kadrov v sfere obespecheniya nacional'noj bezopasnosti / S. Yu. Solodovnikov // *Ekonomicheskaya nauka segodnya* : sb. nauch. st. / BNTU. – Minsk, 2019. – Vyp. 10. – S. 182–194.
 8. Bidzyura, E. A. Teoretiko-metodologicheskie podhody k opredeleniyu ekonomicheskoy bezopasnosti promyshlennyh predpriyatij / E. A. Bidzyura // *Ekonomicheskaya nauka segodnya* : sb. nauch. st. / BNTU. – Minsk, 2022. – Vyp. 15. – S. 100–108.

Материал поступил 25.03.2023, одобрен 11.05.2023, принят к публикации 11.05.2023

ПОИСК ЭФФЕКТИВНЫХ ПЛОЩАДОК РЕАЛИЗАЦИИ ИНФЛЮЕНС-МАРКЕТИНГА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

С. А. Бунько¹, В. В. Якубюк²

¹ К. э. н., доцент, заместитель декана экономического факультета УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: swetlanabunko@mail.ru

² Студент 4 курса специальности «Электронный маркетинг» УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: yakubyuk.vika@bk.ru

Реферат

В настоящее время маркетинг в социальных медиа-пространствах является целесообразным инструментом для решения различных бизнес-задач. Эффективно используя сочетания различных SMM-инструментов, компания может значительно сократить свой маркетинговый бюджет. Компаниям, находящимся в ситуации поиска наиболее эффективных методов продвижения на рынках с высоким уровнем конкуренции, необходимо постоянно приспосабливаться к изменениям в сфере SMM и оперативно корректировать свои действия с учетом актуальных тенденций в данной области. Инфлюенс-маркетинг в условиях ускоренной цифровизации, усиленной ограничениями пандемии COVID-19, стал одним из самых быстрорастущих секторов интернет-маркетинга. Данная статья посвящена проблемам использования инфлюенс-маркетинга в современных условиях.

Ключевые слова: интернет-маркетинг, инфлюенс-маркетинг, продвижение, электронная торговля, SMM-инструменты.

SEARCH FOR EFFECTIVE PLATFORMS FOR THE IMPLEMENTATION OF INFLUENCER MARKETING IN MODERN CONDITIONS

S. A. Bunko, V. V. Yakubyuk

Abstract

Nowadays, marketing in social media spaces is an appropriate tool for solving various business problems. Effectively using a combination of different SMM tools, a company can significantly reduce its marketing budget. Companies that are in a situation of searching for the most effective methods of promotion in markets with a high level of competition need to constantly adapt to changes in the field of SMM and promptly adjust their actions taking into account current trends in this area. Influencer marketing in the context of accelerated digitalization, reinforced by the restrictions of the COVID-19 pandemic, has become one of the fastest growing sectors of Internet marketing. This article is devoted to the problems of using influencer marketing in modern conditions.

Keywords: internet marketing, influencer marketing, promotion, e-commerce, SMM tools.

Введение

Неизбежный переход к цифровой экономике, под которой понимается «хозяйственная деятельность, в которой ключевым фактором производства являются данные в цифровом виде, обработка больших объемов и использование результатов анализа которых по сравнению с традиционными формами хозяйствования позволяют существенно повысить эффективность различных видов производства, технологий, оборудования, хранения, продажи, доставки товаров и услуг» [1], подразумевает, в том числе, налаживание коммуникаций с потребителями. Значимость репутации производителя, доверия к нему будет только расти, что требует усиления взаимодействия с потребителями. Вследствие стремления производителей к тому, чтобы это не повлекло за собой значительного увеличения затрат, происходит изменение пространственно-временных характеристик рыночных процессов, активно распространяются цифровые формы и виды коммерческой деятельности [2].

Особенности реализации инфлюенс-маркетинга в современных условиях

Тенденция роста интернет-продаж по отношению к традиционным продажам наблюдается ещё с 2014 года. Пандемия COVID-19 сыграла в этой сфере роль триггера и реальный рост данного сектора значительно превысил прогнозный. Эксперты считают, что объём продаж электронной коммерции вырастет до 6,5 трл. долларов уже к 2023 году и если эта тенденция сохранится, к 2025 году может достичь 8 трл. долларов в год [3]. Это объясняется следующим: во-первых, возникшие ограничения, связанные с пандемией COVID-19, поставили многие компании в положение, при котором единственно возможным вариантом выживания стала интернет-торговля; во-вторых, пандемия оказала влияние и на поведенческую активность потребителей, которые стали меньше посещать привычные торговые офлайн-площадки, предпочитая им интернет-магазины. Следствием стало развитие такой схемы коммерческих взаимоотношений между покупателями и производи-

телями как D2C (Direct-to-Consumer – «напрямую к потребителю»). В этих условиях ещё более актуальным становится интернет-продвижение, многообразие которого ставит перед производителями вопрос выбора его инструментов для каждой конкретной бизнес-ситуации. Сравнительная характеристика существующих видов интернет-маркетинга приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика видов интернет-маркетинга

Вид	Характеристика	Формы
Маркетинг в социальных сетях (SMM)	комплекс мероприятий, направленный на увеличение узнаваемости бренда, формирование лояльных покупателей, осуществляемый в социальных сетях	создание и публикация контента; таргетированная реклама; работа с блогерами
Контент-маркетинг	совокупность приёмов, основанных на распространении информации о производителе и его продукции, которая не является прямой рекламой и косвенно убеждает потребителей в принятии решения о покупке	предоставление качественного контента на сайте предприятия, в социальных сетях и его визуализация; SEO-оптимизация
Инфлюенс-маркетинг	разновидность SMM-маркетинга, продвижение продуктов через влиятельных людей, выделение в отдельную категорию объясняется возможностью осуществления не только в социальных сетях	видеоконтент; реклама, не связанная с содержанием ролика; нативная интеграция; текстовые блоги

Примечание – Собственная разработка на основе [4; 5]

В настоящее время наиболее активно развивается инфлюенс-маркетинг, который в широком смысле можно характеризовать как продвижение продуктов через лидеров мнений, имеющих большую аудиторию в Интернете, прежде всего в социальных сетях. В качестве лидеров мнений могут выступать: медийные личности (celebrity), блогеры (социальные сети, в т. ч. форумы), месседжеры (каналы), различные сообщества в социальных сетях, СМИ и региональные порталы в электронном формате (социальные сети и сайты) [5]. Показатель

окупаемости инвестиций в инфлюенс-маркетинге по сравнению с традиционными маркетинговыми стратегиями в социальных сетях в 11 раз выше. Рост мирового объема рынка инфлюенс-маркетинга прогнозируется к 2024 году в 22,4 млрд долл. США [6].

В настоящее время уже сформирован алгоритм организации работы с инфлюенсерами, который включает следующие этапы: а) постановка задач коммуникации; б) поиск инфлюенсеров; в) установление контакта и определение рамок сотрудничества; г) реализация и оценка результатов; д) принятие решения о продолжении сотрудничества. Вместе с тем на практике реализация отдельных этапов вызывает затруднения, что влечет за собой ошибки и неэффективное использование маркетингового бюджета. Одним из таких этапов является поиск инфлюенсеров и в данной статье особое внимание уделим именно этому вопросу.

На наш взгляд, поиск инфлюенсера должен осуществляться исходя из маркетинговых целей, масштаба коммуникации и бюджета, так как это определяет выбор инфлюенсеров в зависимости от количества их подписчиков (таблица 2).

Таблица 2 – Характеристика инфлюенсеров в зависимости от количества подписчиков

Количество подписчиков	Характеристика
До 5 000	низкий охват, высокая вовлеченность, высокое доверие, рекомендации воспринимаются как дружеский совет
От 5 000 до 10 000	высокая вовлеченность (6–8 %); личное взаимодействие блогера с подписчиками в виде персонализированных ответов, высокая лояльность подписчиков
От 10 000 до 100 000	средний охват; вовлеченность на уровне 3–4 %, приемлемая цена
От 100 000 до 1 000 000	широкий охват, низкая вовлеченность (около 1 %); ввиду этого подходит для информирования, но не для прямых продаж; качественный контент
Свыше 1 000 000	очень широкий охват, вовлеченность низкая, высокая цена, подходит для распространения вирусных видеороликов

Примечание – Источник: собственная разработка на основе [4; 5]

Относительно эффективности выбора инфлюенсера по количеству подписчиков не сложилось единого мнения, считаем, что дискуссия по этому вопросу не имеет оснований без конкретизации целевой аудитории, товара и производителя. Одним из трендов инфлюенс-маркетинга является рост сегмента блогеров с небольшой, но активной аудиторией, поскольку с точки зрения эффективности инфлюенсера на первый план выходит не количество подписчиков, а их вовлеченность, доверие и лояльность. Чаще всего это блогеры с нишевым контентом, которые разбираются в своей теме, вследствие чего их подписчики представляют собой таргетированную аудиторию. Привлечение инфлюенсеров особенно эффективно, если продвижение бренда направлено на миллионы людей, родившихся после 1981 года, которые не доверяют традиционной рекламе, ищут новый достоверный источник информации и испытывают потребность в персонализированном контенте (возможности задать вопрос и получить персонализированный ответ).

В Российской Федерации и Республике Беларусь динамика роста сектора инфлюенс-маркетинга соответствует общемировой. До недавнего времени в России более 70 % рынка инфлюенс-маркетинга было сосредоточено в Instagram, и его блокировка нанесла значительный урон данному сектору. Большинство белорусских производителей ориентировано на российский рынок и вопрос о смене площадок для инфлюенс-маркетинга для них стоит достаточно остро, это касается, в первую очередь, производителей одежды и косметики. Выполненный нами анализ показал, что после блокировки Instagram пользователи стали переходить в другие социальные сети. Наибольший рост количества пользователей наблюдается в сети "Одноклассники" – 66 % новых пользователей и 39 % восстановленных аккаунтов, которыми не пользовались длительное время. В первые же дни блокировки Instagram дневная аудитория "ВКонтакте" увеличилась почти на 9 %. Еще одной площадкой для замены российскими пользователями Instagram стал Telegram, однако существует мнение, что полностью заменить Instagram данным площадкам не удастся, поскольку они не предназначены для ведения бизнеса. Но на протяжении первых четырех – восьми лет существования такое положение было характер-

но и для Instagram, и лишь потом начали появляться специализированные инструменты.

На наш взгляд, следует развивать маркетинг на площадках, которые являются традиционно популярными в России и Беларуси и совершенствовать их возможности:

- социальная сеть «ВКонтакте», на базе которой начиналось развитие таргетированной рекламы с 2014 по 2017 год. Данная социальная сеть и в настоящее время остается главной российской площадкой по охвату аудитории;

- сервис персональных рекомендаций и издательская платформа «Яндекс.Дзен», на которой к настоящему времени свой контент разместило более 45000 блогеров. Количество пользователей составляет ежемесячно порядка 72 млн человек, что позволяет получать огромные охваты и значительно повысить узнаваемость компании;

- бесплатный облачный мессенджер Telegram, 52 % всей аудитории российского интернета есть в Telegram, а во всем мире количество пользователей ежемесячно составляет порядка 500 млн человек. По сравнению с Instagram и VK, где средняя вовлеченность 5 %, в Telegram данный показатель больше – около 15–30 %.

Более подробный анализ инструментов и эффективности применения Интернет-площадок приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристика основных платформ инфлюенс-маркетинга

Интернет-площадка	Предпосылки использования	Инструменты для инфлюенс-маркетинга
Социальная сеть «ВКонтакте»	увеличение активности почти на 4 млн пользователей в день; рост объемов контента на 11 %, поскольку всю прибыль от монетизации получает блогер	«умная» лента с широким выбором форматов контента; чат-боты и авторассылка; отложенный постинг и автопостинг; внутренний таргетинг и аналитика всей площадки
Мессенджер Telegram	7,7 млн единиц контента в день, увеличение количества активных авторов на 23 % (до 1,1 млн. в день), рост количества активных пользователей более чем на 14 млн., средняя вовлеченность пользователей 15–30 %	голосовые сообщения и трансляции на группу; видео-звонки и видеосообщения, чат-боты; пересылка файлов (документы, аудио и видеоформаты, архивы); секретные чаты и автоворонки; облачное хранилище
Медиа-платформа «Яндекс.Дзен»	72 млн пользователей ежемесячно, что способствует большому охвату и повышению узнаваемости компании; рост популярности у коммерческих компаний и низкий уровень конкуренции для бизнеса	персонализированная под пользователей лента; монетизация за взаимодействие с подписчика-ми; мультимедийный контент: статьи, посты до 1500 знаков, видео до 5 час., видео-трансляции до 24 час.; бесшовное соединение ресурсов Scroll2Site

Источник: собственная разработка на основе [5; 6]

Способы поиска инфлюенсеров и их использование на примере ООО «Модная лавка»

Существует два способа поиска инфлюенсеров:

1. Ручной поиск, в ходе которого могут использоваться различные инструменты мониторинга их деятельности:

- поиск с использованием геолокации. Выборка может осуществляться как по странам в целом, так и отдельным регионам, городам и популярным у целевой аудитории местам;

- поиск с использованием подходящих конкретной компании хештегов (ключевых слов или фраз, которым предшествует хэш-символ [#], написанный внутри сообщения или комментария, чтобы выделить его и облегчить поиск;

- поиск по ключевым словам-ассоциациям бренда через поисковую строку внутри выбранной SMM-площадки;

- поиск по ключевым словам в описании профиля потенциальных инфлюенсеров. Используя такой метод, можно не просто подобрать подходящего инфлюенсера, но и понять, чем интересуется аудитория рассматриваемого канала, просмотреть число подписчиков и смежные темы;

- поиск на основе анализа, с кем сотрудничают конкуренты;

– чаты и боты в Telegram. Существует множество Telegram-чатов, в которых можно заказать рекламу у блогера. Поиск в них упрощен, доступна к просмотру информация о стоимости услуг на продвижение, охватах и отзывах;

– поиск в подписках инфлюенсера. После использования вышеупомянутых способов и подбора некоторого количества подходящих блогов, можно просмотреть их собственные подписки или пролистать ленту. Часто блогеры устраивают коллаборации и взаимный пиар.

2. Использование специализированных площадок для инфлюенсер-маркетинга. Сервисы по поиску блогеров – это инструменты, которые помогают отобрать подходящих блогеров в базе инфлюенсеров по указанным параметрам, наиболее известные биржи блогеров: LabelUp, Storiesgain, Getblogger. Также можно использовать такие сервисы поиска, как trendHERO, LiveDune, Fakelikeinfo. Основные требования, которые выдвигаются инфлюенс-маркетологами к подобным сервисам: доступ к аналитике, возможность фильтрации по нужным параметрам; доступ к просмотру предыдущих рекламных работ и их итогов, возможность просмотра частоты и времени загрузки контента временной интервал пика просмотров контента [7; 8].

В качестве базы исследования возможностей использования рассмотренных выше площадок была выбрана белорусская компания ООО «Модная лавка», интернет-магазин которой носит название «Беллавка». Он является уникальной торговой площадкой, где пред-

ставлена продукция ведущих белорусских производителей одежды. Более 10 лет компания активно сотрудничает с различными производителями модной одежды, миссией ООО «Модная лавка» является популяризация белорусских производителей с странах СНГ и мире.

Для более эффективного применения SMM-инструментов по продвижению компании, целесообразным является исследование участников официальных групп, сообществ и мессенджеров ООО «Модная лавка» с использованием такие сервисов, как «Яндекс.Метрика» и внутренняя аналитика «ВКонтакте», а также данных из клиентской базы компании. Актуальность получения такого вида информации заключается в возможном использовании с целью составления портрета целевой аудитории, для последующего применения собранной информации в маркетинговой деятельности на только развивающихся и новых для компании площадках. Результаты исследования за 2021 год показали следующее:

1. Большую часть целевой аудитории составляют женщины – 87,6 %, доля мужчин составляет лишь 12,4 % (рисунок 1).

2. В возрастной категории среди женщин преобладают лица от 45 до 54 лет и от 35 до 44 лет (25,8 % и 25,1 % соответственно от общего количества пользователей), что показано на рисунке 2.



Рисунок 1 – Анализ целевой аудитории по гендерному различию

Примечание – Источник: разработка авторов на основе данных ООО «Модная лавка»

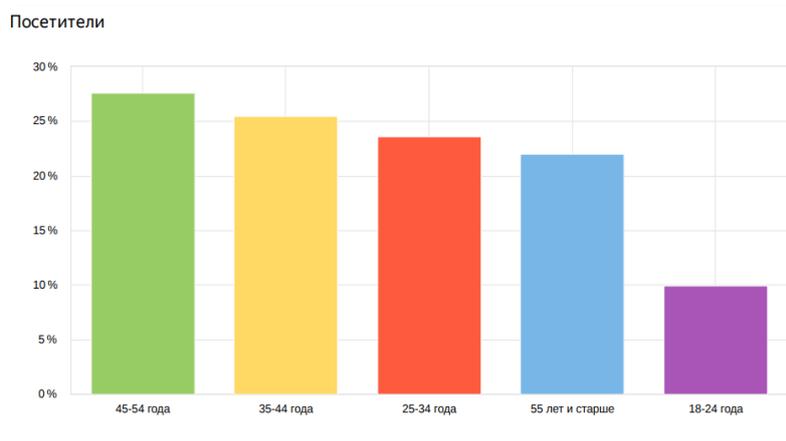


Рисунок 2 – Анализ целевой аудитории по возрастным категориям

Примечание – Источник: разработка авторов на основе данных ООО «Модная лавка»

Страна, Область, Город	Визиты	Посетители	Отказы
Итого и средние	8,23 млн	3,12 млн	11%
Россия	6,6 млн	81%	9,8%
Беларусь	1,22 млн	12,3%	14,9%
Казахстан	225 190	3,3%	9,86%

Рисунок 3 – Анализ целевой аудитории по географии проживания

Примечание – Источник: разработка авторов на основе данных ООО «Модная лавка»

Большинство подписчиков проживают на территории стран СНГ (рисунок 3), преимущественно в России (81 %), Беларуси (12,3 %) и Казахстане (3,3 %). При этом общее число посетителей официального сайта компании за анализируемый период составляет 8,23 млн пользователей.

Сравнение полученных данных с аналогичными данными за 2016 год показало следующее: число пользователей увеличилось на 6,47 млн; доля жителей России увеличилась на 6,6 %, Казахстана на 1,7 %. При этом стоит обратить внимание на рост процентов отказа на 2,6 %, выявить их причину и постараться минимизировать данный показатель.

В целях использования инфлюенс-маркетинга в таких социальных медиа-пространствах, как «ВКонтакте», «Яндекс.Дзен» и Telegram, в первую очередь, определим основные требования к лидерам мнений, а именно:

1. Тематика блога или отдельные его части должны соответствовать долгосрочным интересам потенциальных потребителей компании ООО «Модная лавка», таким как мода и стиль, семья, домашнее хозяйство, бизнес и развитие, женские советы. Большим преимуществом является наличие в контенте обзоров на различные товары (одежду, аксессуары и товары для дома), лайфхаки и советы для дома. Также это могут быть блоги домохозяйек, которые описывают свой быт.

2. Контент инфлюенсеров должен быть разнообразным, качественным, полезным и интересным. Преимуществом является использование нестандартной подачи информации (возможно использование корректного юмора). Приветствуется использование всевозможных SMM-инструментов и новшеств самой интернет-площадки. Это могут быть нативные видео, лонгриды, прямые эфиры, конкурсы и опросы. Обязательным требованием является наличие живого общения и вовлеченности со стороны подписчиков.

3. Частота выпуска контента должна быть не реже одного раза в 2–3 дня для «Яндекс.Дзен» и несколько постов в день для двух других площадок. В ином случае такая реклама не является целесообразной, так как существует риск, что большинство пользователей ее не увидят.

После подробного описания портрета целевой аудитории и критериев отбора по отношению к потенциальным инфлюенсерам, необходимо осуществить поиск самих блогеров отдельно для каждой из предложенных интернет-площадок. Для этого были использованы следующие инструменты:

– поиск с использованием геолокации. Наиболее эффективным является применение данного способа поиска блогеров в социальной сети ВКонтакте;

– поиск по ключевым словам в описании профиля. Особое внимание уделено никнеймам автора (псевдонимам, который используются на конкретном форуме, в чате или социальной сети и способствует короткому описанию тематики блога, особенно актуально для бизнес-аккаунтов);

– поиск по хештегам, для генерации подходящих хэштегов использовались Telegram-боты и ручной подбор;

– поиск с использованием возможностей поиска похожих аккаунтов на таких медиа-площадках как «ВКонтакте» и «Яндекс.Дзен». Целесообразно с точки зрения экономии временных затрат на просмотр и изучение всех подписчиков одного из выбранных лидеров мнений;

– поиск на основе анализа, с кем сотрудничают конкуренты. Анализ конкурентов и блогеров, с которыми они сотрудничают, позволяет составить мнение об эффективности сотрудничества с выбранными лидерами мнений и разработать предложения более выгодных условий для переключения их работы на аккаунте ООО «Модная лавка».

Систематизация и дальнейший анализ информации проводилась с использованием таблиц в Excel для каждой из площадок: «Яндекс.Дзен», «ВКонтакте» и Telegram, которые включали следующие разделы: ссылка на канал (страницу в социальной сети), тематика, рубрики блога, количество подписчиков, ГЕО, контакты для связи (если есть), показатель вовлеченности (ER). В результате проведенного исследования были получены следующие результаты по выбранным площадкам.

«ВКонтакте»

По результатам проведенного анализа наиболее целесообразным является сотрудничество с 17 инфлюенсерами, которые публикуют контент по различной тематике в соответствии с интересами целевой аудитории ООО «Модная лавка»: средний показатель ER (вовлеченность аудитории) – 38,73 %. Фрагмент полученной базы представлен на рисунке 4.

Ссылка на ВК	Тематика страницы (сообщества)	Подписчики	Рубрики блога	ГЕО	Контакты	ER%
Сообщества						
https://vk.com/nechego_nadet	Нечего надеть Твоя википедия по стилю.	336417	Обзоры на бренды и коллекции, советы, рекомендации, как носить различную одежду; ошибки в образе; модные советы. Статьи с ссылками	СНГ		17,90
https://vk.com/kosti_models	Kosti Models топовое СМИ моделей.	275236	Сообщество о моделях (молодежный формат). Публикуют истории подписчиков, домыслы, вопросы, догадки...	СНГ	https://vk.com/paulneighbourhood	11,05
Личная страница						
https://vk.com/publiс2111111535	Karina Nigay.	40294	Мода, стиль, собственные вебинары и тренинги. Обзоры, советы, опросы, есть ссылки на магазины и бренды	СНГ	https://vk.com/karina_nigay	63,53
https://vk.com/olya_a_ali	Оля Катюшина.	10000	Снимает полезные обзоры на выгодные покупки, помогает одеваться стильно, не тратя кучу денег. Ссылки на проверенные товары для всей семьи	Москва	телеграмм @Alesya_Kr	129

Рисунок 4 – Фрагмент базы данных инфлюенсеров «ВКонтакте»

Примечание – Источник: разработка авторов

Стоит отметить, что из всех рассматриваемых площадок, поиск инфлюенсеров в «ВКонтакте» является наиболее проблематичным, что объясняется следующим:

а) большое количество пользователей и сообществ, многие из которых содержат нецелевую аудиторию и некачественный контент, в связи с чем требуются дополнительные временные затраты, чтобы найти подходящих инфлюенсеров;

б) аудитория менее активно реагирует на публикуемый контент, что влияет на показатели охвата и продвижение компании. Это связано с тем, что большая часть читающей аудитории неохотно взаимодействует с публикуемым контентом, а больше сохраняет посты в закладках и делится ими с друзьями. Такие показатели практически невозможно отследить, следовательно, есть вероятность большой погрешности при оценке показателей охвата аудитории и ER-показателя.

Несмотря на наличие существенных недостатков, «ВКонтакте» занимает лидирующие позиции среди интернет-пользователей в России и странах СНГ и в случае дальнейшего улучшения уже имеющихся инструментов есть вероятность увеличения рынка инфлюенс-маркетинга в данной сети по странам СНГ до 60 %.

«Яндекс.Дзен»

По результатам проведенного анализа выбрано 15 инфлюенсеров, тематика блога которых в большинстве случаев связана со сферой моды и стиля, а размещаемый контент включает нативные видео-обзоры и информативные статьи со ссылками, средний показатель вовлеченности аудитории составляет 29,5 %. Фрагмент сформированной базы представлен на рисунке 5.

Ссылка на канал.	Тематика блога	Аудитория (тыс. чел.)	Рубрики блога	ГЕО	Контакты	ER %
Личные блоги						
https://zen.yandex.ru/kamenskaya13?lang=ru	Стилист PLUS SIZE (54 рр-р). Красивой можно быть не только в размере S!	37,9 тыс.	Как носить различную одежду; ошибки в образе; модные советы; шопинг. Статьи и видео	СНГ	@kamenskaya13 https://vk.com/marina_kamenskaya13	36,64
https://zen.yandex.ru/stylist?lang=ru	Стильно – не значит дорого! Мама, жена и просто счастливая женщина. Стилист с образованием психолога.	146 тыс.	Обзор на бренды и магазины, видео примерка, отзывы и личный опыт, модные советы. Статьи и видео	СНГ	i.ponyakina@yandex.ru	20,47
https://zen.yandex.ru/mne_50?lang=ru	Мне 50. Как выглядеть на все 100 в любом возрасте.	124 тыс.	Подбор образов для женщин 50+: модные советы из личного опыта или специалистов, обзор на бренды и магазины. Статьи и видео	СНГ	mne5082@mail.ru	79,59

Рисунок 5 – Фрагмент базы данных инфлюенсеров Яндекс.Дзен

Примечание – Источник: разработка авторов

Несмотря на то, что платформа имеет ограниченное количество видов публикуемого материала и маркетинговых инструментов для его разнообразия, целесообразность использования обосновывается высоким уровнем взаимодействия инфлюенсеров с целевой аудиторией и высокими показателями вовлеченности пользователей, поскольку лидеры мнений используют креативный и уникальный контент, делают упор на качество и персонализированную подачу.

Платформа самостоятельно подбирает целевую аудиторию, исходя из опубликованных материалов. Такая коммуникация возможна благодаря постоянному изучению интересов посетителей со стороны внутренних сервисов «Яндекс.Дзен».

Ключевыми недостатками платформы являются:

– высокий уровень проверки публикуемого материала на антиплагиат. Если для рекламы или статьи используется (копируется) материал с основного ресурса компании (сайта, группы, Instagram), существует вероятность блокировки аккаунта за плагиат и снижение числа показов размещаемых материалов ленте целевой аудитории;

– функциональные инструменты для создания разнообразного контента ограничены и не имеют такого большого разнообразия, как в привычных для пользователей социальных сетях;

– отсутствие возможности географического таргетинга.

Telegram

Наиболее важным является то, что инфлюенсеры Telegram обладает самой вовлеченной и заинтересованной аудиторией из всех оцениваемых площадок. Сочетание функций мессенджера и социальной сети позволяет добиться максимального доверия и лояльности со стороны целевой аудитории благодаря наличию видеозвонков, конференций и прямого общения с пользователями. По результатам проведенного анализа было выбрано 20 инфлюенсеров на данной площадке, средний показатель ER (вовлеченности аудитории) составил 57,10 %. Фрагмент созданной базы представлен на рисунке 6.

Ссылка на канал.	Тематика блога	Подписчик (тыс. чел.)	Рубрики блога	ГЕО	Контакты	ER %
О моде и стиле						
https://t.me/hellodress	Я нашла! Одежда Moda. Твоя онлайн-гардеробная. Есть второй канал товаров для дома.	47,652	Обзоры на бренды, магазины и отдельные модели с ссылками; информация о распродажах, подбор аналогов дорогих брендов. Краткие посты с ссылками.	СНГ	@DenDenV	29,92
https://t.me/outfits	Outfits. Ежедневная подборка модных и доступных образов.	111,263	Подборка брендов на различные категории одежды, аксессуары; обзор коллекций, трендов, идеи образов, лайфхаки и т.п. Посты с описанием и ссылками, открытые комментарии	СНГ	@agatamilonova	58,04
https://t.me/nigaykarina	КАРИНА НИГАЙ. Модный клуб для избранных.	123,342	Новости из мира моды, подбор брендов с описанием (есть детские), живое общение с аудиторией, есть юмор, полезные статьи, опросы. Статьи с ссылками, видеоконтент, прямые эфиры, максимальное взаимодействие с подписчиками	СНГ	Karina.nigay@gmail.com	67,53

Рисунок 6 – Фрагмент базы данных инфлюенсеров Telegram

Примечание – Источник: разработка авторов

Ключевые преимущества площадки для инфлюенс-маркетинга:
– основная аудитория Telegram состоит из пользователей в возрастной категории старше 35 лет. Подростки занимают лишь

7,7 %. Каждый пятый пользователь платформы зарабатывает более 3 тысяч белорусских рублей (или 90 тысяч российских рублей в Российской Федерации) в месяц. Это свидетельствует о высоком уровне

платёжеспособности аудитории и подтверждает целесообразность использования данной площадки для осуществления коммерческой деятельности и продвижения продукции компании;

– наличие большого выбора SMM-инструментов. Наиболее актуальным элементом для ООО «Модная лавка» является использование внутренних автоворонок (автоматизированных рассылок для увеличения активности пользователей и роста продаж);

– бесплатная доставка необходимой информации пользователям без ограничений. Также для упрощения взаимодействия с целевой аудиторией и уменьшения времени ожидания ответов на запросы подписчиков целесообразным является использование автоматизации работы через чат-боты без создания отдельных приложений.

Из недостатков можно отметить следующие факторы:

– отсутствие отдельных разделов с контентом разного формата. Если в Instagram видео, посты или сторис можно найти в разных местах, то в Telegram – всего одно окно для постинга;

– неудобный поиск в ленте. Если администратор канала не отмечает пост соответствующим хештегом, найти нужную информацию в бесконечной ленте проблематично.

По результатам проведенного анализа можно сделать вывод, что для дальнейшего продвижения компании «Модная лавка» целесообразнее всего использовать такие площадки, как «Яндекс.Дзен», где наиболее высокая выручка, приходящаяся на одного подписчика. «ВКонтакте» также является перспективной социальной сетью для внедрения предложенных в работе SMM-инструментов, так как там находится основная целевая аудитория компании.

Заключение

В результате проведенных исследований определено, что организациям необходимо постоянно находить новые инструменты и площадки для реализации интернет-маркетинга, поскольку данная сфера характеризуется высокой скоростью изменений.

Сделан вывод, что инфлюенс-маркетинг на данном этапе является актуальным инструментом работы по повышению узнаваемости компании и увеличению продаж. Целесообразность его использования заключается в наиболее упрощенном формате коммуникации с целевой аудиторией и возможностях значительной экономии временных и человеческих ресурсов. Выявлены наиболее перспективные площадки для реализации инфлюенс-маркетинга белорусскими компаниями в современных условиях, такие как социальная сеть «ВКонтакте», мессенджер Telegram, медиаплатформа «Яндекс.Дзен», рекомендован и апробирован алгоритм поиска инфлюенсеров с учетом возможностей, преимуществ и недостатков вышеперечисленных площадок.

Список цитированных источников

1. Указ Президента Российской Федерации от 09.05.2017 г. № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kremlin.ru/acts/bank/41919>. – Дата доступа: 05.03.2022.
2. Зазерская, В. В. Стратегическое управление в условиях цифровой экономики / В. В. Зазерская // Экономика и управление: социальный, экономический и инженерный аспекты : сб. науч. ст. II Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 5–6 декабря 2019 года / Мин-во обр. Республики Беларусь, Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: В. В. Зазерская [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2019. – С. 3–6.
3. Доклад о развитии цифровой (Интернет) торговли в ЕАЭС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.eurasiancommission.org/ru/act/dmi/workgroup/Documents.pdf>. – Дата доступа: 05.03.2022.
4. Рынок Influence-маркетинга в России: экосистема, основные игроки, метрики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://adindex.ru/publication/opinion/internet/2018/01/9/168428.phtml>. – Дата доступа: 16.03.2022.
5. Инфлюенс-маркетинг: тренды и прогнозы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vc.ru/marketing/179182-inflyuens-marketing-trendy-i-prognozy>. – Дата доступа: 16.03.2022.

6. Ергунова, О. Т. Основные тренды инфлюенс-маркетинга в условиях пандемии / О. Т. Ергунова, А. О. Арсентьева // сборник статей VI Междунар. науч.-практ. конф. «Discovery science research», г. Петрозаводск, МЦНП «Новая наука, 2020 г. – С. 145–150.
7. Бунько, С. А. Перспективы развития инфлюенс-маркетинга в современных условиях / С. А. Бунько, В. В. Якубюк // Тенденции развития науки образования и экономики в эпоху цифровизации : материалы Междунар. науч.-практ. конф., г. Липецк, 28 апреля 2022 г. – Липецк : ЛГПУ им. П.П. Семенова-Тян-Шанского, 2022. – С. 17–22.
8. Якубюк, В. В. Инфлюенс-маркетинг как эффективный SMM-маркетинг продвижения компании / В. В. Якубюк // Сборник конкурсных научных работ студентов и магистрантов, Брест, 2022 г. : в 2-х ч. / БрГТУ ; редкол.: Н. Н. Шалобыта [и др.]. – Брест : Издательство БрГТУ, 2022. – Ч. 2 – С. 128 – 132.

References

1. Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 09.05.2017 g. № 203 «O Strategii razvitiya informacionnogo obshchestva v Rossijskoj Federacii na 2017–2030 gody» [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://kremlin.ru/acts/bank/41919>. – Data dostupa: 05.03.2022.
2. Zazerskaya, V. V. Strategicheskoe upravlenie v usloviyah cif-rovoj ekonomiki / V. V. Zazerskaya // Ekonomika i upravlenie: social'nyj, ekonomicheskij i inzhenernyj aspekty : sb. nauch. st. II Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Brest, 5–6 dekabrya 2019 goda / Min-vo obr. Respubliki Belarus', Brest. gos. tekhn. un-t ; redkol.: V. V. Zazerskaya [i dr.]. – Brest : BrGTU, 2019. – S. 3–6.
3. Doklad o razvitiu cifrovoy (Internet) trgovli v EAES [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.eurasiancommission.org/ru/act/dmi/workgroup/Documents.pdf>. – Data dostupa: 05.03.2022.
4. Rynok Influence-marketinga v Rossii: ekosistema, osnovnye igroki, metriki [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://adindex.ru/publication/opinion/internet/2018/01/9/168428.phtml>. – Data dostupa: 16.03.2022.
5. Inflyuens-marketing: trendy i prognozy [Elektronnyj re-surs]. – Rezhim dostupa: <https://vc.ru/marketing/179182-inflyuens-marketing-trendy-i-prognozy>. – Data dostupa: 16.03.2022.
6. Ergunova, O. T. Osnovnye trendy inflyuens-marketinga v usloviyah pandenonomiki / O. T. Ergunova, A. O. Arsent'eva // sbornik statej VI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Discovery science research», g. Petrozavodsk, MCNP «Novaya nauka, 2020 g. – S. 145–150.
7. Bun'ko, S. A. Perspektivy razvitiya inflyuens-marketinga v sovremennyh usloviyah / S. A. Bun'ko, V. V. YAkubyuk // Tendencii razvitiya nauki obrazovaniya i ekonomiki v epohu cifro-vizacii : materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., g. Lipeck, 28 aprelya 2022 g. – Lipeck : LGPU im. P.P. Semenova-Tyan-SHanskogo, 2022. – S. 17–22.
8. YAkubyuk, V. V. Inflyuens-marketing kak effektivnyj SMM-marketing prodvizeniya kompanii / V. V. YAkubyuk // Sbornik konkursnyh nauchnyh rabot studentov i magistrantov, Brest, 2022 g. : v 2-h ch. / BrGTU ; redkol.: N. N. SHalobyta [i dr.]. – Brest : Izdatel'stvo BrGTU, 2022. – CH. 2 – S. 128 – 132.

Материал поступил 04.04.2023, одобрен 05.04.2023, принят к публикации 10.04.2023

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ

И. М. Гарчук

К. э. н., заведующий кафедрой менеджмента, УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail : garchuk_im@mail.ru

Реферат

Представлена модель системы управления предприятием и рассмотрены элементы системы, характеризующиеся определенными параметрами, определяющими состояние данного элемента системы управления. Приведен расчет эффективности системы управления предприятием в виде матричной системы с учетом параметров и факторов внешней среды, влияющих на систему управления. Определена необходимость разработки программы мероприятий, направленных на совершенствование системы управления предприятием. Рассмотрены две системы оценки эффективности совершенствования системы управления предприятием: оценка эффективности комплексного совершенствования и расчет экономической эффективности от осуществления каждого мероприятия по совершенствованию управления в отдельности.

Ключевые слова: система управления предприятием, оценка, эффективность, элемент, факторы, совершенствование, программа.

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF THE ENTERPRISE MANAGEMENT SYSTEM

I. M. Garchuk

Abstract

The model of the enterprise management system is presented and the elements of the system are considered, which are characterized by certain parameters that determine the state of this element of the management system. The calculation of the efficiency of the enterprise management system in the form of a matrix system is given, taking into account the parameters and environmental factors that affect the management system. The necessity of developing a program of measures aimed at improving the enterprise management system was determined. Two systems for evaluating the effectiveness of improving the enterprise management system are considered: evaluating the effectiveness of complex improvement and calculating the economic efficiency from the implementation of each measure to improve management separately.

Keywords: enterprise management system, assessment, efficiency, element, factors, improvement, program.

Введение

Исследование проблем устойчивого развития предприятий, показало, что одним из направлений его обеспечения является оценка эффективности управления. Анализ разных источников по вопросам эффективности управления выявил, что данное понятие включает три аспекта: первый – определение того, действительно ли появился результат управления, а не действия каких-либо других общественных компонентов; второй – это профессионализм и талант управляющих; третий – установление между целями, задачами, определенными в управленческих решениях и реально полученными результатами управления [1; 2; 3; 4; 5; 6; 7]. Новыми подходами, связанными с аналитической подготовкой управленческого решения, повышения его качества, являются углубленная диагностика, экспресс-диагностика и функциональная диагностика, результатом которых является обоснованное принятие решений относительно разработки направлений дальнейшего развития предприятия [8; 9; 10; 11]. Кроме этого, по мнению других авторов, для организации системы управления, обеспечения непрерывного бизнеса и успешного руководства им, работники сферы управления должны располагать не только людским, но и материальными, а также внутренними ресурсами, иметь их в необходимом количестве и правильно использовать на практике [12; 13].

Анализ научных и практических публикаций по вопросам оценки управления позволил сделать вывод о многообразии подходов к определению эффективности системы управления предприятием. По мнению автора, чтобы эффективно управлять, необходимо иметь достаточную, надежную, точную, полную информацию о процессах, происходящих в системах управления предприятием. В этих условиях возникает задача создания эффективных систем обеспечения прозрачности управления, разработки методов измерения показателей системы управления.

Определение экономической эффективности системы управления предприятием.

В процессе функционирования любое предприятие как система, состоящая из социальных, экономических, технических, организаци-

онно связанных между собой элементов, во времени меняет свое состояние, которое описывается множеством различных факторов деловой среды организации (рисунок 1).

Каждый элемент системы характеризуется выбором параметров, определяющих состояние элемента. Все параметры системы можно разделить на три группы: входные, выходные и показатели состояния системы. Входные параметры Z_1, Z_2, \dots, Z_k отражают связи системы с другими системами и объектам, совокупность которых является внешней деловой средой по отношению к исследуемому предприятию. Выходные параметры $\Xi_1, \Xi_2, \dots, \Xi_i$ показывают результативность системы и ее непосредственное влияние на деловую среду. Параметры внутреннего состояния системы характеризуют ее внутреннюю способность к решению стоящих перед ней задач, ее экономический, технический, информационный потенциал, а также степень их использования. Совокупность множества параметров характеризуют общее состояние любой системы в определенный момент времени.

Параметр состояния изменяется под воздействием входного сигнала, поступающего через входные каналы (входы), а изменение состояния элемента приводит к образованию выходных сигналов, передаваемых через выходные каналы (выходы) на другие элементы системы.

Подсистема управления формирует управляющее воздействие для управляемой подсистемы. Канал связи, по которому передается информация о состоянии управляемой подсистемы к управляющей, является обратной связью. За вход принимаются цели управления, выходом является конечный результат. Наличие прямой и обратной связей является непременным условием эффективного функционирования и развития любой системы.

Прямая связь обслуживает процесс принятия решений и обеспечивает их передачу на управляемый объект. Обратная связь, несущая информацию о состоянии объекта и его реакции на управляющие решения, служит базой формирования корректирующего воздействия на объект управления [14].

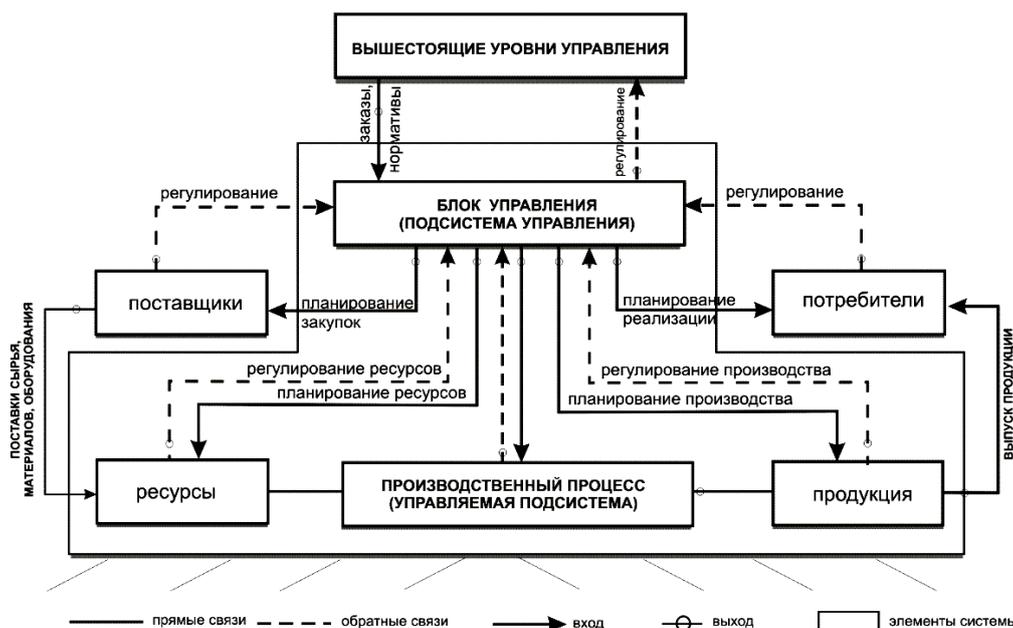


Рисунок 1 – Модель системы управления предприятием

Примечание. Источник – собственная разработка

Обратные связи, в свою очередь, синтезируют изменчивые и неопределенные действия деловой среды по отношению к объекту управления и отражают многообразные причинно-следственные связи. Чем выше степень соответствия подсистемы управления к управляемой подсистеме, тем эффективнее осуществляется управление любой системой. В этой связи расчет эффективности системы управления предприятием \mathcal{E}_i можно записать в виде матричной системы (формула 1):

$$\mathcal{E}_i = \Phi \begin{pmatrix} Z_k = f(X_{11}, X_{21}, \dots, X_{j_1}) \\ Y_p = f(X_{21}, X_{22}, \dots, X_{j_2}) \\ U_n = f(X_{31}, X_{32}, \dots, X_{j_3}) \\ Q_m = f(X_{41}, X_{42}, \dots, X_{j_4}) \end{pmatrix} \quad (1)$$

где Z_1, Z_2, \dots, Z_k – входы в систему (внешние и внутренние воздействия на предприятия в виде заказов, договоров, нормативов, приводящие к изменению параметров элементов системы);

Y_1, Y_2, \dots, Y_p – характеристики региональных условий функционирования предприятия;

U_1, U_2, \dots, U_n – управляющие решения в виде плановых заданий;

Q_1, Q_2, \dots, Q_m – изменение параметров элементов системы (передаются на блок управления по обратной связи);

X_1, X_2, \dots, X_j – случайные факторы неопределенности, взаимодействующие с деловой средой (описывают динамическое изменение условий производства).

Для оценки решений относительно всех факторов Z_k, Y_p, U_n, Q_m, X_j необходимо отыскать оптимальное значение параметра эффективности системы управления \mathcal{E}_i . При этом критерии могут достигать значений $\mathcal{E}_i \rightarrow \min$ (например, расход ресурсов) и $\mathcal{E}_i \rightarrow \max$ (например, получение прибыли, достижение уровня рентабельности).

Необходимо отметить, что под влиянием научно-технического прогресса изменяются организационные формы работы предприятия, организационные структуры, техника и технология, материально-техническая база, технологии управления, что в свою очередь

вызывает изменение структуры и связей подсистем. Во время t изменяются параметры X_j и если через коэффициенты k_i записать темпы их изменения, то матрица эффективности управления значительно усложнится (формула 2):

$$\mathcal{E}_i(t) = \Phi \begin{pmatrix} Z_k(t) = f \left[k_{11}(t)X_{11}(t), k_{12}(t)X_{12}(t), \dots, k_{1j}(t)X_{1j}(t) \right] \\ Y_p(t) = f \left[k_{21}(t)X_{21}(t), k_{22}(t)X_{22}(t), \dots, k_{2j}(t)X_{2j}(t) \right] \\ U_n(t) = f \left[k_{31}(t)X_{31}(t), k_{32}(t)X_{32}(t), \dots, k_{3j}(t)X_{3j}(t) \right] \\ Q_m(t) = f \left[k_{41}(t)X_{41}(t), k_{42}(t)X_{42}(t), \dots, k_{4j}(t)X_{4j}(t) \right] \end{pmatrix} \quad (2)$$

В этих случаях для оценки решений необходимо привлечение большого количества информации на всех уровнях управления: стратегическом, текущем, оперативном. Кроме этого, может быть принято множество решений при различных циклах управления, которые включают в себя:

- проведение диагностики системы управления, включающей сбор и обработку информации;
- мониторинг за функционированием системы управления;
- выявление отклонений от плановых показателей и нормативов;
- оценку их значимости для определения характера корректировки;
- подготовку и принятие решений;
- разработку программы корректирующих мероприятий и организацию их исполнения.

При этом эффективность управления повышается с ростом полноты информации, точности и степени ее достоверности. В этой связи можно использовать подход к оценке эффективности системы управления с помощью проведения диагностики, которая рассматривается как комплекс исследований, направленных на получение достоверной информации, позволяющей оценить эффективность системы управления в начальный момент времени.

Уровень экономической эффективности управления зависит от изменения эффективности деятельности предприятия, достигнутой в результате осуществления функций управления и от затрат на управление, вызвавших этот эффект. Для повышения уровня эффективности управления необходима разработка программы мероприятий, направленных на совершенствование системы управления предприятием. Программа может разрабатываться по следующим направлениям:

- совершенствование организационной структуры через создание и развитие объединений, повышение уровня специализации и концентрации производства, совершенствование функций управления;

- совершенствование системы управления – внедрение инновационных технологий эффективного менеджмента;

- повышение квалификации работников системы управления;

- совершенствование системы стратегического планирования;

- совершенствование системы экономического стимулирования работников.

Ключевым моментом в реализации данной программы является проведение мониторинга эффективности системы управления, представляющего собой наблюдение и оценку для получения достоверных и достаточных данных о состоянии каждой функции управления через определенные промежутки времени. Особое место в мониторинге занимает подготовка и накопление информации, что определяет целесообразность создания банка данных по результатам проводимого мониторинга и позволяет отслеживать динамику эффективности системы управления предприятием. Мониторинг предполагает активный обмен информацией между всеми участниками реализации программы на всех этапах повышения уровня эффективности управления [15].

Важность мониторинга заключается в том, что он является необходимым условием обеспечения прозрачности и достоверности проводимой оценки системы управления. Это позволяет добиться адекватного отражения эффективности системы управления в формализованном виде, т.е. посредством построения моделей траекторий развития, и учитывать при разработке программы повышения эффективности, следующие вопросы: производство альтернативной, конкурирующей продукции; разработка нового ассортимента продукции; появление новых заинтересованных сторон; развитие рынка и технологий; изменения в законодательных и других обязательных требованиях; возникновение потенциальных рисков; внедрение инноваций.

Основное отличие мониторинга от диагностики заключается в поступательном измерении приращения значений показателей системы управления при мониторинге от разовых измерений в начальный момент времени при диагностике. Мониторинг определяет степень достижения запланированных мероприятий программы и позволяет своевременно их корректировать на каждом исследуемом интервале времени. В этой связи он должен осуществляться несколько раз, для того, чтобы были реализованы все мероприятия программы, а при необходимости была проведена их корректировка, определяющая величину корректирующего воздействия. В этом случае составляется отдельная персонализированная программа для реализации разработанных мероприятий, которая должна обеспечить соответствие плановых значений с фактическими. Если в следующей контрольной точке мониторинга не происходит достижения установленных значений каждого мероприятия программы, то процедура корректировки повторяется.

При проведении мониторинга выполняется персонализированная оценка системы контроля исполнительской дисциплины и персонализированная оценка качества труда за выполнение плановых заданий программы повышения эффективности системы управления, а также за реализацию корректирующих заданий. Накопительные результаты мониторинга за все временные интервалы измерений передаются в управляющую систему для принятия решений.

Главная цель совершенствования системы управления – повышение ее эффективности. В этой связи можно рассматривать две системы оценки эффективности совершенствования системы управления предприятием:

1. Оценка эффективности комплексного совершенствования, позволяющая установить взаимосвязь между показателями и их приращением производственно-хозяйственной деятельности предприятия и характеристиками действия самой системы управления, затратами на ее содержание.

2. Расчет экономической эффективности от осуществления мероприятий по совершенствованию управления по каждому мероприятию в отдельности. И в этом случае экономическая эффективность определяется как суммарная эффективность по указанным выше направлениям мероприятий.

Заключение

Задача управления – обеспечить достижение определенной цели при наиболее эффективном использовании материальных, трудовых и денежных ресурсов. В данном случае понятие эффективности во многом совпадает с понятием эффективности производства и для их оценки используется одна и та же система показателей. В качестве главного показателя результативности управления при этом выступает уровень эффективности управляемого объекта. В этой связи оценка уровня экономической эффективности управления предприятием может быть дана на основе сравнения полученных предприятием конечных результатов деятельности с ресурсами, которыми оно располагало.

Эффективность управления можно рассматривать как результативность деятельности конкретной управляющей системы, которую можно оценить в двух направлениях: это результативность управляющего воздействия на функционирование и развитие предприятия, оцениваемая через экономические результаты деятельности предприятия; это показатели самого процесса управления и управляющей системы.

Расчет показателей эффективности системы управления, их постоянный мониторинг в целях сравнения с плановыми и показателями прошлых периодов, а также с нормативами позволяют управляющей системе разработать и реализовать мероприятия по совершенствованию системы управления и ее эффективности.

В связи с многообразием мероприятий по совершенствованию системы управления и их опосредованного влияния на технические и организационные изменения в производстве и управлении во многих случаях затруднительно выполнить расчеты их эффективности. В этом случае можно сопоставить качественные характеристики системы управления с нормативами или для качественной оценки изменений в производстве и системе управления использовать методы экспертных оценок.

Эффект от совершенствования управления предприятием может выражаться в разработке стратегии устойчивого развития предприятия, внедрению современных инструментов маркетинга, снижении себестоимости продукции, росте прибыли, увеличении выпуска продукции, повышении ее качества и конкурентоспособности, росте производительности труда и др.

Список цитированных источников

1. Раздорожный, А. А. Управление организацией (предприятием) : учебник / А. А. Раздорожный. – М. : Экзамен, 2006. – 637 с.
2. Управление организацией : учебник / Г. Л. Азов [и др.] ; под ред. А. Г. Поршнева, З. П. Румянцевой, Н. А. Саломатина. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Инфра-М, 2008. – 734 с.
3. Новиков, Д. А. Методология управления / Д. А. Новиков. – М. : Либроком, 2011. – 129 с.
4. Менеджмент : учебник / А. В. Игнатьева [и др.] ; под ред. М. М. Максимцова, М. А. Комарова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : ЮНИТИ, 2006. – 320 с.
5. Шигичева, И. Б. Системный подход в управлении предприятием и его структурными подразделениями и его значимость в повышении эффективности менеджмента / И. Б. Шигичева. – М. : Лаборатория книги, 2012. – 49 с.
6. Кисельников, Е. А. Развитие теории эффективности функционирования промышленных предприятий / Е. А. Кисельников // Вестн. СамГУ. – 2013. – № 1. – С. 132–139.
7. Стадников, Ю. П. Задачи и методы управления в условиях современного предприятия / Ю. П. Стадников. – М. : Лаборатория книги, 2012. – 153 с.
8. Высоцкий О.А. Теория измерения управляемости хозяйственной деятельностью предприятий / Под науч. ред. Р.С. Седегова. – Мн. : ИООО «Право и экономика», 2004. – 396 с.
9. Шутов, П. П. Разработка основ стратегии повышения эффективности функционирования предприятий / П. П. Шутов // Основы ЭУП. – 2013. – № 4. – С. 92–97.
10. Шестерикова, Н. В. Формирование стратегии устойчивого развития предприятия на основе системы сбалансированных показателей : дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / Н. В. Шестерикова. – Н. Новгород, 2009. – 238 л.

11. Вишнякова, А. Б. Разработка стратегии устойчивого развития промышленного предприятия : автореф. дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / А. Б. Вишнякова ; Сам. гос. экон. ун-т. – Самара, 2008. – 24 с.
 12. Беляцкий, А. П. Качество труда менеджера / Н. П. Беляцкий // Научные труды Белорусского государственного экономического университета : юбилейный сборник. Вып. 6 / М-во образования Респ. Беларусь, Белорусский гос. экон. ун-т ; [редкол.: В.Н. Шимов (пред.) и др.]. – Минск : БГЭУ, 2013. – С. 29–33.
 13. Ясинский, Ю. М. Система управления в развивающейся организации / Ю. М. Ясинский // Банкаўскі веснік. – 2013. – № 21. – С. 3–9.
 14. Гарчук, И. М. Стратегия производственной организации в системе обеспечения ее устойчивого развития / И. М. Гарчук // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. – 2015. – № 3 : Экономика. – С. 14–18.
 15. Зацепина, Е. В., Гарчук И.М. Мониторинг процессов управления и инструменты его автоматизации / Е. В. Зацепина, И. М. Гарчук // Новые информационные технологии в образовании : сб. науч. тр. XVI междунар. науч.-практ. конф. «Применение технологий «1С» в условиях модернизации экономики и образования», Москва, 2–3 февр. 2016 г. : в 2 ч. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т. – М., 2016. – Ч. 1. – С. 390–393.
 7. Stadnikov, YU. P. Zadachi i metody upravleniya v usloviyah sovremennogo predpriyatiya / YU. P. Stadnikov. – M. : Laboratoriya knigi, 2012. – 153 s.
 8. Vysockij O.A. Teoriya izmereniya upravlyaemosti hozyajstvennoj deyatel'nost'yu pred-priyatij / Pod nauch. red. R.S. Sedegova. – Mn. : IOOO «Pravo i ekonomika», 2004. – 396 s.
 9. SHutov, P. P. Razrabotka osnov strategii povysheniya effektivnosti funkcionirovaniya predpriyatij / P. P. SHutov // Osnovy EUP. – 2013. – № 4. – С. 92–97.
 10. SHesterikova, N. V. Formirovanie strategii ustojchivogo razvitiya predpriyatiya na osnove sistemy sbalansirovannykh pokazatelej : dis. ... kand. ekon. nauk : 08.00.05 / N. V. SHesterikova. – N. Novgorod, 2009. – 238 l.
 11. Vishnyakova, A. B. Razrabotka strategii ustojchivogo razvitiya promyshlennogo pred-priyatiya : avtoref. dis. ... kand. ekon. nauk : 08.00.05 / A. B. Vishnyakova ; Sam. gos. ekon. un-t. – Samara, 2008. – 24 s.
 12. Belyackij, A. P. Kachestvo truda menedzhera / N. P. Belyackij // Nauchnye trudy Belo-russkogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta : yubilejnyj sbornik. Vyp. 6 / M-vo obrazovaniya Resp. Belarus', Belorusskij gos. ekon. un-t ; [redkol.: V.N. SHi-mov (pred.) i dr.]. – Minsk : BGEU, 2013. – С. 29–33.
 13. YAsinskij, YU. M. Sistema upravleniya v razvivayushchejsya organizacii / YU. M. YAsin-skij // Bankaўski vesnik. – 2013. – № 21. – С. 3–9.
 14. Garchuk, I. M. Strategiya proizvodstvennoj organizacii v sisteme obespecheniya ee ustojchivogo razvitiya / I. M. Garchuk // Vestn. Brest. gos. tekhn. un-ta. – 2015. – № 3 : Ekonomika. – С. 14–18.
 15. Zatsepina, Ye. V., Garchuk I.M. Monitoring protsessov upravleniya i instrumenty yego avtomatizatsii / Ye. V. Zatsepina, I. M. Garchuk // Novyye informatsionnyye tekhnologii v obrazovanii : sb. nauch. tr. XVI mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Primeneniye tekhnologiy «1S» v usloviyakh modernizatsii ekonomiki i obrazovaniya», Moskva, 2–3 fevr. 2016 g. : v 2 ch. / Yuzh.-Ros. gos. politekhn. un-t. – M., 2016. – CH. 1. – С. 390–393.
- References**
1. Razdorozhnyj, A. A. Upravlenie organizaciej (predpriyatiem) : ucheb-nik / A. A. Razdo-rozhnyj. – M. : Ekzamen, 2006. – 637 s.
 2. Upravlenie organizaciej : uchebnik / G. L. Azoev [i dr.] ; pod red. A. G. Porshneva, Z. P. Rumyancevoj, N. A. Salomatina. – 4-e izd., pererab. i dop. – M. : Infra-M, 2008. – 734 s.
 3. Novikov, D. A. Metodologiya upravleniya / D. A. Novikov. – M. : Librokom, 2011. – 129 s.
 4. Menedzhment : uchebnik / A. V. Ignat'eva [i dr.] ; pod red. M. M. Maksimcova, M. A. Komarova. – 3-e izd., pererab. i dop. – M. : YUNITI, 2006. – 320 s.
 5. SHigicheva, I. B. Sistemnyj podhod v upravlenii predpriyatiem i ego strukturnymi podrazdeleniyami i ego znachimost' v povyshenii effektivnosti menedzhmenta / I. B. SHigicheva. – M. : Laboratoriya knigi, 2012. – 49 s.
 6. Kisel'nikov, E. A. Razvitie teorii effektivnosti funkcionirovaniya promyshlennykh predpriyatij / E. A. Kisel'nikov // Vestn. SamGU. – 2013. – № 1. – С. 132–139.

Материал поступил 14.06.2023, одобрен 15.06.2023, принят к публикации 15.06.2023

УДК 339.92:332.142.4

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТРАНСГРАНИЧНЫХ РЕГИОНОВ

В. В. Зазерская

К. э. н., доцент, декан экономического факультета учреждения образования «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: zazerskaya@mail.ru

Реферат

В статье исследуется феномен трансграничного региона. Через призму регионализации и глобализации исследуются специфические свойства трансграничья. Проведена систематизация современных научных представлений о трансграничном сотрудничестве и выделены существенные характеристики в условиях трансформационных преобразований, связанных с формированием трансграничного региона. Показано, что наибольшее распространение среди исследователей получили географический и социокультурный подходы. В статье трансграничный регион рассматривается в качестве особой формы социально-экономического пространства. Сделан вывод о необходимости учета транзитного потенциала, геополитических и экономических интересов страны и региона, что позволяет говорить о новой пространственной концепции трансграничного региона как экономического коридора развития.

Ключевые слова: регион, территория, трансграничное сотрудничество, трансграничный регион, транснационально-трансграничная система, пространственное развитие территорий, экономический коридор развития.

CONCEPTUAL APPROACHES TO THE DETERMINATION OF TRANSBOUNDARY REGIONS

V. V. Zazerskaya

Abstract

The article explores the phenomenon of a transboundary region. Through the prism of regionalization and globalization, the specific properties of the transboundary are studied. The systematization of modern scientific ideas about cross-border cooperation has been carried out and significant characteristics have been identified in the conditions of transformational transformations associated with the formation of a cross-border region. It is shown that geographical and sociocultural approaches are most widely used among researchers. In the article, the cross-border region is considered as a special form of socio-economic space. It is concluded that it is necessary to take into account the transit potential, geopolitical and economic interests of the country and the region, which allows us to speak of a new spatial concept of the transboundary region as an economic development corridor.

Key words: region, territory, transboundary cooperation, transboundary region, transnational-transboundary system, spatial development of territories, economic development corridor.

Введение

Современный этап глобализации сопровождается процессом трансграничного регионообразования, активно развивающего различные виды экономической деятельности. Одной из наиболее актуальных проблем социально-экономического развития регионов является несовершенный механизм включения регионов в мировые интеграционные процессы. Базовым элементом развития межгосударственных отношений являются приграничные регионы. Появление на их основе трансграничного сотрудничества расширяет роль и возможности страны в мировых хозяйственных связях и трансформирует его в одну из форм интеграции.

Современные концепции трансграничного сотрудничества на уровне регионов предполагают изменение подходов к административно-территориальному устройству страны и его развитию, к уровню жизни трансграничных территорий и также их развитию.

Несмотря на географическое положение Республики Беларусь и наличие границ с ЕС и РФ процессы трансграничного регионообразования с участием белорусских регионов протекают недостаточно интенсивно. Исследования показывают, что методология территориальной организации трансграничных систем, регионов и оценки экономического развития таких территорий разработана недостаточно. Это во многом объясняется тем, что изучение в нашей стране международных трансграничных взаимодействий началось лишь в постсоветский период.

Контекстный анализ трансграничного сотрудничества

Выделение роли трансграничного сотрудничества в мировой экономике встречается в дефинициях некоторых авторов. При определении экономической глобализации основатель и директор Эвианской группы по изучению экономического порядка в эпоху глобализации Жан-Пьер Леманн подчёркивает трансграничный ракурс глобализации: «По своей сути глобализация означает усиливающееся слияние рынков благодаря трансграничному перемещению товаров, капитала, информации, технологий и людей» [1]. Согласно формулировке, данной Генеральным секретарем ООН Кофи Аннаном, глобализация – «это общий термин, обозначающий все более

сложный комплекс трансграничных взаимодействий между физическими лицами, предприятиями, институтами и рынками, который проявляется в расширении потоков товаров, технологий и финансовых средств, в неуклонном росте и усилении влияния международных институтов гражданского общества, в глобальной деятельности транснациональных корпораций, в расширении масштабов трансграничных коммуникационных и информационных обменов, прежде всего через Интернет, в трансграничном переносе заболеваний и экологических последствий и во все большей взаимосвязанности определенных типов преступной деятельности [2]. Таким образом, роль трансграничного сотрудничества как средства взаимодействия в сфере хозяйственных межстрановых связей, а именно культурных, политических и экономических связей между регионами разных государств, разделенными границей, особенно актуальна. В этой связи представляет определенный интерес для исследования экономического развития регионов и оценки их состояния и динамики в условиях трансграничного сотрудничества анализ феномена трансграничья в различных контекстах.

Трансграничное сотрудничество реализуется в рамках таких форм, как локальные приграничные контакты, двусторонние договорные отношения между соседними территориями, создание устойчивых сетевых образований в виде ассоциаций, форумов, еврорегионов и т. д., а также в виде текущей деятельности по различным направлениям в рамках совместных проектов [3].

В последние годы Республики Беларусь принимала участие в следующих программах трансграничного сотрудничества Европейского союза «Польша – Беларусь – Украина», «Латвия – Литва – Беларусь», «Регион Балтийского моря».

По степени участия в программах можно выделить следующих субъектов: органы местной власти (29 %), учреждения образования (17 %), республиканские органы госуправления и подчиненные им организации (12 %), общественные объединения (7 %), учреждения здравоохранения (6 %) и научные учреждения (5 %). Доля других организаций составляет 24 % [4].

Партнерами российско-белорусского межрегионального сотрудничества являются российские регионы, а с белорусской стороны

республиканские органы государственной и подчиненные им организации, органы местной власти. Из 185 договорных документов все 6 белорусских областей и Минск связаны соглашениями о сотрудничестве. По оценке Минэкономразвития России участие в рамках программ Россия – ЕС «Эстония – Латвия – Россия», «Литва – Польша – Россия», «Карелия», «Коларктик», «Юго-Восточная Финляндия – Россия» позволило реализовать более пятидесяти крупномасштабных инфраструктурных проектов в таких областях, как обустройство государственной границы, экология, развитие транспортной инфраструктуры, стимулирование малого и среднего предпринимательства, поддержку местных культур и обычаев, повышение уровня жизни населения приграничных регионов. В 2014–2020 гг осуществлялись программы: «Карелия», «Коларктик», «Россия – Латвия», «Россия – Литва», «Россия – Польша», «Россия – Эстония» и «Россия – Юго-Восточная Финляндия» [5].

В зависимости от сущности системообразующих связей можно определить следующие виды трансграничных регионов:

- не взаимодействующие регионы. Между ними нет никаких видов связи: экономических, демографических, культурных, политических и др. Это просто географическое понятие, обозначающее набор изолированных территорий в соседних странах;
- нерегулируемые регионы. Ввиду наличия между соседними приграничными зонами только дискретных и специальных связей не соблюдается второе условие существования систем, следовательно регионы не могут быть выражены как система;
- когерентные регионы. Наблюдается взаимодействие между регионами, связи носят устойчивый характер;
- гомогенные регионы. Если соседние территории граничащих государств схожи в определенных отношениях, то они образуют однородные регионы.

Регионы различаются между собой по природным условиям, уровню, отраслевой структуре и темпам экономического развития, качеству жизни населения и миграции трудовых ресурсов. При странственной организации территории выделяют однородные зоны и районы, т. е. проводят зонирование и районирование.

На основе признака однородности свойств различают однородные (гомогенные) и связанные (когерентные) регионы, также в пространственной структуре выделяют узловую регион. Гомогенные регионы объединяют территории по какому-либо признаку, критериальное значение которого не имеет существенных различий (этнический состав населения, уровень жизни, сходство демографических процессов и т. д.). Если в регионе находится какой-либо особенный объект, например природного характера – водного источника, месторождения полезного ископаемого или же крупного города, то регион становится не однородным сразу по многим критериям. В когерентные регионы территории объединены при помощи внутренних связей. Применение системного подхода позволяет в целостных, когерентных регионах выделить функциональную структуру. Это означает, что такие регионы включают промышленную, социальную, экономическую, поселенческую и демографическую структуры. При этом пространственные функциональные системы региона могут не совпадать с соответствующими территориальными системами. Узловой (центральный, поляризованный) регион имеет один или несколько узлов (центров), которые связывают остальную часть пространства.

Соотношение контактной и барьерной функций границ с зарубежными странами определяет приграничное положение территорий и влияет на их социально-экономическое развитие. Легитимная функция границы играет важную, но на данном этапе развития глобализационных и интеграционных процессов второстепенную роль.

Суть понятия «трансграничный» складывается из значений слова «граница» и префикса «транс», указывающего на ее пересечение, преодоление, движение через границу. Очевидно, что категория границы является центральным элементом трансграничности. П. Я. Бакланов и М. Ю. Шинковский отводят государственной границе ведущую роль. Она решает вопросы безопасности страны, выступает связующим звеном и регулятором в формировании и функционировании специфических частей – полосе трансграничности и зоне контакта. Полоса трансграничности определяет часть территории, связывающую сектора региона, зона контакта указывает на зоны, в которых взаимодействие наиболее успешно [6].

Трансграничность возможна только при условии наличия проницаемости пространства – возможности осуществления социально-экономических и межкультурных связей. Как следствие, ключевым моментом наличия трансграничности является прохождение государственной границы по обозначенной целостной территориальной системе.

Подходы к трактовке трансграничного региона

Анализ трансграничности произведем на основе комплексной методологии, включающей геополитический, географический, социокультурный и экономический подходы.

Геополитический подход. Этот подход характеризуется рассмотрением трансграничных явлений в их политическом, географическом и геополитическом измерении. Связующим звеном выступают геополитические отношения, складывающиеся между политической деятельностью акторов и разнообразными условиями геопространства [7, 8]. Геополитический аспект функционирования трансграничных регионов заключается в реализации геополитических интересов или их отдельных частей, а также в осуществлении и оценке контроля над ними. Этот контроль осуществляется в различных формах разными типами геополитических акторов (государствами, их сообществами) для достижения геополитических целей.

В рамках этого подхода А. Б. Волыничук определяет трансграничный регион как «устойчивое ... территориальное образование, отличающееся от других характерным типом хозяйственного освоения и совокупностью взаимодействующих между собой ... подсистем ... при обязательном наличии в его структуре государственной границы» [9]. Данное определение рассматривает формирование трансграничного региона в условиях постоянных контактов и утверждает его в качестве устойчивого геополитического района или подрайона.

Такой же точки зрения придерживается и Т. И. Герасименко, согласно его мнению трансграничный регион – это территория с приграничными регионами по обе стороны границы и обладающая комплексной и системообразующей общностью и сходством природных, геополитических, цивилизационных, социальных, экономических, этнокультурных и ментальных характеристик [10].

Географический подход. При анализе развития территориальных систем В. А. Колосов определяет трансграничный регион как «охватывающую часть территорий двух или нескольких соседних стран, социально-экономическая система, характеризующаяся определенным единством природной первоосновы и/или расселения, трудовых и культурно-бытовых связей населения, хозяйства, инфраструктуры, нередко также исторических, этнических и культурных традиций» [11]. А. Б. Волыничук и Я. А. Фролова при изучении трансграничных регионов подчеркивают наличие границы и трактуют их как «устойчивое во времени территориальное образование, отличающееся от других характерным типом хозяйственного освоения и совокупностью взаимодействующих между собой природных, социальных, и экономических подсистем, связанных единством реализующихся в их пределах природных, экономических, социокультурных факторов при обязательном наличии в его структуре государственной границы» [12]. Российские ученые П. Я. Бакланов, С. С. Ганзей в рамках географического подхода рассматривают приграничные территории как территории «с наличием свойств реального или потенциального взаимодействия и взаимовлияния соседних государств», «территории, непосредственно прилегающие к границе, испытывающие на себе наибольшее влияние границы и соседней страны и обладающие особым, дополнительным потенциалом развития и международного сотрудничества» [13]. Географическое пространство территории делится в зависимости от внешнего и внутреннего взаимодействия на национальное и трансграничное. Национальная территория имеет географическое пространство где объекты одной страны расположены на конкретной территории и развиваются во времени одновременно. При трансграничном взаимодействии имеет место совокупность отношений между объектами разных стран, следовательно трансграничные территории включают приграничные территории двух или нескольких соседних стран.

Как отмечают П. Я. Бакланов, С. С. Ганзей, трансграничные территории обладают сочетанием природных ресурсов и тех или иных видов хозяйственной деятельности, природным основанием которых является либо единая геосистема, либо сочетание двух или более геосистем регионального уровня, взаимодействующих в зоне государственной границы... это, как правило, комплексная географическая структура, сочетающая в себе определенные природные ресурсы, объекты инфра-структуры, расселения населения, а также его хозяйственную деятельность в границах крупной геосистемы» [13].

Экономический подход в ряде случаев в основу трансграничного сотрудничества, закладывает уровень экономического развития регионов, различие природных ресурсов территорий. Различия факторов производства, участвующих в сотрудничестве приграничных регионов, обычно трех разных стран обуславливает сотрудничество на трансграничных территориях в сфере производства товаров и

услуг, чаще всего при формировании «треугольника роста». Также мы считаем целесообразным в рамках этого подхода рассмотреть взгляды представителей политической экономии и, в частности, представителей либеральной и критической школы. Часть либеральных теоретиков (гиперлибераллы) поддерживают глобализацию, т. к. она «разрушает искусственные (политические) барьеры и этим способствует улучшению жизни всего человечества» [14]. Сторонники критического подхода выступают против глобализации. Утверждая, что глобализация – «это набор аргументов в поддержку свободных рынков и инструмент для увеличения власти капитала над трудом, Запада – над другими государствами и, соответственно, инструмент, предназначенный для продвижения интересов ведущих капиталистических держав, таких как США» [14].

Плюралистический характер международной системы и возможности для сотрудничества в мировом хозяйстве посредством международного разделения производственных процессов и труда сформировали наднациональное экономическое пространство. Мировая экономика, транснациональная бизнес-среда основаны на принципах сетевого взаимодействия, глобальных цепочках стоимости, общих экономических, технических, правовых и социокультурных требованиях [14, 15].

Рассматривая трансграничные регионы через процессы накопления капитала Л. Соуса определяет трансграничный регион, как «специальную область потоков и обменов, имеющих социальную, культурную, экономическую и политическую природу, а также пространство, где происходит развитие различных видов деятельности, а степень интенсивности трансакций эволюционирует со временем», что однако не дает представления о его пространственной организации [16].

Социокультурный подход к трактовке трансграничного региона представлен трудами Д. Г. Емченко, Д. В. Сергеева, К.В. Леконцевой и др.

Д. Г. Емченко считает, что трансграничный регион – это совокупность национальных, региональных и зональных элементов. Сохранение суверенитета соседних государств проявляется в историческом и культурном своеобразии. Поэтому необходимо взаимодействие между соседними приграничными регионами, поддержание, управление и развитие их «жизненного» пространства в границах административно-территориальной территории [17].

В основу исследования приграничных территорий Д. В. Сергеев положил семантические методы. Границы и контекст их существования рассматривались через кодирование социокультурных смыслов в текстах в соответствии с доминирующими ценностями и типами общества. Понятия «пограничная территория» и «трансграничье» гипотетически описывают не только барьерную функцию границ, но и различные состояния, стадии и динамику отношений между территориями. Барьерная функция границы фиксирует статичное положение культур, что соотносится с дефиницией «пограничье» или «приграничье». Приставки «по-» или «при-» указывает на направление движения вдоль границы, но не через нее. Контактная функция границ подразумевает диффузию различных элементов, тогда трансграничье – это пространство прямого взаимодействия и культурного контакта, а приставка «транс» подразумевает преодоление барьера [18].

По определению К. В. Леконцевой вследствие «наложения социальных пространств соседних стран» формируется новое социальное пространство. Трансграничная территория имеет проницаемые государственные границы, которые не являются барьером, ей присущи «общность населения в области культуры, этноса, расселения, истории, географических условий» [19].

Содержание термина трансграничный регион достаточно многообразно и зависит от специалистов и ученых, которые занимались изучением данной области. В результате проведенного исследования понятия «трансграничный регион» нами было выявлено, что наиболее часто встречаются два подхода к трактовке сущности исследуемой категории, анализ которого представлен выше. Это географический и социокультурный подходы, при этом чаще всего трактовка понятия дается в совокупности. В основе выделения социально-территориальной общности и формирования транснациональных и трансграничных регионов (гомогенные регионы) лежит общее социальное пространство соседних стран. Социокультурный подход к образованию трансграничных регионов предполагает в основе выделения однородность признаков культуры, общность исторического прошлого в составе населения.

Для географической традиции ключевым понятием является категория государственных границ и понятие «трансграничный регион» рассматривается с точки зрения пространства. Таким образом, пространственная позиция позволяют фиксировать протекание трансгра-

ничных процессов в конкретной территориальной системе, а функциональная позиция – сфере социальных связей и социально-экономических процессов.

Многие авторы используют пространственный и функциональный подход и трактуют трансграничный регион либо как совокупность сопредельных пограничных территорий государств, характеризующиеся определенным природным, экономическим, социокультурным, этническим единством, либо в дополнении к этому учитывают связи между регионами (когерентные, гомогенные).

На основе проведенного исследования нами предлагается следующее определение рассматриваемого понятия «трансграничный регион» – пространственная организация сотрудничающих политических субъектов (небольших государств, административно-территориальных образований государств), детерминированная экономическими интересами субъектов.

В развитие теории пространственных форм организации международного (транснационального и трансграничного) сотрудничества данное определение позволяет рассматривать в качестве трансграничного региона не только административно-территориальное образование с наличием границы, но и страну в случае ее представления в качестве региона. Такая ситуация возможна при образовании транснационально-трансграничной системы и прослеживается на примере Балтийского региона. Ученые ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта» [20] при исследовании международных региональных общностей на основе трансграничного (приграничного) сотрудничества выделяют элементы структуры трансграничного региона: «...и страны (образующие транснациональные системы), и административно-территориальные образования стран – являются регионами (которые обычно образуют трансграничные системы)». Сближение элементов позволяет говорить об образовании транснационально-трансграничной системы. При этом управление происходит на транснациональном уровне (Совет государств Балтийского моря), а регулирование на региональном уровне (административно-территориальные образования стран региона).

В Балтийском макрорегионе Н.В. Каледин и В.С. Корнеевец выделяют два уровня трансграничных регионов: мезо- и микроуровень. При этом отмечают, что мезорегион может быть представлен как регионами в традиционном понимании (два и более региона), так и «малыми странами (например, Прибалтикой)». Микрорегион формируется на основе кооперации муниципальных образований: еврорегионы «Лына— Лава», «Сауле», «Неман» и т. д. Также Профессор У. Кивикари предложил организовать «треугольник роста» в Финском заливе куда среди регионов Южной Финляндии и Санкт-Петербурга вошла Эстония (проект «Стратегия треугольника роста Финского залива», финансируемый программой Interreg III) [21].

Заключение

С учетом рассмотренных выше положений считаем целесообразным рассматривать трансграничные регионы на основе геополитического и экономического подходов. В качестве политических субъектов выступают как небольшие государства, так и административно-территориальных образования государств. В данном исследовании под ними понимаются когерентные регионы, обладающие ресурсами для реализации экономических целей.

Что касается специфики формирования трансграничных регионов как транснационально-трансграничных систем, то они чаще возникают тогда, когда регион расположен между двумя регионами-ядрами или полюсами роста. Это вызывает интенсификацию и увеличение объемов различного рода обменов и взаимодействия за пределами государственных границ и выдвигает на первый план внешнеэкономические факторы. В совокупности влияние таких процессов на экономику региона трансформирует экономическое пространство трансграничного региона и базисом социально-экономического развития в условиях экономической интеграции становится рациональное размещение производительных сил и транзитный потенциал региона.

Таким образом, возможность представления в условиях формирования транснационально-трансграничной системы структуры трансграничного региона в виде страны, кроме регионов, и определение такого региона в качестве трансграничного экономического коридора является новым этапом в эволюции трансграничных регионов и пространственной концепции.

Список цитированных источников

1. Леманн, Ж.-П. Близок ли закат свободной торговли? Ж.-П. Леманн // Россия в глобальной политике. – М., 2007. – Т. 5, № 5. – С. 70–79.
2. Доклад Генерального секретаря Организации Объединенных Наций о работе Организации на 54 Сессии Генеральной Ассамблеи. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.un.org/ru/development/globalization/>. Дата доступа: 19.03.2023.
3. Зазерская, В. В. Spatial development of territories: cross-border aspect / В. В. Зазерская // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2021. – № 3: Экономика. – С. 115–118.
4. Сотрудничество Беларуси и ЕС в области международной технической помощи в 2007–2013 гг. Промежуточные результаты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cu4eu.by/upload/iblock/490/49004496b8238555dd2b5ae62d3c5cdd.pdf>. – Дата доступа: 17.04.2023.
5. Программы приграничного сотрудничества Россия – ЕС [Электронный ресурс] // Министерство экономического развития Российской Федерации. – Режим доступа: <http://economy.gov.ru/minec/activity/sections/mps/programs>. – Дата доступа: 2.04.2023.
6. Великая, С. А. Сущность понятия «трансграничный регион» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nauka-online.com/wp-content/uploads/2018/08/Velikaya.pdf>. – Дата доступа: 2.04.2023.
7. Елацков, А. Б. Общая геополитика: вопросы теории и методологии в географической интерпретации / А. Б. Елацков. – М.: ИНФРА-М, 2017. – 251 с.
8. Каледин, Н. В. Политическая география: истоки, проблемы, принципы научной концепции / Н. В. Каледин. – СПб.: Изд-во С.-Петербургского ун-та, 1996. – 163 с.
9. Волыничук, А. Б. Трансграничный регион: теоретические основы геополитического исследования / А. Б. Волыничук // Гуманитарные исследования в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. 2009. № 4 (8). – С. 49–55.
10. Герасименко, Т. И. Проблемы этнокультурного развития трансграничных регионов. – СПб.: РТП ЛГУ, 2005. – 235 с.
11. Колосов, В. А. Политическая география. Проблемы и методы / В. А. Колосов. – Л.: Наука, 1988. – 190 с.
12. Трансграничный регион: понятие, сущность, формы / Науч. ред.: П. Я. Бакланов, М. Ю. Шинковский. – Владивосток: Дальнаука, 2010. – 276 с.
13. Бакланов, П. Я. Трансграничные территории: проблемы устойчивого природопользования / П. Я. Бакланов, С. С. Ганзей. – Владивосток: Дальнаука, 2008. – 216 с.
14. Лаврухина, И. А. Глобальная политэкономия: учеб. пособие / И. А. Лаврухина, П. С. Лемешченко. – Минск: БГУ, 2021. – 375 с.
15. Кондратьев, В. Глобальные цепочки стоимости как форма транснационализации промышленности / В. Кондратьев // Проблемы теории и практики упр. 2017. № 6. С. 8–20.
16. De Sousa L. Understanding European Cross - border Cooperation: A Framework for Analysis // Journal of European Integration, 2013. Vol. 35. No 6. pp. 669 – 687. P 672.
17. Емченко, Д. Г. Трансграничный регион как социокультурный феномен: дальневосточная модель: автореф. дис. канд. культурологии. Челябинск, 2011.
18. Сергеев, Д. В. Семантический подход к изучению трансграничья / Д. В. Сергеев // Трансгранижье в изменяющемся мире: Россия–Китай–Монголия: сб. статей / Российский гуманитар. науч. фонд; ЗабГГПУ им. Н.Г. Чернышевского. Чита, 2010. – С. 47–58.
19. Леконцева, К. В. Интерпретация понятия «Трансграничный регион» через призму современной социологической методологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/interpretatsiya-transgranichnyy-region-cherez-prizmu-sovremennoy-sotsiologicheskoy-metodologii-1>. Дата доступа: 06.04.2023.
20. Каледин Н. В. Трансграничное сотрудничество в Балтийском регионе — к новым пространственным формам международной экономической интеграции / Н. В. Каледин, В. С. Корнеев // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. – 2007. – №3. – С. 880–900. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/transgranichnoe-sotrudnichestvo-v-baltiyskom-regione-k-novym-prostranstvennym-formam-mezhdunarodnoy-ekonomicheskoy-integratsii-1>. – Дата доступа: 05.04.2023.
21. Kivikari Urpo. A Growth Triangle as an Applica of the Northern Dimension Policy in the Baltic Sea Region. Russian-Europe Centre for Economic Policy. Policy Paper. May 2001 [Electronic resource]. – Режим доступа: <http://www.etela-suomi.fi/english/pdf/kivikari.pdf> Date of access: 24.04.2023.

References

1. Lemann, ZH.-P. Blizok li zakat svobodnoj trgovli? ZH.-P. Lemann // Rossiya v global'noj politike. – M., 2007. – T. 5, № 5. – S. 70–79.
2. Doklad General'nogo sekretarya Organizacii Ob'edinennyh Nacij o rabote Organizacii na 54 Sessii General'noj As-samblei. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.un.org/ru/development/globalization/>. Data dostupa: 19.03.2023.
3. Zazerskaya, V. V. Spatial development of territories: cross-border aspect / V. V. Zazerskaya // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2021. – № 3: Ekonomika. – S. 115–118.
4. Sotrudnichestvo Belarusi i ES v oblasti mezhduнародnoy tekhnicheskoy pomoshchi v 2007–2013 gg. Promezhutochnye rezultaty [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://cu4eu.by/upload/iblock/490/49004496b8238555dd2b5ae62d3c5cdd.pdf>. – Data dostupa: 17.04.2023.
5. Programmy prigranichnogo sotrudnichestva Rossiya – ES [Elektronnyj resurs] // Ministerstvo ekonomicheskogo razvi-tiya Rossijskoj Federacii. – Rezhim dostupa: <http://economy.gov.ru/minec/activity/sections/mps/programs>. – Data dostupa: 2.04.2023.
6. Velikaya, S. A. Sushchnost' ponyatiya «transgranichnyj region» [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://nauka-online.com/wp-content/uploads/2018/08/Velikaya.pdf>. – Data dostupa: 2.04.2023.
7. Elackov, A. B. Obshchaya geopolitika: voprosy teorii i meto-dologii v geograфической interpretacii / A. B. Elackov. – M.: INFRA-M, 2017. – 251 s.
8. Kaledin, N. V. Politicheskaya geografiya: istoki, problemy, principy nauchnoj koncepcii / N. V. Kaledin. – SPb.: Izd-vo S.-Peterburgskogo un-ta, 1996. – 163 s.
9. Volynchuk, A. B. Transgranichnyj region: teoreticheskie osno-vy geopoliticheskogo issledovaniya / A. B. Volynchuk // Gumanitarnye issledovaniya v Vostochnoj Sibiri i na Dal'nem Vo-stoke. 2009. – № 4 (8). S. 49–55.
10. Gerasimenko, T. I. Problemy etnokul'turnogo razvitiya transgranichnyh regionov. – SPb.: RTP LGU, 2005. – 235 s.
11. Kolosov, V. A. Politicheskaya geografiya. Problemy i metody / V. A. Kolosov. – L.: Nauka, 1988. – 190 s.
12. Transgranichnyj region: ponyatie, sushchnost', formy / Nauch. red.: P. YA. Baklanov, M. YU. SHinkovskij. – Vladivostok: Dal'nauka, 2010. – 276 s.
13. Baklanov, P. YA. Transgranichnye territorii: problemy ustojchivogo prirodo-polzovaniya / P. YA. Baklanov, S. S. Gan-zej. – Vladivostok: Dal'nauka, 2008. – 216 s.
14. Lavruhina, I. A. Global'naya politekonomiya: ucheb. posobie / I. A. Lavruhina, P. S. Lemeshchenko. – Minsk: BGU, 2021. – 375 s.
15. Kondrat'ev, V. Global'nye cepochki stoimosti kak forma transnacionalizacii promyshlennosti / V. Kondrat'ev // Problemy teorii i praktiki upr. 2017. № 6. S. 8–20.
16. De Sousa L. Understanding European Cross - border Cooperation: A Framework for Analysis // Journal of European Integration, 2013. Vol. 35. No 6. pp. 669 – 687. R 672.
17. Emchenko, D. G. Transgranichnyj region kak sociokul'turnyj fenomen: dal'nevostochnaya model': avtoref. dis. kand. kul'turologii. CHelyabinsk, 2011.
18. Sergeev, D. V Semanticheskij podhod k izucheniyu transgrani-ch'ya / D. V. Sergeev // Transgranich'e v izmenyayushchemsya mire: Rossiya–Kitaj–Mongoliya: sb. statej / Rossijskij gumanitar. nauch. fond; ZabGGPU im. N.G. CHernyshevskogo. CHita, 2010. – С. 47–58.
19. Lekonceva, K. V. Interpretaciya ponyatiya «Transgranichnyj region» cherez prizmu sovremennoj sociologicheskoy meto-dologii [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/article/n/interpretatsiya-ponyatiya-transgranichnyy-region-cherez-prizmu-sovremennoy-sotsiologicheskoy-metodologii-1>. Data dostupa: 06.04.2023.
20. Kaledin N. V. Transgranichnoe sotrudnichestvo v Baltijskom regione — k novym prostranstvennym formam mezhduнародnoy ekonomicheskoy integracii / N. V. Kaledin, V. S. Kornee-vec // Vestnik SPbGU. Nauki o Zemle. – 2007. – №3. – С. 880–900. – Rezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/article/n/transgranichnoe-sotrudnichestvo-v-baltiyskom-regione-k-novym-prostranstvennym-formam-mezhdunarodnoy-ekonomicheskoy-integratsii-1>. – Data dostupa: 05.04.2023.
21. Kivikari Urpo. A Growth Triangle as an Applica of the Northern Dimension Policy in the Baltic Sea Region. Russian-Europe Centre for Economic Policy. Policy Paper. May 2001 [Electronic re-source]. – Rezhim dostupa: <http://www.etela-suomi.fi/english/pdf/kivikari.pdf> Date of access: 24.04.2023.

Материал поступил 04.05.2023, одобрен 01.06.2023, принят к публикации 01.06.2023

РАЗВИТИЕ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ В СТРАНАХ ЕВРАЗИЙСКОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО СОЮЗА: ФОРМИРОВАНИЕ ИНСТИТУЦИОНАЛЬНОЙ СРЕДЫ ИНТЕГРАЦИОННЫХ ОБЪЕДИНЕНИЙ

В. В. Зазерская

*К.э.н., доцент, декан экономического факультета УО «Брестский государственный технический университет»,
Брест, Беларусь, e-mail: zazerskaya@mail.ru*

Реферат

Цифровые и информационные технологии стали неотъемлемой частью существования современного мирового сообщества и инструментом управления как в государствах, так и в объединениях государств. Раскрыты вопросы влияния цифровизации на развитие евразийской экономической интеграции и определено ее влияние на экономический рост и конкурентоспособность стран Евразийского экономического союза (ЕАЭС). Цель исследования – анализ развития процессов цифровизации в странах ЕАЭС. Исследованы ключевые направления формирования институциональной среды. Показана цифровая политика ЕАЭС, проведена соответствующая рейтинговая оценка каждой страны объединения с помощью отдельных международных индексов. Рассмотрены перспективные направления развития трансграничных регионов в рамках ЕАЭС в условиях цифровой экономики. Сформулирован вывод о том, что цифровизация играет роль драйвера экономической интеграции.

Ключевые слова: Евразийский экономический союз (ЕАЭС), информационные технологии, цифровизация, цифровая трансформация, интеграция, международное сотрудничество, конкурентоспособность, трансграничные регионы.

DEVELOPMENT OF THE DIGITAL ECONOMY IN THE COUNTRIES OF THE EURASIAN ECONOMIC UNION: FORMING THE INSTITUTIONAL ENVIRONMENT OF INTEGRATION ASSOCIATIONS

V. V. Zazerskaya

Abstract

Digital and information technologies have become an integral part of the existence of the modern world community and a management tool both in states and in associations of states. The questions of the impact of digitalization on the development of the Eurasian economic integration are disclosed and its impact on economic growth and competitiveness of the countries of the Eurasian Economic Union (EAEU) is determined. The purpose of the study is to analyze the development of digitalization processes in the EAEU countries. The key directions of formation of the institutional environment have been studied. The digital policy of the EAEU is shown, the corresponding rating assessment of each country of the association was carried out using separate international indices. Perspective directions for the development of cross-border regions within the framework of the EAEU in the context of the digital economy are considered. The conclusion is drawn that digitalization plays the role of a driver of economic integration.

Keywords: Eurasian Economic Union (EAEU), information technology, digitalization, digital transformation, integration, international cooperation, competitiveness, cross-border regions.

Введение

В последние десятилетия XXI века экономическое развитие регионов, интеграционных объединений стран/регионов определяют такие факторы как глобализация, регионализация и цифровизация. Усиление роли последнего фактора привело к изменению мирохозяйственных и межрегиональных связей под воздействием повсеместного внедрения информационных и цифровых технологий.

Цифровая экономика кардинально меняет способ производства и трансграничные рынки товаров и услуг для бизнеса, увеличивает его производительность и повышает конкурентоспособность. В 2016 году размер цифровой экономики в мире составил 11,5 трлн долл., или 15,5 % от глобального ВВП, 18,4 % от ВВП в развитых странах и 10 % в развивающихся странах [1]. Рост цифровой экономики превышает рост мирового ВВП в 2,5 раза, что вызывает закономерные изменения в экономических, политических, социальных и культурных процессах любого общества.

Несмотря на существенные отраслевые особенности и неравномерность внедрения цифровых технологий, цифровизация стала неотъемлемым элементом жизни общества. Многие исследователи и эксперты сходятся в самых высоких оценках значимости цифровизации для социально-экономического развития. Вследствие понимания этого факта в Европейском союзе, Великобритании, США, Канаде, Японии, Республике Корея и других странах было принято множество отраслевых стратегий цифровой трансформации. Цифровые стратегии утвердили более чем в 30 странах ЕС, Китае – «Интернет плюс» (2015 г.), Индии – «Цифровая Индия» (2015 г.), Японии – «Общество 5.0» (2016 г.) и др. Для гармонизации законодательства и выработки «единых

цифровых повесток» были разработаны и введены в действие: в ЕС специальная инициатива «Цифровая Европа»; в ОЭСР Стратегия общего цифрового рынка; в рамках Транстихоокеанского партнерства (ТТП) 13-я и 14-я главы Соглашения, касающиеся телекоммуникаций и электронной коммерции; в АСЕАН Мастерплан 2015 «Информационно-коммуникационных технологий»; в СНГ Стратегия сотрудничества государств – участников СНГ в построении и развитии информационного общества на период до 2025 года и План действий по ее реализации [2].

Пространственная и институциональная специфика цифровизации

Пять лет назад, в 2017 г. начался новый этап интеграции стран ЕАЭС, связанный с формированием цифрового пространства ЕАЭС. Программным документом является «Цифровая повестка до 2025 г.», который устанавливает ключевые направления углубления взаимодействия при развитии цифровизации и определяет сотрудничество при формировании цифровой экономики и запуске современных инновационных проектов [3]. Цифровая повестка ЕАЭС, в первую очередь, нацелена на достижение ключевых задач, которые позволят странам ЕАЭС заложить фундамент для региональной цифровой экономики.

Как отмечают исследователи Н. М. Межевич, С. А. Ткачев [4], А. А. Михайлова [5] проблема цифровой трансформации имеет для приграничных регионов, интегрированных в процесс трансграничной регионализации особую значимость.

Социально-экономическая и политическая устойчивость целого ряда трансграничных регионов зависит от пространственной и институциональной специфики цифровизации.

В исследовании трансграничных цифровых пространств на границе с Россией А. А. Михайловой выявила тенденцию сближения цифровых пространств приграничных регионов с последующим формированием единых цифровых трансграничных регионов. Однако «политическая поддержка цифровой трансформации трансграничного сотрудничества на западных рубежах России инициирована только на российско-белорусском участке границы в контексте общей повестки цифрового развития ЕАЭС». Устранение цифровых разрывов является важным условием цифровизации трансграничного сотрудничества.

Данная статья посвящена изучению межрегиональной цифровой неоднородности и ее влияния на социально-экономическую динамику трансграничных регионов на уровне интеграционных объединений. Возможность представления в условиях формирования транснационально-трансграничной системы трансграничного региона как страны, а не только как региона, определяет такой регион в качестве трансграничного экономического коридора.

Факторный характер цифровой трансформации позволяет рассматривать его в качестве одного из параметров экономического роста. В работе [6] отмечена ключевая характеристика параметра роста, а именно общий рост продуктивности или производительности факторов производства. Анализ моделей экономического роста с точки зрения их актуальности в свете современных информационных преобразований показывает, что неоклассическая модель Р. Солоу, связывающая экономический рост с производительностью технологий (информационное обеспечение увеличивает производительность капитала), модель Р. Лукаса и П. Ромера признающая основными факторами экономического роста – капиталовложения в НИОКР и инвестиции в человеческий капитал [7], модель Гросмана-Хелпмана, объясняющая экономический рост с позиции открытости экономики и возможности и скорости перелива факторов рассматривают информацию и технологии как важнейшие факторы экономического развития, обеспечивающие рост производительности всех факторов, участвующих в процессе производства.

В рамках стратегических направлений формирования и развития цифровой экономики интеграционных объединений ЕС, ЕАЭС ИКТ является важным драйвером «как в качестве отдельного сектора, так и в качестве движущей силы других отраслей промышленности и стимулом для модернизации государственного сектора» [8], что подтвер-

ждает необходимость и обоснованность внедрения цифровых технологий в процесс экономической интеграции для повышения уровня ее конкурентоспособности и усиления факторов экономического и социального развития и роста, в т. ч. и трансграничных регионов.

Для оценки развития цифровой экономики в странах ЕАЭС в работе проведен анализ государственных программ и стратегий по формированию цифровых экономик и информатизации общества, а также некоторых международных индексов.

В ЕАЭС реализуются цифровые проекты по формированию цифровой экосистемы:

- унифицированная система поиска «Работа без границ» предоставляет доступ к информации о свободных рабочих местах и соискателях вакансий, содержащихся в информационных системах государства в сфере трудоустройства и занятости;

- цифровое техническое регулирование включает оцифровку стандартов и требований к продукции, а также процессов их формирования и применения;

- формирование цифровых транспортных коридоров ЕАЭС для удовлетворения потребности всей национальной экономики в перевозках и сопутствующих сервисах, интеграции национальных производителей товаров и услуг в мировое экономическое пространство;

- создание электронных систем учета (прослеживаемости) движения продукции, товаров, услуги цифровых активов в ЕАЭС;

- развитие производственной кооперации и создание совместных предприятий – евразийских транснациональных компаний для взаимодополняемости экономик и выстраивания новых цепочек добавленной стоимости.

Создание фундаментальных основ цифровых инфраструктур и экосистем выявило проблему формирования единых трансграничных цифровых пространств из-за цифровой неоднородности стран-членов ЕАЭС, трансграничных регионов. Цифровой разрыв между ними выраженный в уровне доступности и проникновения цифровых технологий, является препятствием для интенсификации трансграничных цифровых связей и образования единого цифрового пространства. Рассмотрим опыт формирования и развития цифровой экономики стран ЕАЭС. В таблице 1 представлены основные нормативные документы стран-членов ЕАЭС для реализации цифровой повестки.

Таблица 1 – Обзор законодательства по развитию цифровой экономики стран ЕАЭС

Страна член ЕАЭС	Обеспечение цифровизации	Направления
Республика Армения	«Стратегия цифровизации Армении на 2020–2025 гг.». «Повестка цифровой трансформации Армении до 2030 года». Фонд «Цифровая Армения».	Внедрение цифровизации государственных услуг. Определяет основные направления и целеполагание цифровой трансформации страны. Координация продвижения национальной цифровой повестки и генерации новых инициатив.
Республика Беларусь	Программа деятельности Правительства Республики Беларусь до 2025 г. Государственная программа «Цифровое развитие Беларуси» на 2021–2025 годы. формирование которой выполнялось с учетом Стратегии развития информатизации в Республике Беларусь на 2016–2022 годы. Законодательные акты: • Закон Республики Беларусь «Об электронном документе и электронной цифровой подписи»; • Закон Республики Беларусь «Об информации, информатизации и защите информации»; • Закон Республики Беларусь «О телекоммуникациях», • Закон Республики Беларусь «О государственных закупках товаров (работ, услуг)»; • Банковский кодекс Республики Беларусь.	Внедрение и интеграция информационно-коммуникационных и передовых производственных технологий в сферы жизнедеятельности общества и отрасли. Программой предусматривается комплексная цифровая трансформация процессов государственного управления, регионального и отраслевого развития, ее результаты также окажут положительное влияние на достижение большинства Целей устойчивого развития, в том числе в сферах здравоохранения, образования, обеспечения экологической устойчивости населенных пунктов и др. Регулируют вопросы информатизации, создания информационных технологий, обеспечения защиты информации, а также результатов научных исследований, практического опыта создания и развития информационно-коммуникационных технологий (ИКТ).

Страна член ЕАЭС	Обеспечение цифровизации	Направления
Республика Кыргызстан	<p>Национальная стратегия развития Республики Кыргызстан на 2018–2040 годы.</p> <p>Концепция цифровой трансформации «Цифровой Кыргызстан» – 2019–2023 годы.</p> <p>«Дорожная карта» по реализации Концепции цифровой трансформации «Цифровой Кыргызстан 2019-2023».</p> <p>Указ Президента Кыргызской Республики «Об объявлении 2019 года Годом развития регионов и цифровизации страны».</p>	<p>Включает направления интернетизации общеобразовательных школ, формирование открытого цифрового общества.</p> <p>Цель – создание благоприятных условий для развития цифровых технологий, цифровой инфраструктуры и цифровых услуг.</p> <p>Целью «Дорожной карты» является создание цифровой экономики в Кыргызской Республике, повышение эффективности государственного управления и предоставления государственных услуг, а также улучшение качества жизни населения.</p> <p>Создание благоприятных условий для развития бизнеса в регионах, переводу предоставления государственных услуг в электронный формат.</p>
Казахстан	<p>Законодательные акты:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Закон «О цифровой подписи и электронном документе». • Закон «О защите персональных данных». <p>Программа «Цифровой Казахстан».</p> <p>Стратегия «Цифровой Казахстан».</p>	<p>Регулируют сбор, хранение, обработку и передачу персональных данных граждан.</p> <p>Устанавливают требования к защите цифровой подписи и требования к электронному документу.</p> <p>Направлена на развитие цифровой экономики, повышение качества жизни населения, улучшение услуг государственного управления и обеспечение безопасности в сфере информационных технологий.</p> <p>Предусматривает создание цифровой инфраструктуры, развитие цифровых сервисов и поддержку инноваций. Трансформирование экономики страны при помощи ИКТ.</p>
Российская Федерация	<p>Федеральный проект «Нормативное регулирование цифровой среды».</p> <p>Стратегия развития информационного общества в РФ на 2017–2030 гг.</p> <p>Программа «Цифровая экономика Российской Федерации».</p>	<p>Предусматривает поэтапную разработку и реализацию законодательных инициатив, направленных на снятие первоочередных барьеров, препятствующих развитию цифровой экономики, и созданию благоприятного правового поля для реализации в российской юрисдикции проектов цифровизации.</p> <p>Определяет цели, задачи и меры по реализации внутренней и внешней политики Российской Федерации в сфере применения ИКТ, направленные на развитие информационного общества, формирование национальной цифровой экономики, обеспечение национальных интересов и реализацию стратегических национальных приоритетов.</p> <p>Цель – осуществление прорывного научно-технологического и социально-экономического развития Российской Федерации и др. Обеспечение ускоренного внедрения цифровых технологий в экономике и социальной сфере.</p>

Анализ национальных нормативных документов показывает активизацию процессов создания и реализации институционально-правовой базы цифрового перехода в ЕАЭС. Основным стратегическим документом является «Цифровая повестка», который определяет направления движения Евразийской экономической интеграции [9]. Практическая работа в этом направлении ведется во всех странах ЕАЭС. Начиная с 2016 года утверждены национальные Стратегии или Программы развития цифровой сферы. Основные направления цифрового развития Армении включают: создание цифрового правительства, усиление кибербезопасности, развитие частного сектора, создание институциональной основы, формирование цифровых навыков и инфраструктуры.

Цифровое развитие Беларуси направлено на инвестирование, производство конкурентоспособных IT-продуктов; внедрение новейших финансовых инструментов и технологий.

Казахстан преследует цели цифровизации отраслей экономики; электронное правительство; создание инновационной экосистемы.

Кыргызстан в качестве приоритетных направлений цифрового развития выбрал: построение цифровой инфраструктуры мирового уровня; создание благоприятной среды для устойчивого инновационного развития; создание цифровых возможностей для всех слоев населения.

Россия основные усилия направила на развитие информационного общества, формирование национальной цифровой экономики.

Глобальная цифровая экономика находится в стадии активного роста, быстрого развития инноваций, а также широкого применения цифровых технологий во всех отраслях. С учетом проведенной работы по реализации цифровых повесток в таблице 2 представлены позиции государств членов ЕАЭС в международных рейтингах цифрового развития.

Таблица 2 – Индексы цифрового развития стран ЕАЭС [10–13]

Рейтинг	Индекс	Год	Количество стран в рейтинге	Страна				
				Российская Федерация	Республика Беларусь	Казахстан	Республика Кыргызстан	Республика Армения
Индекс готовности к сетевому обществу	NRI	2022/2021	130	40/43	(2020) 65	58/61	95/92	64/60
Индекс развития электронного правительства	EGDI	2022/2020	193	42/36	58/40	28/29	81/83	64/68
Индекс электронного участия	EPI	2022/2020	193	57/	90/57	15/	79/66	64/50
Индекс электронной торговли	UNCTAD B2C E-Commerce Index	2021	152	41	35	60	97	84
Глобальный индекс по кибербезопасности	GCI	2021/2020	194	5/8	89/97	31/38	92/100	90/79

Россия и Казахстан являются лидерами среди представленных рейтингов, характеризующих процесс цифровизации. Так, ведущее положение Россия занимает в двух рейтингах из пяти: рейтинг стран мира по уровню сетевой готовности, рейтинг стран по уровню кибербезопасности. В двух из анализируемых рейтингов лидером является Казахстан: рейтинг стран мира по уровню развития электронного правительства и рейтинг по уровню электронного участия. В рейтинге стран мира по уровню электронной торговли лидером является Беларусь. Худшее положение из государств ЕАЭС по показателям рейтингов цифрового развития у Армении и Кыргызстана, особенно по рейтингу по кибербезопасности.

Исследуя потенциал цифрового развития в странах ЕАЭС, следует отметить важность совместного развития цифровой инфраструктуры и услуг.

Базой цифровой трансформации трансграничного сотрудничества стало формирование необходимой ИКТ-инфраструктуры,

доступной населению и организациям. Однако темпы реализации цифрового потенциала в трансграничных регионах различны, что влияет на связность регионов. Также цифровое развитие влияет на социально-экономическую динамику трансграничных регионов в плане пространственного размещения ресурсов, т. к. движение идет от периферии и центру.

Интеграция трансграничных цифровых сервисов способствует «росту и повышению эффективности различных видов межгосударственного информационного взаимодействия; повышению уровня доступности, качества и набора цифровых трансграничных сервисов для физических лиц и хозяйствующих субъектов государств-членов; ускорению процессов развития евразийской экономической интеграции за счет формирования эффективных механизмов цифрового взаимодействия физических лиц и хозяйствующих субъектов с Комиссией и органами власти государств – членов Союза» [14].

Цифровая трансформация ведет к росту ВВП (рисунок 1).

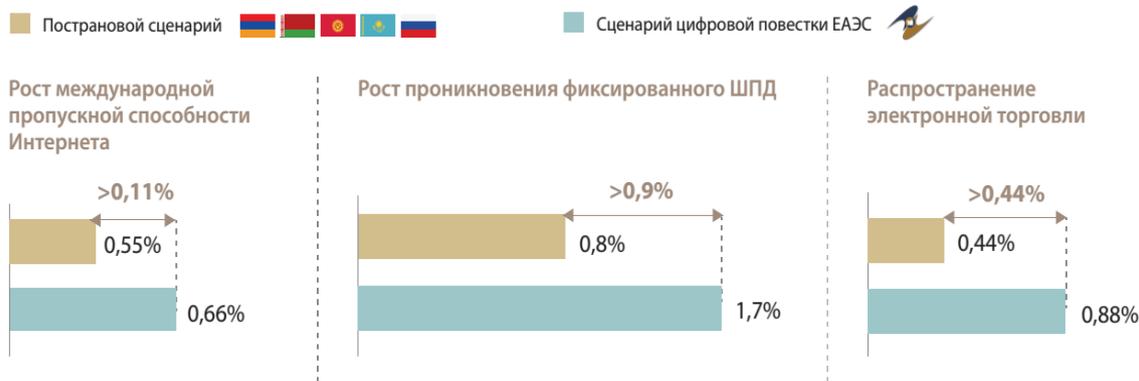


Рисунок 1 – Рост ВВП региона ЕАЭС за счет инициатив цифровизации, % [15]

Готовность стран к цифровой трансформации влияет на экономическое развитие при дальнейшей цифровизации экономики. Эффект воздействия на ВВП от увеличения фиксированного широкополосного доступа при реализации Цифровой повестки до 2025 года будет значительно выше, чем при внедрении ШПД исключительно на страновом уровне. Предоставление всеобщего широкополосного доступа может обеспечить прирост ВВП ЕАЭС до 2025 года на 1,7 %. А уровень экономики за счет устранения правовых барьеров на пути реализации Цифровой повестки ЕАЭС может потенциально достичь 2,6 % ВВП [15].

Выводы

Таким образом, создание единого экономического пространства необходимо для реализации интеграционного потенциала ЕАЭС и раскрытия конкурентных преимуществ государств – членов ЕАЭС.

Высокая неопределенность и глобальные вызовы требуют дальнейшего поступательного углубления интеграционного взаимодействия.

Использование потенциала цифровой экономики для углубления интеграции в региональных интеграционных объединениях требует дальнейшей гармонизации и интеграции цифровых рынков со странами членами ЕАЭС, в том числе в вопросах законодательства, сбора цифровых данных, государственного управления, регулирования сетей и услуг электронных коммуникаций, кибербезопасности, формирования научно-образовательных сообществ.

Статья выполнена в рамках ГПИ «Общество и гуманитарная безопасность белорусского государства» 2021–2025 гг., НИР «Разработать теоретико-методологические основы формирования институциональной среды цифровой экономики» (ГР20212324).

Список цитированных источников

1. Digital economy report 2019. UNCTAD [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://unctad.org/en/pages/PublicationWebflyer.aspx?publicationid=2466>. – Дата доступа: 10.04.2023.
2. Анализ мирового опыта развития промышленности и подходов к цифровой трансформации промышленности государств-членов Евразийского экономического союза: Информационно-аналитический отчет [Электронный ресурс]. – М. : Евразийская экономическая комиссия, 2017. – Режим доступа: http://www.eurasiancommission.org/ru/act/prom_i_agroprom/dep_prom/Pages/%D0%9C%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%B3%20%D0%B8%20%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/sectorreview.aspx. – Дата доступа: 24.04.2023.
3. Об основных направлениях реализации цифровой повестки Евразийского экономического союза до 2025 года [Электронный ресурс]: (Решение Высшего Евразийского экономического совета от 11 октября 2017 г. № 12) – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/555625953>. – Дата доступа: 01.04.2023.
4. Межевич, Н. М., К вопросу о специфике инновационных процессов в приграничных пространствах / Н. М. Межевич, С. А. Ткачев // Вестник Коми республиканской академии государственной службы и управления. Теория и практика управления. – 2021. – № 11 (31). – С. 83–87.
5. Михайлова, А. А. Трансграничная цифровизация западного побережья России: потенциал и перспективы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://journals.kantiana.ru/upload/iblock/43e/6_90-108.pdf. – Дата доступа: 20.03.2023.
6. Багаутдинова, Н. Г. Новые конкурентные преимущества в условиях цифровизации / Н. Г. Багаутдинова, Р. А. Никулин // Инновации. – 2018. – № 8. – С. 80–83.
7. Robert, E. Methods and Problems in Business Cycle Theory / E. Robert, Jr. Lucas // Journal of Money / – New York: McGraw-Hil. – 1998. – P. 696–715.
8. Панкратов, И. Ю. Особенности цифровизации интеграционных объединений (на примере ЕС И ЕАЭС) / И. Ю. Панкратов, Л. С. Гиваргизова // Государственная служба. – 2021.– №1 (129). – С.46-50.
9. Об основных направлениях реализации цифровой повестки Евразийского экономического союза до 2025 года [Электронный ресурс]: (Решение Высшего Евразийского экономического совета от 11 октября 2017 г. № 12). – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/555625953>. – Дата доступа: 01.04.2023.
10. Рейтинг стран по уровню кибербезопасности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nonews.co/directory/lists/countries/cybersecurity-index>. – Дата обращения: 24.04.2023.
11. Рейтинг стран по уровню сетевой готовности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nonews.co/directory/lists/countries/networked-readiness-index>. – Дата доступа: 24.04.2023.
12. Статистический сборник «Информационное общество в Республике Беларусь 2021» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/50e/50e0f7e0b7e5875db07fb6c8350e8ec8.pdf>. – Дата доступа: 04.05.2023.
13. Рейтинг стран по уровню развития электронного правительства – Режим доступа: <https://nonews.co/directory/lists/countries/e-government> [Электронный ресурс]. – Дата доступа: 12.03.2023.
14. Евразийский экономический форум, 26 мая 2022 г., г. Бишкек, Кыргызская Республика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://eec.eaeunion.org/upload/medialibrary/1e5/Brosyura_itog.pdf. Дата доступа: 11.03.2023.
15. Цифровая повестка Евразийского экономического союза до 2025 года: перспективы и рекомендации. Обзор [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.eurasiancommission.org/ru/act/dmi/SiteAssets/%D0%9E%D0%B1%D0%B7%D0%BE%D1%80%20%D0%92%D0%91.pdf>. – Дата доступа: 17.03.2023.

References

1. Digital economy report 2019. UNCTAD [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://unctad.org/en/pages/PublicationWebflyer.aspx?publicationid=2466>. – Data dostupa: 10.04.2023.
2. Analiz mirovogo opyta razvitiya promyshlennosti i podhodov k cifrovoj transformacii promyshlennosti gosudarstv-chlenov Evrazijskogo ekonomicheskogo soyuza: Informacionno-analiticheskij otchet [Elektronnyj resurs]. – M. : Evrazijskaya ekonomicheskaya komissiya, 2017. – Rezhim dostupa: http://www.eurasiancommission.org/ru/act/prom_i_agroprom/dep_prom/Pages/%D0%9C%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%B3%20%D0%B8%20%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/sectorreview.aspx. – Data dostupa: 24.04.2023.
3. Ob osnovnyh napravleniyah realizacii cifrovoj povestki Evrazijskogo ekonomicheskogo soyuza do 2025 goda [Elektronnyj resurs]: (Reshenie Vysshego Evrazijskogo ekonomicheskogo soveta ot 11 oktyabrya 2017 g. № 12) – Rezhim dostupa: <https://docs.cntd.ru/document/555625953>. – Data dostupa: 01.04.2023.
4. Mezhevich, N. M., K voprosu o specifikе innovacionnyh processov v prigranichnyh prostranstvah / N. M. Mezhevich, S. A. Tkachev // Vestnik Komi respublikanskoj akademii gosudarstvennoj sluzhby i upravleniya. Teoriya i praktika upravleniya. – 2021. – № 11 (31). – S. 83–87.
5. Mihajlova, A. A. Transgranichnaya cifrovizaciya zapadnogo porubezh'ya Rossii: potencial i perspektivy [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: https://journals.kantiana.ru/upload/iblock/43e/6_90-108.pdf. – Data dostupa: 20.03.2023.
6. Bagautdinova, N. G. Novye konkurentnye preimushchestva v usloviyah cifrovizacii / N. G. Bagautdinova, R. A. Nikulin // Innovacii. – 2018. – № 8. – S. 80–83.
7. Robert, E. Methods and Problems in Business Cycle Theory / E. Robert, Jr. Lucas // Journal of Money / – New York: McGraw-Hil. – 1998. – P. 696–715.
8. Pankratov, I. YU. Osobenosti cifrovizacii integracionnyh ob'edinenij (na primere ES I EAES) / I. YU. Penkratov, L. S. Givargizova // Gosudarstvennaya sluzhba. – 2021.– №1 (129). – S.46-50.
9. Ob osnovnyh napravleniyah realizacii cifrovoj povestki Evrazijskogo ekonomicheskogo soyuza do 2025 goda [Elektronnyj resurs]: (Reshenie Vysshego Evrazijskogo ekonomicheskogo soveta ot 11 oktyabrya 2017 g. № 12). – Rezhim dostupa: <https://docs.cntd.ru/document/555625953>. – Data dostupa: 01.04.2023.
10. Rejting stran po urovnyu kiberbezopasnosti [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://nonews.co/directory/lists/countries/cybersecurity-index>. – Data dostupa: 24.04.2023.
11. Rejting stran po urovnyu setevoy gotovnosti [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://nonews.co/directory/lists/countries/networked-readiness-index>. – Data obrashcheniya: 24.04.2023.
12. Statisticheskij sbornik «Informacionnoe obshchestvo v Respublike Belarus' 2021» [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/50e/50e0f7e0b7e5875db07fb6c8350e8ec8.pdf>. – Data dostupa: 04.05.2023.
13. Rejting stran po urovnyu razvitiya elektronnoho pravitel'stva –Rezhim dostupa: <https://nonews.co/directory/lists/countries/e-government> [Elektronnyj resurs]. – Data dostupa: 12.03.2023.
14. Evrazijskij ekonomicheskij forum, 26 maya 2022 g., g. Bishkek, Kyrgyzskaya Respublika [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: https://eec.eaeunion.org/upload/medialibrary/1e5/Brosyura_itog.pdf. Data dostupa: 11.03.2023.
15. Cifrovaya povestka Evrazijskogo ekonomicheskogo soyuza do 2025 goda: perspektivy i rekomendacii. Obzor [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.eurasiancommission.org/ru/act/dmi/SiteAssets/%D0%9E%D0%B1%D0%B7%D0%BE%D1%80%20%D0%92%D0%91.pdf>. – Data dostupa: 17.03.2023.

Материал поступил 11.06.2023, одобрен 13.06.2023, принят к публикации 15.06.2023

ТРАНСПОРТНЫЙ КОМПЛЕКС РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ И ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ПРИМЕРЕ СТРОИТЕЛЬСТВА

И. А. Кулаков¹, Л. О. Кулакова²

¹ Старший преподаватель кафедры менеджмента УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail kulakou1965@mail.ru

² Старший преподаватель кафедры менеджмента УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail lejla67@mail.ru

Реферат

Выгодное экономико-географическое положение Республики Беларусь на пути между мировыми центрами деловой активности – Европой и Азией – предопределяет ее роль как ключевого связующего звена в создании новой системы транспортных связей на евразийском континенте, ориентированной на взаимовыгодное сотрудничество. Перед Республикой Беларусь стоят важные задачи по использованию логистического потенциала.

В данной работе представлены направления повышения эффективности транспортно-логистической деятельности. Первой важной государственной задачей является увеличение объема транспортно-логистических услуг на макро- и мезологистическом уровне. Желаемый итог – рост валового внутреннего продукта (ВВП). Второй сложной задачей является снижение транспортно-логистических издержек на микрологистическом уровне. В статье предлагается возможное решение на примере строительной отрасли. Ожидаемый итог – снижение цены на продукцию (услуги) и повышение доходности.

Первая задача описана и решается в первом разделе данной работы. Вторая задача основана на оптимизации логистических процессов и рассмотрена во второй части данного исследования.

Ключевые слова: транспортно-логистический комплекс, транспортно-комплектовочные карты, график привязки к поставщикам, унифицированная нормативно-технологическая документация, транспортно-логистические процессы.

TRANSPORT COMPLEX OF THE REPUBLIC OF BELARUS AND OPTIMIZATION OF TRANSPORT AND LOGISTICS PROCESSES ON THE EXAMPLE OF CONSTRUCTION

I. A. Kulakou, L. O. Kulakova

Abstract

The advantageous economic and geographical position of the Republic of Belarus on the way between the world centers of business activity Europe and Asia determines its role as a key link in the creation of a new system of transport links on the Eurasian continent, focused on mutually beneficial cooperation. The Republic of Belarus faces important tasks in the use of logistics potential.

This paper presents the directions of improving the efficiency of transport and logistics activities. The first important state task is to increase the volume of transport and logistics services at the macro- and mesologistics level. The result is an increase in gross domestic product (GDP). The second task is to reduce transport and logistics costs at the micrologistics level (for example: construction). The result is a reduction in the price of products and an increase in profitability.

The first task is described and solved in the first section of this paper. The second task is based on optimization of logistics processes and is considered in the second part of this study.

Keywords: transport and logistics complex, transport and procurement cards, schedule of binding to suppliers, unified regulatory and technological documentation, transport and logistics processes.

Введение

Транспортный комплекс является важнейшим звеном экономико-социальной инфраструктуры страны и призван своевременно и качественно обеспечивать потребности населения в перевозках и услугах, жизнедеятельность всех отраслей экономики и национальную безопасность государства.

Выгодное экономико-географическое положение Республики Беларусь на пути между мировыми центрами деловой активности – ЕС, ЕАЭС и странами Азиатско-Тихоокеанского региона – предопределяет ее роль как ключевого связующего звена в создании новой системы транспортных связей на евразийском континенте, ориентированной на взаимовыгодное сотрудничество.

Проблемы развития транспортной логистики в стране исследуют белорусские ученые-экономисты: М. М. Ковалев [1], Р. Б. Ивуть, И. И. Полещук, А. А. Королева [1,2], А. А. Дудина [1,2], Т. Р. Кисель, И. А. Еловой, П. Г. Никитенко, А. В. Черновалов.

Объектом исследования является транспортный комплекс Республики Беларусь.

Предметом исследования – оптимизация транспортно-логистической деятельности в строительстве.

Транспортный комплекс объединяет следующие виды транспорта: автомобильный, железнодорожный, водный, воздушный, трубопроводный, городской электрический и метрополитен [2].

Кроме того, он включает транспортную инфраструктуру, к которой относятся:

- транспортные коммуникации (автомобильные дороги, железнодорожные и водные пути сообщения, трубопроводные трассы, троллейбусные и трамвайные линии, линии метрополитена, транспортные и аэронавигационные системы);
- инженерные сооружения, обеспечивающие деятельность транспорта [3].

Цель работы транспортного комплекса – повышение эффективности его функционирования. Это возможно, прежде всего, посредством снижения издержек на транспортно-логистические процессы. В свою очередь, транспортно-логистический процесс – это совокупность логистических операций, ориентированных на создание ценности для конечных потребителей услуг. В целях конкретизации предмета исследования транспортно-логистические процессы в строительстве включают совокупность операций по перевозке, складированию и хранению грузов.

Первой важной государственной задачей транспортного комплекса является увеличение объема транспортно-логистических услуг на макро- и мезологистическом уровне. Желаемый итог – повышение валового внутреннего продукта (ВВП). Второй задачей является снижение транспортно-логистических издержек на микрологистическом уровне. Ожидаемый итог – снижение цены на продукцию (услуги) и повышение доходности.

Первая задача описана и решается в первом разделе данной работы. Вторая задача основана на оптимизации логистических процессов и рассмотрена во второй части данного исследования.

Общая характеристика транспортного комплекса Республики Беларусь

Республика Беларусь – экспортно-ориентированное государство с развитой промышленностью, сектором услуг и сельским хозяйством. Беларусь придерживается модели социального государства, которая доказала свою состоятельность и эффективность.

В целом за 2010–2021 годы ВВП страны увеличился в сопоставимых ценах на 21,2 % при росте производительности труда за указанный период на 32,4 %.

Валовой внутренний продукт на душу населения по паритету покупательной способности вырос с \$ 15,4 тыс. в 2010 году до \$ 21,8 тыс. в 2021 году [4]. Объем ВВП за 2022 год в текущих ценах составил 191,4 млрд рублей (около \$ 76 млрд), или в сопоставимых ценах 95,3 % к уровню 2021 года. ВВП за 2022 год сократился на 4,7 %. При этом индекс-дефлятор ВВП в 2022 году по отношению к 2021 составил 113,6 %.

Объем торговли с Россией за 2022 год составил более \$ 50 млрд. По сравнению с 2021 годом рост составил более 17 %.

По итогам 2022 торгового года экономика получила положительное торговое сальдо товаров и услуг в сумме \$ 5 млрд.

По оценке за 2021 год доля транспортной отрасли в валовом внутреннем продукте Республики Беларусь составила 5,1 %. Транспортные услуги формируют почти 43 % общего объема экспорта услуг страны и около 4 % сальдо внешней торговли услугами. За 2021 год экспорт транспортных услуг составил \$ 4,4 млрд, положительное сальдо внешней торговли транспортными услугами – \$ 1,8 млрд.

В сфере транспортного комплекса Республики Беларусь по состоянию на 1 января 2022 года функционирует более 10,8 тыс. организаций различных форм собственности и более 37 тыс. индивидуальных предпринимателей [4]. Число занятых в транспортной отрасли 288 тыс. чел.

За 2021 год совокупный объем грузооборота транспорта составил 118,7 млрд т-км, перевезено 384,9 млн т грузов. В том числе: трубопроводным 44,587 млрд т-км и 99 млн т; железнодорожным 44,487 млрд т-км и 128,6 т км; автомобильным 29,593 млрд т-км и 154,8 млн т; внутренним водным 33 млрд т-км и 2,4 млн т; воздушным 93 млрд т-км и 0,04 млн т.

В 2021 году всеми видами пассажирского транспорта (включая таксомоторный) перевезено около 1591,6 млн человек [5].

При этом отмечается перераспределение транспортной мобильности населения в пользу воздушного транспорта: доля авиаперевозок в 2021 году составила более 22 % от общего пассажирооборота республики [4].

На железнодорожном транспорте за 2022 год удалось увеличить объем экспортно-импортных перевозок контейнеров на 59 % к уровню 2021 года. В сообщении Китай – Беларусь – Китай объем перевозок контейнеров возрос на 84 %.

В 2022 году объем пассажирских перевозок железной дорогой составил 62 млн человек, или 101,3 % к 2021 году.

Перевозки на внутреннем рынке Беларуси в 2022 году выросли почти в 2 раза. Экспортные – в 1,5, а импортные остались на уровне 2021 года. Такие цифры демонстрируют данные биржи автоперевозок АТІ.SU [5]. По сведениям организации, спрос на автомобильные грузоперевозки по территории Беларуси за 2022 год вырос на 90 %. При этом рост заметно ускорился во второй половине года. Если говорить о конкретных регионах, то выделяются перевозки из Брестской области – здесь, по сравнению с 2021 годом, рост составил 187 % [6].

Перевозки из других стран в Беларусь выросли на 9 %. При этом на протяжении года ситуация была неравномерной. Рост спроса в начале года сменился весенне-летним спадом, однако в конце года перевозки снова стали набирать обороты. Ставки же на импорт росли довольно стабильно на протяжении всего 2022 года (+30 % по итогам года). В то же время цены на внутренние перевозки подросли не столь значительно – на 18 %, а на экспортные ещё меньше – на 14 % [6].

Показательно, что спрос на перевозки из России оставался стабильным в течение всего года. На других направлениях наблюдается существенный прогресс. Заметно выросло количество заявок на перевозки из Казахстана, Турции, Узбекистана и Армении.

Экспорт транспортных услуг демонстрирует уверенную положительную динамику: количество заявок на перевозки выросло на 41 % по сравнению с 2021 годом [6].

Что касается конкретных европейских направлений, то спрос сократился на перевозки практически во все страны Евросоюза, за исключением Литвы, Италии и Венгрии – там объёмы остались приблизительно на уровне 2021 года. Увеличились перевозки в Сербию (+55 %), которая, напомним, не входит в Евросоюз. При этом ставки на европейском направлении заметно выросли.

Потери спроса на перевозки по европейским маршрутам были возмещены другими направлениями. Количество заявок на перевозки в Россию за год выросло на 34 %, в Казахстан – на 50 %. Ещё более резкий рост продемонстрировали относительно новые для нашей страны маршруты. Так, спрос на доставку грузов в Армению подрос почти в 2 раза, в Узбекистан – в 3 раза, в Грузию – в 4.

Любопытны и изменения по категориям грузов. Так, по данным биржи автоперевозок АТІ.SU, на внутренних маршрутах особенно внушительный рост показали перевозки бытовой техники, труб, мебели, пиломатериалов, оборудования, запчастей, металла [6].

В экспорте приблизительно в 3,5 раза выросли перевозки газосиликатных блоков, металлопроката, утеплителя, примерно в 3 раза – пиломатериалов и бытовой химии. Поставки овощей упали в 1,5 раза. В Беларусь стали больше везти зерна и семян – почти в 3 раза, безалкогольных напитков – почти в 2, металлопроката и продуктов питания – примерно в 1,5 раза. Более всего сократились поставки в страну пластика, труб, пиломатериалов и кондитерских изделий – их возить стали меньше в 1,5 раза [6].

В Республике Беларусь работает 61 логистический центр с объемом логистических услуг 354,2 млн руб [5].

Весьма существенна роль автомобильных дорог в транспортной сети Беларуси. По состоянию на 1 января 2022 г. в Беларуси протяженность сети автомобильных дорог общего пользования составляла 103,4 тыс. км (в том числе, с твердым покрытием – 90 тыс. км). Практически все республиканские автомобильные дороги имеют усовершенствованное покрытие. Важнейшие республиканские автомобильные дороги называются магистральными дорогами. В Республике Беларусь таких дорог 13.

Плотность дорожной сети общего пользования составляет 418 км на 1 тыс. км² территории и является одной из самых высоких среди стран-участниц Содружества Независимых Государств.

Учитывая выгодное географическое положение Республики Беларусь, территорию нашей страны пересекают 2 трансевропейских транспортных коридора, определенных по международной классификации под номером II (Запад – Восток) и под номером IX (Север – Юг) с ответвлением IХВ.

Железнодорожные пути в Республике Беларусь имеют длину 5,474 тыс. км.

Протяженность магистральных трубопроводов 11,377 тыс. км.

Совершенствование транспортной системы Беларуси

Развитие транспортных перевозок в Республике Беларусь включает следующие направления:

1. Развитие инфраструктуры морских перевозок.

Строительству Беларуси собственных портовых мощностей на базе глубоководного перегрузочного комплекса "Бронка" под Санкт-Петербургом демонстрирует способность оперативного реагирования в кризисных условиях западных санкций.

Именно через "Бронку" сейчас идут поставки белорусских калийных удобрений.

После того как в результате блокировки Литвой калийного транзита из Беларуси порт в Клайпеде оказался закрытым, страна осваивает альтернативные маршруты поставок. Некоторое время, пока идет строительство белорусского портового комплекса, для калийного экспорта будут использоваться мощности самой "Бронки", являющегося самым современным портом Северо-Западного региона для проектных, генеральных, накатных и контейнерных грузов.

Удешевление логистики достигается за счет контейнеризации калийных удобрений, которые в мешках помещаются в контейнеры – при такой "утрамбовке" и бесперебойной работе потенциал "Бронки" по перевалке калия составляет 10–12 млн тонн, что способно полностью заместить объем белорусских поставок.

Экспорт белорусского калия в последние годы приносил стране до \$ 3 млрд выручки в год. Западные санкции создали дефицит на

калийном рынке, взвинтили цены, поэтому, даже при некотором падении оборотов поставок, потерь выручки не произойдет.

Стоимость калия в настоящее время превышает на мировом рынке \$ 900 за тонну, тогда как еще в мае 2022 года она составляла \$ 700. На Балтике цена сегодня составляет \$ 900, в Бразилии – \$ 1040, в Юго-Восточной Азии – \$ 975 за тонну.

Для белорусского калия это очень хорошая конъюнктура, позволяющая потеснить на рынке даже некоторых мировых игроков. Его основными покупателями остаются Бразилия, Индия, Китай, в который с конца прошлого года начали отправлять калийные соли по суше контейнерными поездами. Под такие отгрузки на предприятии были построены новые фасовочные линии. В целом белорусский калий поставляется более чем в 130 стран.

2. Формирование новых логистических цепочек и маршрутов.

Компании-производители в Беларуси в 2022 году стали искать новые рынки сбыта для своей продукции и нашли их на востоке. Соответственно, и больше грузы следуют в этом направлении. Переориентация на страны Средней Азии и Закавказья открыла для перевозчиков новые перспективы.

Во-первых, это рентабельные маршруты. В отличие, например, от перевозок с Россией. После закрытия границ белорусские дальноточники массово переключились на российское направление, но и сами россияне, работавшие с Европой, были вынуждены вернуться на свой внутренний рынок. В итоге конкуренция выросла, а ставки упали: работать здесь стало невыгодно.

Во-вторых, через среднеазиатские и закавказские республики оказалось возможным строить транзитные маршруты и даже открывать здесь свои представительства, чтобы без ограничений работать с Европой.

В-третьих, между Республикой Беларусь и республиками Средней Азии и Закавказья начало активно развиваться и укрепляться сотрудничество на межправительственном уровне. Заключаются договоренности о разрешениях на работу, об упрощении трансграничных процедур, об улучшении инфраструктуры. Все это делает перевозки с восточными и южными странами проще и перспективнее.

Перевозки между Беларусью и Турцией, Грузией, Узбекистаном, Арменией, Казахстаном увеличились кратно. И эта тенденция сохраняется. Компании продолжают осваивать новые маршруты и выстраивать новые логистические цепочки на всем евразийском рынке.

Но нельзя сказать, что эта переориентация проходит гладко и безоблачно. И перевозчики, и грузовладельцы столкнулись со сложностями, причина которых в незрелости восточного логистического рынка. На контрасте с высокоразвитым западным, с которым привыкли работать белорусы, это ощущается особенно сильно. Плохие дороги, отсутствие удобной инфраструктуры и придорожного сервиса, проблемы с документооборотом, задержки с оплатами, угрозы безопасности как для водителей, так и для грузов – это лишь часть проблем. Плюс надо понимать, что эти перевозки сопряжены с большими затратами, а значит, и ставки высокие. Настолько, что многие грузовладельцы оказались не готовы к таким ценам.

Вселяет надежду, что в странах этого региона прекрасно осознают то, что их логистический рынок нуждается в глобальной трансформации. Как и то, что сейчас у них есть все возможности занять позицию центра всей евразийской, если не мировой, логистики. А это значит, что и сами компании начинают перестраивать свои процессы, и на уровне государств в приоритет ставится именно развитие логистики. Речь идет о формировании региональных транспортных и транзитных коридоров, реализации инфраструктурных проектов, модернизации дорог, внедрении инновационных технологий в логистическую отрасль.

3. Цифровизация и автоматизация перевозок.

Максимальная автоматизация и цифровизация логистических процессов – это уже давно не модный тренд, а необходимость.

Поэтому начать или продолжать автоматизировать процессы внутри компании, внедрять цифровые инструменты в работу нужно как можно быстрее. Многие онлайн-площадки предоставляют своим пользователям набор цифровых инструментов. Например, у «Биржи ATI.SU» это целая экосистема сервисов для поиска и проверки контрагентов, проведения тендеров и спотовых торгов, своя система электронного документооборота, инструменты мониторинга, аналитики и др. При необходимости сервисы легко кастомизируются с операционной системой клиентов. А круглосуточная техническая поддержка помогает сделать переход к «цифре» мягким и безболезненным.

Автоматизация и цифровизация в логистике позволяют в разы ускорить многие процессы, оптимизировать штат, свести к минимуму долю ручного труда, а значит, снизить вероятность ошибок, сэкономить время и деньги. Кроме того, это повышает прозрачность перевозок на всех этапах – от выбора подрядчика до проведения оплаты. Что дает дополнительную страховку от недобросовестных партнеров или сотрудников.

Оптимизация логистических процессов (на примере предприятий строительной отрасли)

Удельный вес строительства в ВВП Республики Беларусь составляет 9 %. Строительство – очень сложная, системная, материалоёмкая отрасль. С логистической точки зрения строительство имеет следующие особенности:

- 1) Широкий ассортимент строительных материалов, изделий, конструкций (около 3000 наименований), многие из которых тяжеловесны и негабаритны. Широкая маршрутизация поставок.
- 2) Строительная продукция производится на удаленном объекте с производительностью ниже заводской. Соответственно, строительная продукция отличается высокими удельными затратами. Комплектация отсутствует.
- 3) В общей себестоимости весьма высок удельный вес транспортных, складских и трудовых затрат.
- 4) Высокий уровень централизованных поставок через производственно-комплектовочную базу (ПКБ), что также увеличивает себестоимость. Повышением заводской готовности через собственное производство ПКБ должна снизить себестоимость.

Внутренним транспортно-логистическим резервом минимизации себестоимости строящихся объектов должна стать планомерная оптимизация логистических составляющих: транспортных издержек и заготовительно-складских расходов.

Для минимизации заготовительно-складских расходов необходимо сформировать конкурентную систему закупок на предприятии (биржевая торговля, торги, электронный аукцион, запрос ценовых предложений). Реализация принципов прокьюрента дает возможность снизить стоимость закупок на 5 %.

Договоры поставок необходимо увязывать с календарным графиком строительства с доставкой на объект в количестве, обеспечивающем ритм потока.

Ресурсы, требующие повышения заводской готовности (например, устройство несъемной опалубки для отделки и т. д.), необходимо поставлять на ПКБ для конечного снижения затрат в количестве, соответствующем производственному расходу.

Заготовительно-складские расходы закладываются в смете в среднем до 3 % от стоимости материальных ресурсов. Опыт показывает, что применяя вышеуказанные рекомендации, можно снизить этот показатель.

Традиционных, сформировавшихся, общепринятых методик оптимизации транспорта в строительстве крайне мало. Все они связаны с маршрутизацией и расчетом транспортных затрат. Предлагается использовать алгоритм, который характеризуется следующими общими этапами:

- подбор маршрутов (маятниковый, кольцевой, челночный, челочно-маятниковый);
- календаризация перевозок в соответствии с календарным/сетевым графиком;
- организация перевозок, включающая выбор перевозчика и подготовку транспортно-комплектовочных карт в составе унифицированной нормативной технологической документации на комплектацию (не применяется в настоящее время).

Для рационального комплексного транспортного обеспечения строительства необходимо выполнение следующих функций:

- определение количества грузов;
- подбор транспортных средств;
- рациональная перевозка;
- увязка транспорта со складами и погрузочно-разгрузочной техникой.

Для успешной реализации вышеуказанных функций транспортного обеспечения предлагается следующая последовательность оптимизации транспортного обеспечения в строительстве:

Этап 1. Определение направлений и объёмов перевозок строительных грузов.

Этап 2. Подбор типа, вида транспорта.

Этап 3. Маршрутизация перевозок.

Этап 4. Календаризация перевозок.

Этап 5. Совмещение подвижного состава транспортных средств со складом и средствами погрузки/разгрузки.

Для осуществления 1-го этапа предлагается использование элор грузопотоков и картограмм [3]. Также можно использовать «Транспортно-комплектовочные карты», разрабатываемые в составе «Унифицированной нормативно-технологической документации на комплектацию» (УНТДК).

Направления перевозок можно определить на основании «Схемы привязки объектов строительства к поставщикам» в составе УНТДК [3].

Объёмы перевозок рассчитывают, используя «Комплектовочно-технологические карты» в составе УНТДК. При отсутствии УНТДК объёмы и направления перевозок определяются на основании проектно-сметной документации, производственных норм расхода материалов, изделий, конструкций, технологических карт, данных о производителях и поставщиках и т. д.

2-й этап предполагает определение типа и вида транспорта. Выбирается транспорт – сначала собственный, а затем на основе аутсорсинга.

Следующим, 3-м этапом оптимизации транспорта является маршрутизация.

Для оптимизации схем движения используются следующие методы:

- методы составления рациональных маршрутов;
- экономико-математические методы (транспортная задача профессора Конторовича, сетевое моделирование);
- графо-аналитические методы: топографический (картографический) и метод сейфов;
- метод составления рациональных маршрутов профессора А. Н. Толстого

Маршруты должны соответствовать «Графику привязки поставок к поставщику» и «Транспортно-комплектовочному графику», входящих в состав «Унифицированной нормативно-технологической документации на строительство».

4-й этап – календаризация маршрутов, основанная на сетевом моделировании перевозок или на календарном планировании строительного-монтажных работ.

5-й этап – совмещение транспорта со средствами погрузки, выгрузки и складирования, предполагает подбор подъёмно-транспортных машин, механизмов и расчёт необходимого складского оборудования.

Общая методика расчета транспортных затрат при строительстве объекта. После составления календарного графика и на его основе транспортно-комплектовочной карты производится расчет экономической эффективности по двум вариантам [3].

1 вариант. Транспортные расходы, включая заготовительно-складские расходы, расходы по доставке материалов от предприятий-изготовителей и (или) поставщиков до приобъектного склада объекта строительства, определяются от стоимости строительных материалов по процентной норме по трем зонам строительства по видам материалов [3].

2 вариант. Расчёт транспортных расходов после подбора машин для перевозки строительных грузов может быть произведён следующим образом:

1. Расчет количества рейсов транспортного средств (используется коэффициент грузоподъемности).
2. Определение расстояния перевозки груза.
3. Определение тарифа.
4. Расчёт транспортных расходов на перевозку грузов.

Заключение

Таким образом, для эффективной работы белорусской национальной транспортно-логистической системы необходимо совершенствовать логистические процессы по следующим направлениям:

- повышение конкурентоспособности и общее снижение издержек потребителей транспортно-логистических услуг за счет внедрения новых видов и форм обслуживания потребителей на основе

создаваемых ТЛЦ, позволяющих расширить ассортимент логистических услуг и улучшить их качество;

- увеличение объемов перевозок в связи с удобным географическим положением Беларуси и пролеганием кратчайших путей доставки грузов по территории страны, что приведет к росту экспорта транспортных услуг, увеличит масштабы и спектр логистического обслуживания;
- вложение значительных инвестиций в информационные системы и технологии, что позволит повысить скорость обработки грузов и оптимизировать существующие грузопотоки и, как результат, снизить издержки всех участников транспортно-логистической системы товародвижения.

Для снижения затрат в строительстве можно использовать транспортно-комплектовочные карты, графики привязки к поставщикам в составе унифицированной нормативно-технической документации на строительство объекта.

Реализация предложенных мер может способствовать прогрессу в реализации транспортно-логистического потенциала Беларуси, снижению цены на продукцию (услуги) укреплению положения белорусских компаний на международном пространстве, привлечению инвестиций, образованию новых инновационных рабочих мест.

Список цитированных источников

1. Ковалев, М. М. Транспортная логистика в Беларуси: состояние, перспективы: монография / М. М. Ковалев, А. А. Королева, А. А. Дудина. – Минск : Изд. Центр БГУ, 2017. – 327 с.
2. Королева, А. А. Международная транспортная логистика: конкурентные позиции Беларуси: монография / А. А. Королева, А. А. Дудина. – Минск : Изд. Центр БГУ, 2020. – 143 с.
3. Кулаков, И. А. Логистика (в схемах, рисунках, и таблицах): краткий курс лекций / И. А. Кулаков, В. В. Зазерская, Л. О. Кулакова. – Брест : Издательство БрГТУ, 2019. – 108 с.
4. Президент Республики Беларусь / Экономика / Транспорт и логистика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://president.gov.by/ru/belarus/economics/osnovnye-otrasli/sferauslug/transport-i-logistika>. – Дата доступа: 01.02.2023.
5. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://20fs6kwxniibet4h4icu0kdlituroip08.pdf>. – Дата доступа: 04.02.2023.
6. Автотранспорт внутри Беларуси. Логистика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://av.by/news/avtomobilnie_perevozki_rb_statistika_za_2022_god. – Дата доступа: 03.02.2023.

References

1. Kovalev, M. M. Transportnaya logistika v Belarusi: sostoyaniye, perspektivy: monografiya / M. M. Kovalev, A. A. Koroleva, A. A. Dudina. – Minsk : Izd. Centr BGU, 2017. – 327 s.
2. Koroleva, A. A. Mezhdunarodnaya transportnaya logistika: konkurentnyye pozitsii Belarusi: monografiya / A. A. Koroleva, A. A. Dudina. – Minsk : Izd. Centr BGU, 2020. – 143 s.
3. Kulakov, I. A. Logistika (v skhemah, risunkah, i tablitsah): kratkiy kurs lekciy / I. A. Kulakov, V. V. Zazerskaya, L. O. Kulakova. – Brest : Izdatel'stvo BrGTU, 2019. – 108 s.
4. Prezident Respubliki Belarus' / Ekonomika / Transport i logistika [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://president.gov.by/ru/belarus/economics/osnovnye-otrasli/sfera-uslug/transport-i-logistika>. – Data dostupa: 01.02.2023.
5. Nacional'nyy statisticheskij komitet Respubliki Belarus' [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://20fs6kwxniibet4h4icu0kdlituroip08.pdf>. – Data dostupa: 04.02.2023.
6. Avtoperevozki vnutri Belarusi. Logistika [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: https://av.by/news/avtomobilnie_perevozki_rb_statistika_za_2022_god. – Data dostupa: 03.02.2023.

Материал поступил 24.02.2023, одобрен 20.04.2023, принят к публикации 20.04.2023

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОЦЕНКИ И РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЕДИЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИЙ

П. И. Лапковская¹, Д. Р. Костеневич²

¹ К. э. н., доцент, доцент кафедры экономики и логистики

УО «Белорусский национальный технический университет», Минск, Беларусь, e-mail: p.lapkouskaya@gmail.com

² Студентка кафедры экономики и логистики УО «Белорусский национальный технический университет», Минск, Беларусь, e-mail: polinaruslan@mail.ru

Реферат

В настоящее время деятельность по экспедированию грузов более динамична и успешна, чем когда-либо, несмотря на глобальные экономические проблемы последних нескольких лет. Развитие транспортной отрасли и изменение роли экспедитора тесно связаны со многими сложными факторами воздействия, такими как глобализация, стремительный рост международной торговли и развитие технологий, включая информационные технологии. Современный подход предполагает, что экспедирование грузов включает в себя все виды деятельности, связанные с управлением и выполнением логистических и других вспомогательных мероприятий для перемещения продукции во времени и пространстве.

В данной статье представлены результаты исследования по разработке методического обеспечения оценки и развития транспортно-экспедиционной деятельности организации и апробации данной методики на примере транспортно-экспедиционной организации УП «CF&S Bel».

Ключевые слова: транспортно-экспедиционная деятельность, обслуживание, грузовладельцы, качество, методика оценки, развитие

METHODOLOGICAL SUPPORT FOR THE ASSESSMENT AND DEVELOPMENT OF FREIGHT FORWARDING ACTIVITIES OF ORGANIZATIONS

P. I. Lapkouskaya, D. R. Kostenevich

Abstract

Currently, freight forwarding activities are more dynamic and successful than ever, despite the global economic problems of the last few years. The development of the transport industry and the changing role of the freight forwarder are closely linked to many complex factors of influence, such as globalization, the rapid growth of international trade and the development of technologies, including information technology. The modern approach assumes that freight forwarding includes all types of activities related to the management and implementation of logistics and other support activities for the movement of products in time and space.

This article presents the results of the research on the development of methodological support for the assessment and development of the organization forwarding activities and approbation of this methodology on the example of the forwarding organization UE "CF&S Bel".

Keywords: freight forwarding activities, service, cargo owners, quality, assessment methodology, development.

Введение

Ключевой проблемой в сфере предоставления транспортно-экспедиционных услуг является понимание потребностей и предписаний клиента и способность предоставить желаемый сервис. Уровень качества услуг, предлагаемых поставщиком транспортных услуг, влияет на поведение клиентов. Термин «качество обслуживания» относится к суждению об услуге, предоставляемой третьей стороной, которое клиентам труднее понять и измерить по сравнению с качеством продукции. У клиентов есть целый ряд ранее существовавших ожиданий в отношении обслуживания и оценки удовлетворенности, основанная на том, в какой степени опыт покупки соответствовал или не соответствовал этим ожиданиям.

Актуальность темы исследования обусловлена тем, что на данный момент оценка качества транспортно-экспедиционного обслуживания довольно неоднозначна. Основная причина заключается в сложности и многообразии методических подходов, ориентированных на создание единой концепции оценки.

Разработка организационно-методических основ оценки и развития транспортно-экспедиционной деятельности организаций

Оценка качества обслуживания грузовладельцев и предоставления транспортных услуг перевозчиками в целом остается весьма противоречивой. Основной причиной этого является сложность и многообразие методических подходов, направленных на выработку единой концепции оценки. Например, по мнению В. Г. Галабурды, «транспортное обслуживание в общем случае включает следующие основные группы показателей: показатели транспортной обеспеченности и доступности транспортных ресурсов; показатели эксплуатационно-технологической работы транспорта; показатели качества обслуживания пользователей» [1]. Данные показатели объективно

описывают характеристики транспортного обслуживания, но данный подход в большей степени ориентирован на рынок конечного потребления транспортных услуг, а не на рынок b-2-c, где происходит основное взаимодействие транспортно-экспедиционных организаций между собой и клиентами.

В рамках подхода, предложенного В. Г. Галабурдой, получила развитие модель оценки интегральной транспортной доступности, предложенная Е. Н. Ковалевой, которая рассматривает «интегральную транспортную доступность как аналог надежности системы транспортно-экспедиционного обслуживания» [2]. Особый интерес представляют исследования В. Н. Бугроменко, который предложил модель, включающую «не только показатели расстояния пути и скорости перемещения транспорта, но и коэффициенты неизолированности пункта отправления и резерва конфигурации транспортной сети» [3]. При этом проведение аналогии между транспортной доступностью и надежностью транспортного обслуживания обосновано недостаточно.

Помимо общей методики оценки качества транспортных услуг в некоторых работах предлагается использование методов экспертной оценки. В частности, в работах И. В. Демьяновича приводится «методическая схема, которая направлена, во-первых, на расчет оценки текущего уровня качества транспортно-экспедиционного обслуживания грузовладельцев, а, во-вторых, на формулировку мер и направлений совершенствования транспортно-экспедиционного обслуживания той или иной группы грузовладельцев» [4].

Кроме этого интерес представляют методические решения, «направленные на оценку качества транспортно-экспедиционного обслуживания и предоставления транспортных услуг в целом с учетом главенства технологической составляющей» [5]. Следует отметить, что техническое и технологическое обеспечение сферы транспортно-экспедиционного обслуживания грузовладельцев имеет

первостепенное значение при изучении аспектов качества услуг. Однако в то же время важным является наличие и способность транспортных компаний использовать технико-технологическое обеспечение.

Стоит выделить и маркетинговый подход, с помощью которого оценивают качество транспортно-экспедиционных услуг для всех клиентов, который предполагает интервьюирование и анкетирование потребителей, получивших тот или иной уровень транспортно-экспедиционного обслуживания, с целью изучения факторов оценки, наиболее важных в первую очередь для самих потребителей.

Таким образом, перечисленные выше методики и подходы к формированию системы показателей оценки транспортно-экспедиционного обслуживания потребителей ориентированы либо на рассмотрение одного функционального аспекта, либо на формирование комплексной оценки. В большинстве исследований для оценки транспортно-экспедиционного обслуживания рассматривается системный подход, основанный на использовании некоторого множества показателей, характеризующих ту или иную функциональную область транспортно-экспедиционного обслуживания. Соответственно, транспортно-экспедиционное обслуживание может оцениваться как средневзвешенное значение совокупности показателей, характеризующих предоставление транспортно-экспедиционных услуг (формула 1):

$$K_{TC} = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot K_i, \quad (1)$$

где K_{TC} – оценка транспортно-экспедиционного обслуживания;

α_i – весовое значение, присвоенное i -му показателю, формирующему оценку транспортно-экспедиционного обслуживания;

K_i – i -й показатель транспортно-экспедиционного обслуживания;

n – количество показателей, включенных в оценку.

Системный подход является наиболее рациональной концепцией оценки транспортно-экспедиционного обслуживания в связи с тем, что он позволяет более точно интерпретировать качественные характеристики транспортно-экспедиционных услуг, т. е. рассчитать единое значение уровня транспортно-экспедиционного обслуживания при помощи интеграции ключевых оценочных показателей.

Однако отметим, что отсутствует единый подход к разработке перечня показателей для систематической оценки транспортно-экспедиционных услуг, предоставляемых грузовладельцам. В основном на практике используются две ключевые оценочные модели: с точки зрения грузовладельцев и с точки зрения транспортно-экспедиционных организаций. Перечень показателей как с точки зрения транспортно-экспедиционных организаций, так и с точки зрения грузовладельцев не является бесспорным в том смысле, что он объективно отражает обслуживание экспедиторами грузовладельцев. Но необходимо понимать, что при разработке методики оценки транспортно-экспедиционного обслуживания достаточно широкий перечень показателей может привести к снижению объективности получаемого расчетного значения из-за рассеивания информации. При этом и сокращенный перечень показателей также может исказить исходную информацию для дальнейшего анализа.

В.Н. Нестеров выделяет четыре ключевых показателя, характеризующих качество транспортно-экспедиционного обслуживания грузовладельцев с позиции получаемых ими услуг от транспортно-экспедиционных организаций [6]. Так, расчетная формула выгоды использования транспортно-экспедиционного обслуживания (MS_1) имеет следующий вид:

$$MS_1 = \frac{C_{To}}{\sum CTS_i}, \quad (2)$$

где C_{To} – стоимость грузоперевозок и экспедирования, выполняемых собственными силами грузовладельцев, руб.;

$\sum CTS_i$ – суммарная стоимость обслуживания транспортно-экспедиционной организацией, руб.

Следующим показателем транспортно-экспедиционного обслуживания является показатель, характеризующий надежность выполнения обязательств. В данном случае формула выглядит следующим образом:

$$MS_2 = \frac{\sum TS_T}{\sum TS_{NT}}, \quad (3)$$

где $\sum TS_T$ – объемы транспортно-экспедиционного обслуживания, выполненные организациями с полным соблюдением договорных обязательств, руб.;

$\sum TS_{NT}$ – объемы транспортно-экспедиционного обслуживания, выполненные организациями с нарушением договорных обязательств, руб.

Для каждого грузовладельца весьма важным в процессе его коммерческой деятельности, в том числе предполагающей перемещение грузов в пространстве, является время доставки груза. Расчетная формула изменения длительности времени доставки груза в рамках обслуживания грузовладельцев транспортно-экспедиционной организацией (MS_3) имеет следующий вид:

$$MS_3 = \frac{\sum LSI_N}{\sum LCI_A}, \quad (4)$$

где $\sum LSI_N$ и $\sum LCI_A$ – нормируемая (планово-установленная) и фактическая продолжительность времени доставки груза, сут.

Не менее важным показателем транспортно-экспедиционного обслуживания для грузовладельцев является отдача от использования транспортно-экспедиционного обслуживания или транспортных услуг в целом. Уровень затратоотдачи для грузовладельцев от использования обслуживания, предоставляемого транспортно-экспедиционными организациями (MS_4), рассчитывается по следующей формуле:

$$MS_4 = \frac{I_T}{\sum CTS_i}, \quad (5)$$

где I_T – доходы грузовладельцев, обусловленные перемещением грузов в пространстве (обусловленные использованием транспортно-экспедиционного обслуживания), руб.;

$\sum CTS_i$ – суммарная стоимость обслуживания организацией, руб.

Таким образом, используя данную систему индикаторов на основе полученных значений комплексных (агрегированных) показателей можно оценить уровень транспортно-экспедиционного обслуживания грузовладельцев.

Однако анализ существующих методик и подходов оценки транспортно-экспедиционной деятельности показал, что существующие методики имеют ряд недостатков, поскольку не дают полной оценочной картины для транспортно-экспедиционного обслуживания организаций. Для устранения выявленных недостатков была разработана методика оценки транспортно-экспедиционной деятельности организации, основанная на использовании совокупности комплексных показателей, представленных ниже.

В таком виде деятельности, как транспорт, ориентированном на обслуживание, обеспечение высокого качества является ключом к достижению лояльности клиентов с сопутствующим положительным влиянием на долю рынка, прибыльность и конкурентные преимущества. Однако уникальные характеристики предоставления услуг и важная роль, которую играет качество обслуживания в формировании лояльности клиентов, часто создают некоторые проблемы. Эти проблемы могут быть связаны с такой присущей транспортной услуге природой, как гибкость предложения услуг, неотделимость производства от потребления, его долговечность и неоднородность.

Кроме того, активное развитие транспортно-экспедиционных организаций в мире привело к усилению конкуренции на рынке. В этой конкуренции организации сталкиваются с проблемой разработки стратегических маркетинговых инициатив, которые позволили бы не только привлечь новых клиентов, но и удержать существующих и сохранить их лояльность. С помощью электронного маркетинга «транспортно-экспедиционные организации могут способствовать улучшению отношений со своими существующими клиентами, обеспечивая более быстрый рост уровня лояльности, чем другие маркетинговые стратегии» [7].

Лояльность клиентов можно разделить на 2 компонента: поведенческий и эмоциональный, которые характеризуются фактическим поведением потребителей и степенью осведомленности о деятельности организации соответственно [8]. Для определения уровня лояльности можно проводить опрос клиентов, в ходе которого респонденты оценивают степень своей лояльности по пятибалльной шкале (таблица 1).

Таблица 1 – Количественное выражение оценки степени лояльности клиентов в баллах

Выражение в баллах	Словесная характеристика
1	Неудовлетворительно
2	Удовлетворительно
3	Хорошо
4	Очень хорошо
5	Отлично

Уровень лояльности (TS_4) предлагается рассчитывать по следующей формуле:

$$TS_4 = \frac{\sum 1n_1 + \sum 2n_2 + \sum 3n_3 + \sum 4n_4 + \sum 5n_5}{\sum n_i}, \quad (6)$$

где n_1 – количество клиентов, оценившие свою степень лояльности в 1 балл;

n_2 – количество клиентов, оценившие свою степень лояльности в 2 балл;

n_3 – количество клиентов, оценившие свою степень лояльности в 3 балл;

n_4 – количество клиентов, оценившие свою степень лояльности в 4 балл;

n_5 – количество клиентов, оценившие свою степень лояльности в 5 балл;

$\sum n_i$ – общее количество респондентов.

Организации, характеризующиеся высоким уровнем лояльности клиентов, имеют ряд преимуществ. Исследования показывают, что «постоянные клиенты тратят на товары и услуги на 67 % больше, чем новые клиенты» [9]. Таким образом, даже если самые лояльные клиенты могут составлять только 20 % аудитории, они обеспечивают до 80 % дохода. Когда удержать клиента в 5 раз проще, чем привлечь нового, такие цифры трудно игнорировать. «Увеличение процента удержания клиентов на 5 % увеличивает объемы продаж более чем на 25 %, а прибыль – от 50 до 100 %» [9]. Неудовлетворенные клиенты тиражируют отрицательное мнение об организации существенно шире, чем удовлетворенные – положительное.

В настоящее время для каждого грузовладельца немаловажным становится показатель, характеризующий *оперативность*, то есть способность транспортно-экспедиционной организации быстро реагировать и исполнять срочные заявки на перевозку грузов. Данный показатель (TS_5) предлагается определять по следующей формуле:

$$TS_5 = \frac{\sum N_{\text{вып}}}{\sum N_{\text{ср.з}}}, \quad (7)$$

где $\sum N_{\text{вып}}$ – срочно выполненные заявки транспортно-экспедиционной организацией, шт.;

$\sum N_{\text{ср.з}}$ – общее количество срочных заявок грузовладельцев к транспортно-экспедиционной организации, шт.

Разработанная группа показателей представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Совокупность показателей в рамках разработанной методики оценки транспортно-экспедиционной деятельности организации

Показатель	Формула
Показатель, характеризующий выгоду от использования транспортно-экспедиционного обслуживания	$TS_1 = \frac{C_{\text{то}}}{\sum CTS_i}$
Показатель надежности выполнения обязательств транспортно-экспедиционной организацией	$TS_2 = \frac{\sum TS_T}{\sum TS_{NT}}$

Продолжение таблицы 2

Показатель	Формула
Показатель, характеризующий уровень затратоотдачи грузовладельца от использования транспортно-экспедиционного обслуживания	$TS_3 = \frac{I_T}{\sum CTS_i}$
Показатель, характеризующий уровень лояльности клиентов	$TS_4 = \frac{\sum 1n_1 + \sum 2n_2 + \sum 3n_3 + \sum 4n_4 + \sum 5n_5}{\sum n_i}$
Показатель, характеризующий оперативность транспортно-экспедиционной организации	$TS_5 = \frac{\sum N_{\text{вып}}}{\sum N_{\text{ср.з}}}$

Поскольку все вышеперечисленные показатели являются коэффициентами, то соответственно существует расчет агрегированного показателя, характеризующего уровень предоставляемого грузовладельцам транспортно-экспедиционного обслуживания. Для этого можно воспользоваться формулой 1, в которой каждому показателю присваивается определенный вес, либо использовать формулу средней геометрической величины, учитывая представленные выше показатели:

$$TS = \sqrt[5]{TS_1 \cdot TS_2 \cdot TS_3 \cdot TS_4 \cdot TS_5}, \quad (8)$$

где TS_1 – показатель выгоды использования транспортно-экспедиционного обслуживания;

TS_2 – показатель надежности выполнения обязательств транспортно-экспедиционной организацией;

TS_3 – показатель, характеризующий уровень затратоотдачи грузовладельца от использования транспортно-экспедиционного обслуживания;

TS_4 – показатель, характеризующий уровень лояльности клиентов;

TS_5 – показатель, характеризующий оперативность транспортно-экспедиционной организации.

По результатам расчетов можно определить уровень обслуживания, оказываемого транспортно-экспедиционными организациями при помощи разработанной интервальной шкалы, которая представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Интервальная шкала, для определения уровня транспортно-экспедиционного обслуживания

Числовое значение	Содержательное описание
0–0,5	Удовлетворительный
0,5–1,0	Хороший
1,0–1,5	Отличный
1,5 и более	Образцовый

Далее была проведена апробация разработанной методики оценки транспортно-экспедиционного обслуживания организации на примере УП «CF&S Bel». Исходные данные для расчетов представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Исходные данные для расчета оценки транспортно-экспедиционного обслуживания УП «CF&S Bel»

Показатель	Значение на 2022 г.
Стоимость грузоперевозок и экспедирования, выполняемых собственными силами грузовладельцев, тыс. руб.	1 395,60
Суммарная стоимость обслуживания транспортной компанией, тыс. руб.	1 978,00
Объемы транспортно-экспедиционного обслуживания, выполненные компанией с соблюдением договорных обязательств, шт.	215

Продолжение таблицы 4

Показатель	Значение на 2022 г.
Объемы транспортно-экспедиционного обслуживания, выполненные компанией с нарушением договорных обязательств, шт.	22
Доходы грузовладельцев, обусловленные использованием транспортно-экспедиционного обслуживания, тыс. руб.	237,36
Количество срочно выполненных заявок, шт.	43
Общее количество срочных заявок, шт.	58

На основе значений из исходных данных рассчитаем показатель, характеризующий выгоду использования транспортного обслуживания:

$$TS_1 = \frac{1395,60}{1978,00} = 0,71.$$

Надежность выполнения обязательств будет равна

$$TS_2 = \frac{215}{22} = 9,77.$$

Уровень затратоотдачи для грузовладельцев от использования обслуживания, предоставляемого «CF&S Bel», составляет

$$TS_3 = \frac{237,36}{1978,00} = 0,12.$$

Для определения уровня лояльности было проведено анкетирование 13 клиентов. Согласно данным опроса 3 клиента поставили 5 баллов, 5 клиента – 4 балла, 3 клиента – 3 балла, 2 клиента – 2 балла. В этом случае уровень лояльности клиентов равен:

$$TS_4 = \frac{1 \cdot 0 + 2 \cdot 2 + 3 \cdot 3 + 4 \cdot 5 + 5 \cdot 3}{13} = 3,69.$$

Показатель оперативности организации составляет:

$$TS_5 = \frac{43}{58} = 0,74.$$

Таким образом, комплексный уровень транспортно-экспедиционного обслуживания УП «CF&S Bel» будет равен

$$TS = \sqrt[5]{0,71 \cdot 9,77 \cdot 0,12 \cdot 3,69 \cdot 0,76} = 1,18.$$

Поскольку итоговое значения показателя равно 1,18, то можно сделать вывод, что уровень транспортно-экспедиционного обслуживания УП «CF&S Bel» соответствует отличному, согласно разработанной шкале оценки. Однако, несмотря на высокое значение показателя транспортно-экспедиционного обслуживания организации необходимо дальше развиваться и повышать качество обслуживания клиентов, чтобы в будущем данный показатель достиг отметки образцового уровня.

Для этого нужно активнее использовать в своей деятельности последние достижения науки и техники, учитывать международный опыт и тенденции развития мировой экономики, понимать тренды развития рынка транспортно-экспедиционных услуг на национальном уровне и основные направления политики управления в сфере международных перевозок и экспедирования, оперативно реагировать на требования и запросы потребителей. Только при таких условиях деятельность отечественных транспортно-экспедиционных организаций на современном этапе сможет оставаться конкурентоспособной и обеспечивать высокий уровень транспортно-экспедиционного обслуживания, отвечающий разнообразным запросам клиентов и условиям современного общества.

Заключение

Таким образом, разработанная методика оценки позволит более точно и полно оценить уровень транспортно-экспедиционного обслуживания организации. Применение данной методики транспортно-экспедиционными организациями предоставит возможность вносить коррективы в их деятельность, тем самым улучшить или поддерживать качество транспортно-экспедиционных услуг на высоком уровне, что, в свою очередь, приведет к увеличению количества клиентов, повышению эффективности и развитию логистической системы организации в целом.

Список цитированных источников

1. Галабурда, В. Г. Транспортный маркетинг / В. Г. Галабурда – М. : Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2011. – 452 с.
2. Ковалева, Е. Н. Интегральная транспортная доступность как показатель качества транспортного обслуживания / Е. Н. Ковалева // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2011. – № 3. – С.171–175.
3. Бугроменко, В. Н. Транспорт в территориальных системах / В. Н. Бугроменко – М.: Наука, 1987. – 111 с.
4. Демьянович, И. В. Экспертные методы проблем качества транспортного обслуживания / И. В. Демьянович // Проблемы современной экономики. – 2011. – № 1. – С. 342–347.
5. Рогова, Е. В. Методы повышения качества обслуживания грузовладельцев на основе совершенствования системы взаимодействия транспортных компаний : диссертация ... кандидата экономических наук : 08.00.05. / Е. В. Рогова; Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ) МПС РФ. – Москва, 2017. – 155 с.
6. Нестеров, В. Н. Экономические методы управления качеством транспортного обслуживания грузовладельцев / В. Н. Нестеров // Транспортное дело России. – 2011. – № 3. – С. 72–75.
7. Understanding the importance of customer loyalty [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.annexcloud.com/blog/understanding-importance-customer-loyalty-marketing/>. – Data of access: 07.03.2023.
8. Акулич, И. Л. Лояльность клиентов / И. Л. Акулич, Е. В. Кудасова // Экономический рост Республики Беларусь: глобализация, инновационность, устойчивость: материалы XIII Международной научно-практической конференции, Минск, 14 мая 2020 г. / под ред. В. Ю. Шутилина. – Минск : БГЭУ, 2020. – С. 159–160.
9. Райхельд, Ф. Искренняя лояльность. Ключ к завоеванию клиентов на всю жизнь / Ф. Райхельд, Р. Марки. – М. : Манн, Иванов и Фербер, 2013. – 205 с.

References

1. Galaburda, V. G. Transportnyj marketing / V. G. Galaburda – M. : Uchebno-metodicheskij centr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte, 2011. – 452 s.
2. Kovaleva, E. N. Integral'naya transportnaya dostupnost' kak pokazatel' kachestva transportnogo obsluzhivaniya / E. N. Kovaleva // Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova. – 2011. – № 3. – S. 171–175.
3. Bugromenko, V. N. Transport v territorial'nyh sistemah / V. N. Bugromenko – M.: Nauka, 1987. – 111 s.
4. Dem'yanovich, I. V. Ekspertnye metody problem kachestva transportnogo obsluzhivaniya / I. V. Dem'yanovich // Problemy sovremennoj ekonomiki. – 2011. – № 1. – S.342-347.
5. Rogova, E. V. Metody povysheniya kachestva obsluzhivaniya gruzovladel'cev na osnove sovershenstvovaniya sistemy vzaimodejstviya transportnyh kompanij : dissertaciya ... kandi-data ekonomicheskikh nauk : 08.00.05. / E. V. Rogova; Mosk. gos. un-t putej soobshch. (MIIT) MPS RF. – Moskva, 2017. – 155 s.
6. Nesterov, V. N. Ekonomicheskie metody upravleniya kachestvom transportnogo obsluzhivaniya gruzovladel'cev / V. N. Nesterov // Transportnoe delo Rossii. – 2011. – № 3. – S. 72–75.
7. Understanding the importance of customer loyalty [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.annexcloud.com/blog/understanding-importance-customer-loyalty-marketing/>. – Data of access: 07.03.2023.
8. Akulich, I. L. Loyal'nost' klientov / I. L. Akulich, E. V. Kudasova // Ekonomicheskij rost Respubliki Belarus': globalizaciya, innovacionnost', ustojchivost': vaterialy XIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Minsk, 14 maya 2020 g. / pod red. V. Yu. SHutilina. – Minsk : BGEU, 2020. – S. 159–160.
9. Rajhel'd, F. Iskrennyaya loyal'nost'. Klyuch k zavoevaniyu klientov na vsyu zhizn' / F. Rajhel'd, R. Marki. – M. : Mann, Ivanov i Ferber, 2013. – 205 s.

Материал поступил 13.03.2023, одобрен 19.04.2023, принят к публикации 19.04.2023

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ИССЛЕДОВАНИЮ УПРАВЛЕНИЯ ЦЕПЯМИ ПОСТАВОК СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

М. П. Мишкова¹, Э. Э. Ермакова²

¹ К. э. н., доцент кафедры менеджмента, УО «Брестский государственный технический университет»,
Брест, Беларусь, e-mail : mishkova69@yandex.by

² М. э. н., старший преподаватель кафедры экономической теории и логистики УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail : ermakova.eleonora@gmail.com

Реферат

Методологические подходы к вопросам управления цепями поставок остаются важнейшими на всех стадиях строительства. В связи с этим особый интерес представляют исследования в сфере экономического содержания, состава и оптимальной структуры цепей поставок строительного комплекса. В статье представлены результаты анализа цепей поставок с точки зрения различных подходов, определено понятие цепей поставок для строительного комплекса, рассмотрены основные направления их эффективного управления.

Ключевые слова: управление цепями поставок, строительный комплекс, состав цепей поставок, структура цепей поставок.

METHODOLOGICAL APPROACHES TO THE STUDY OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT OF THE CONSTRUCTION COMPLEX

M. P. Mishkova, E. E. Ermakova

Abstract

Methodological approaches to supply chain management remain essential at all stages of construction. In this regard, research in the field of economic content, composition and optimal structure of supply chains of the construction complex is of particular interest. The article presents the results of the analysis of supply chains from the point of view of various approaches, defines the concept of supply chains for the construction complex, considers the main directions of their effective management.

Keywords: supply chain management, construction complex, composition of supply chains, structure of supply chains.

Введение

Текущие экономические условия ведения деятельности строительными организациями обусловили ряд вопросов, связанных с управлением оборотными активами, в частности с увеличением их оборачиваемости, в первую очередь это касается производственных запасов, поступающих от поставщиков и подрядчиков на начальной стадии строительства объекта. Вопросы управления цепями поставок строительного комплекса остаются не менее важными как на стадии производства, так и на стадии реализации объекта строительства в отношениях с покупателями и заказчиками в части материальных и финансовых потоков.

Основной проблемой в условиях дефицита денежных средств и высокой стоимости кредитных ресурсов является не только организация бесперебойных поставок, но и расчеты с поставщиками и подрядчиками, другими участниками цепи. Решение проблемы позволит обеспечить ритмичную и бесперебойную работу процесса производства продукции, а также своевременное выполнение договорных условий перед заказчиками. Важным условием непрерывности и высокой скорости оборота капитала является разработка и внедрение эффективного механизма управления цепями поставок на основе финансовых потоков.

Исследование управления цепями поставок становится важным аспектом для выявления современных тенденций развития строительного комплекса. Вследствие этого анализ эффективности управления, экономическое содержание, состав и структура цепей поставок и выявление основных проблем в этой сфере представляется актуальным.

Научная новизна исследования состоит в развитии теоретико-методических положений и разработке новых подходов к управлению цепями и формированию цепей поставок в строительстве.

Концепция управления цепями поставок

В XXI веке генезис логистики определил новую концепцию управления логистическими процессами, которая получила название «управление цепями поставок» (англ. supply chain management, SCM). В результате этого возникла новая теория логистики, которая позволила по-другому подойти к понятию бизнеса. Такая модель управления позволила не только регулировать потоки, но и удовле-

творять потребности поставщиков, подрядчиков и заказчиков с оптимальным результатом. В рамках данной концепции внутри каждой организации существует несколько объектов управления в виде материальных потоков процессов снабжения, производства и реализации, финансовых и информационных потоков. SCM – это инструмент, включающий нескольких участников, задействованных во всех потоках материалов, финансов и информации от первичного источника до конечного потребителя.

В рамках концепции SCM предусмотрено выполнение функций планирования, организации и контроля цепей поставок, звеньями которых являются поставщики и подрядчики, производители и заказчики, потребители и различные посредники. Управление цепями поставок – «это интегрирование ключевых бизнес-процессов, начинающихся от конечного пользователя и охватывающих всех поставщиков товаров, услуг и информации, добавляющих ценность для потребителей и других заинтересованных лиц» [1].

Таким образом, управление цепями поставок – это инновационная концепция управления, представляющая собой результат принятых управленческих решений по сопровождению процессов цепей поставок с позиции ключевого момента, обеспечения организации необходимыми ресурсами в оптимальном объеме для надлежащего выполнения функций. Под ресурсами в этом случае следует понимать не только материальный поток, но и финансовый, информационный потоки, без которых не только оптимизация, но и поступление сырья и производственных запасов невозможно в установленные сроки в заданном объеме. При этом под «цепью поставок подразумевается три или более экономические единицы (организации или лица), напрямую участвующие во внешних и внутренних потоках продукции, услуг, финансов и/или информации от источника до потребителя» [2].

Управление цепями поставок строительного комплекса ставит своей целью: снижение затрат на всех стадиях управленческого процесса, получение максимальной доли прибыли при минимальных затратах отдельных звеньев и общей цепи, что в конечном итоге приводит к оптимизации потоковых процессов. Так как на настоящий момент в экономической литературе отсутствует единство мнений в определении понятия и сущности цепей поставок, нет определения для цепей поставок строительного комплекса и строительной отрас-

ли, не определен их состав и структура, часто понятия «цепь поставок» и «логистическая цепь» рассматриваются как однородные.

С целью уточнения определения понятия «цепь поставок для строительного комплекса», его состава и структуры рассмотрим подходы к понятиям «цепь поставок» и «логистическая цепь» разных авторов (Таблица 1).

Таблица 1 – Подходы к определению понятий «цепь поставок» и «логистическая цепь» в различных источниках

Источник	Определение
Дж. Ментцер	Цепь поставок – это сеть автономных организаций (поставщиков, изготовителей, оптовых и розничных торговых организаций), через которую материалы и комплектующие изделия приобретаются, преобразовываются в готовые товары и доставляются конечным потребителям.
А. Н. Родникова	Линейно-упорядоченное множество участников логистического процесса, которое связывает потребителя с производителем и осуществляет логистические операции по доставке внешнего материального потока от одной логистической системы к другой в случае производственного потребления или до конечного потребителя в случае личного непроизводственного потребления.
В. В. Дыбская	Цель обеспечения, цепь создания стоимости продукта включает все ступени производства и сбыта от добычи сырья через производство до сбыта потребителю.
APICS Dictionary	Глобальная сеть, используемая для доставки продукции или услуг от источников сырья и материалов до конечного потребителя посредством потоков информации, физического распределения и денежных средств.
La Londe and Masters	Некоторое количество компаний, которые продвигают материалы (готовую продукцию) вперед (к конечному покупателю).
Supply chain and Logistics Terms and Glossary	1. Начинается с добычи сырья и материалов и заканчивается использованием готовой продукции у конечного потребителя, соединяя вместе взаимодействующие компании. 2. Материальные и информационные обмены в логистическом процессе, простирающиеся от источников сырья до доставки готовой продукции конечному пользователю. Все поставщики, провайдеры услуг и потребители связаны в цепь поставок.
В. В. Щербаков, А. В. Парфенов	Это, прежде всего, совокупность организаций: поставщиков, производителей, потребителей и посредников, связанных между собой технологической цепочкой.
Ж. Р. Сток, Д. М. Ламберт	Скоординированные компании, которые предоставляют продукты или услуги на рынок.
Л. И. Лопатников, К. Стерлингов	Последовательность событий, включающих преобразования, движение или размещение, которые добавляют стоимость.
И. А. Еловой, И. А. Лебедева	Линейно-упорядоченное множество физических и/или юридических лиц (поставщика, посредников, перевозчиков, потребителя и др.), непосредственно участвовавших в доведении конкретной партии продукции до потребителя.
В. В. Дыбская, В. И. Сергеев	Множество звеньев логистической системы, упорядоченное по основному и/или сопутствующему потоку в соответствии с параметрами заказа конечного потребителя в пределах отдельной функциональной области логистики и логистического канала.

Примечание – Разработка авторов на основе [3; 4; 5]

Анализ определений рассматриваемых понятий позволяет сделать вывод о наличии двух подходов к определениям «цепь поставок» и «логистическая цепь»: процессного и объектного.

Цель поставок с точки зрения процессного подхода – это последовательность потоков и бизнес-процессов, которые происходят с различными звеньями цепи и трансформируются для удовлетворения требований поставщиков и заказчиков в сырье, материалах, работах и услугах. Цепь поставок с точки зрения объектного подхода – это система организаций, объединенная хозяйственными отношениями в процессе осуществления деятельности по созданию и реализации работ и услуг в заданных экономических условиях, представляющих ценность для заказчика или конечного потребителя.

С учетом проведенного выше теоретического исследования предлагается уточненное определение цепи поставок для строительного комплекса: цепь поставок в строительстве – это система связанных звеньев, взаимодействующих строительных организаций, интегрированных в направлении финансового потока от источников снабжения строительными материалами до конечного потребителя объекта строительства. Безусловно, основными в цепи поставок являются материальные потоки, но без своевременного и в полном объеме обеспеченного финансового потока договорные отношения будут ненадежными, что приведет к замедлению или остановке потока сырья и материалов, а также, возможно, всего производственного и строительного циклов от источников снабжения строительными материалами до конечного потребителя.

Звенья цепи поставок и их возможная структура, предлагаемая различными авторами, представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Структура звеньев цепи поставок организаций

Источник	Структура звеньев цепи
О. Маликов	Промышленные предприятия – изготовители материалов; промышленные предприятия – изготовители полуфабрикатов; промышленные предприятия – изготовители комплектующих изделий; промышленные предприятия – изготовители готовых товаров; оптовые торговые компании и др.
Т. В. Алесинская	Пункты поставки материалов, сырья и полуфабрикатов; пункты хранения продукции и сырья; пункты производства товаров; пункты распределения, включая отправку товаров со склада готовой продукции; пункты потребления готовой продукции.
В. И. Сергеев	1. Основные контрагенты цепи поставок: поставщики; производители; дистрибьюторы; покупатели. 2. Вспомогательные контрагенты цепи поставок: логистические посредники (узкопрофильные и комплексные); прочие посредники.
И. И. Полещук	Поставщики сырья; производители деталей; изготовители узлов; производители готовой продукции; распределительные центры; региональные склады; покупатели.

Примечание – Разработка авторов на основе [3; 4; 5]

Структура цепи поставок определяет ее состав; как правило, он включает поставщиков, производителей, потребителей, заказчиков, посредников и фокусную компанию, руководство которой определяет структуру цепи поставок. Для цепей поставок строительного комплекса фокусной компанией может выступать каждый из участников цепи: производитель строительных материалов и конструкций, подрядчик, генеральный подрядчик и т. д. Следовательно, все эти организации, выступая в роли фокусной компании, могут формировать свою цепь поставок, в том случае если руководство видит именно свою в качестве центральной и рассматривает потенциальных участников исходя из интересов своей компании. В данном слу-

чае каждая из перечисленных организаций является одновременно как фокусной компанией собственной сети поставок, так и одним из участников в другой.

В зависимости от положения поставщиков и потребителей по отношению к фокусной компании они могут быть представлены несколькими уровнями. Организации, непосредственно взаимодействующие с фокусной компанией, – поставщики и потребители первого уровня. Фокусной компанией для строительного комплекса могут быть генеральные подрядчики или генподрядные организации. Поставщики и потребители второго уровня – это поставщики поставщиков и потребители потребителей первого уровня и так далее вплоть до начального поставщика (поставщика сырья и ресурсов).

Опираясь на предложенные звенья цепи поставок и на исследование сущности цепей поставок, проведенные зарубежными и отечественными авторами [4], а также принимая во внимание особенности организаций строительного комплекса, можно выделить следующие звенья цепи поставок:

- 1) поставщики сырья, материалов и комплектующих;
- 2) производители строительных материалов, предприятия промышленности строительных материалов;
- 3) проектные организации;
- 4) подрядчики строительных работ;
- 5) генеральные подрядчики объекта строительства;
- 6) посредники;
- 7) заказчики;
- 8) покупатели, конечные потребители строительного объекта;
- 9) другие участники: банки, лизинговые компании.

Звенья цепи поставок для строительного комплекса в своем сочетании могут формировать цепи различной степени сложности. Существует несколько типов цепи поставок **по критерию сложности**: простые, расширенные, максимальные.

Первый тип. Простая цепь содержит следующие звенья: начальный поставщик, поставщик, фокусная компания (подрядчик, производитель), заказчик.

Второй тип. Расширенная цепь поставок включает поставщика и покупателя как 1-го, так и 2-го уровней, фокусную компанию (подрядчик, производитель), покупателем первого уровня выступает заказчик.

Третий тип. Максимальная цепь включает поставщиков строительных материалов, в том числе поставщиков сырья для производства строительных материалов и конструкций, фокусную компанию (генподрядчик, подрядчик, производитель), проектные организации, заказчика, а также прочих участников, включая логистических операторов.

Любая строительная организация, являясь фокусной, должна правильно выстраивать логистику, выбирая группу посредников, поставщиков, подрядчиков, которые задействованы в цепи от начального поставщика до конечного потребителя, и процесс управления цепями поставок, так как от эффективности управления зависит ее прибыль.

По критерию модели обеспечения в строительстве типы цепей поставок могут быть представлены следующим образом.

Первый тип цепей поставок в строительстве – это структуры с наиболее простой моделью логистики. В таких структурах проектирование логистических процессов и управление ими охватывают участки от продавцов сырья и материалов, которыми являются, зачастую, оптовые посредники, до строительных компаний. Поставки материалов могут осуществляться на приобъектные склады, на склады организаций, на конкретные строительные площадки.

В соответствии с данной моделью строительные организации контролируют отношения между поставщиком и строительным производством. Управление такой цепью поставок осуществляется стандартными методами, соответствующими моделям взаимоотношений между независимыми организациями.

Второй тип цепей поставок в строительстве – это расширенная цепь, в которой область управления цепями поставок увеличена и распространяется на участки от производителей строительных материалов до строительных объектов. Такой тип логистической цепи предполагает расширенные связи не только с посредниками, осуществляющими оптовую торговлю строительными материалами, но и с их производителями, которые организуют доставку материалов

на склады строительной организации, приобъектные склады или напрямую на строительные площадки.

Следовательно, указанные структуры, которые формируют расширенные цепи поставок, для отдельной группы строительных материалов могут организовывать логистическое обеспечение и по первому типу цепей поставок, когда проектирование и управление логистическими процессами охватывают участки от продавцов сырья и материалов до строительных компаний.

Такой тип цепей поставок характерен для структур, в составе которых нет предприятий, производящих строительные материалы и конструкции.

Третий тип цепей поставок в строительстве, как правило, характерен для структур, имеющих собственные производства строительных материалов и конструкций, а также являющихся интегрированными и заметно диверсифицированными. Такие организации формируют и контролируют максимальные по составу, структуре и связям цепи поставок, начинающиеся от поставщиков сырья и природных ресурсов.

Примером организации, имеющей максимальную цепь поставок, является государственное производственное проектно-строительное предприятие «Объединение Брестоблсельстрой», в составе которого находятся проектные организации, предприятия по производству строительных материалов и конструкций, организации, специализация которых позволяет осуществлять комплектацию объектов строительства всем необходимым (материалами, оборудованием, техникой), подрядные организации, выполняющие все виды строительных работ и услуг, подрядные организации с собственным автопарком и возможностью оказания транспортных услуг при строительстве объекта.

Рассмотренные модели цепей поставок представляют собой определенное количество связанных звеньев (элементов) и дают возможность рассматривать их как экономическую систему, состоящую из различных подсистем мезо- и макроуровня. Цепь поставок как экономическая система имеет структуру, которую определяют звенья и их состав, она обладает рядом характерных для нее свойств, таких как надежность, управляемость, гибкость и адаптивность. Эффективность такой системы зависит от надежности, которая оценивается не только своевременностью поставки материальных ресурсов, но и скоростью финансовых потоков, позволяющих в полной мере обеспечить поставку своевременно, в необходимом количестве, надлежащего качества и в необходимом объеме [5].

Заключение

Исследование различных подходов к управлению цепями поставок в строительстве и определению цепей поставок позволяет сделать вывод о наличии двух подходов к указанным определениям «цепь поставок» и «логистическая цепь»: процессного и объектного. Цепь поставок с точки зрения процессного подхода – это последовательность потоков и бизнес-процессов, которые происходят с различными звеньями цепи и трансформируются для удовлетворения требований поставщиков и заказчиков в сырье, материалах, работах и услугах. Цепь поставок с точки зрения объектного подхода – это система организаций, объединенная хозяйственными отношениями в процессе осуществления деятельности по созданию и реализации работ и услуг в заданных экономических условиях, представляющих ценность для заказчика или конечного потребителя.

С учетом проведенного теоретического исследования предложено уточненное определение понятия «цепь поставок в строительстве» для организаций строительного комплекса. Цепь поставок для организаций строительного комплекса – это система взаимодействующих организаций, интегрированных в направлении финансового потока от источников снабжения строительными материалами до конечного потребителя объекта строительства. Проведенная классификация на основе их функционала позволила определить состав цепей для строительного комплекса, выявить характерные свойства и сформировать требования к процессу управления цепями поставок.

Так как в современной ситуации одним из перспективных направлений развития экономики страны выступает строительный комплекс, эффективное управление цепями поставок строительного комплекса создаёт возможность для формирования оптимальных цепей поставок, позволяет повышать конкурентоспособность страны.

Список цитированных источников

1. Сергеев, В. И. Процессный подход к анализу цепей поставок в разрезе эволюции SCOR-модели / В. И. Сергеев // Интегрир. логистика. – 2011. – № 5. – С. 5–6.
2. Смирнова, Е. А. Управление цепями поставок: учеб. пособие / Е. А. Смирнова. – СПб. : Изд-во С.-Петерб. гос. экон. ун-та, 2018. – 74 с.
3. Мишкова, М. П. Управление финансовыми потоками как элемент антикризисного управления организацией / М. П. Мишкова, Э. Э. Ермакова // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 2, Гісторыя. Эканоміка. Права. – 2017. – № 1. – С. 95–100.
4. Мишкова, М. П. Методика оценки эффективности цепей поставок в строительстве / М. П. Мишкова // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. – 2020. – № 3. – С. 65–67.
5. Мишкова, М. П. Управление цепями поставок в строительстве и оценка их надежности на основе финансовой логистики: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / М. П. Мишкова. – Минск, 2021. – 216 с.

References

1. Sergeev, V. I. Process approach to the analysis of supply chains in the context of the evolution of the SCOR model / V. I. Sergeev // Integrir. logistics. - 2011. – No. 5. – pp. 5-6.
2. Smirnova, E. A. Supply chain Management: textbook. manual / E. A. Smirnova. – St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg State Economy. un-ta, 2018. – 74 p.
3. Mishkova, M. P. Financial flow management as an element of anti-crisis management of an organization / M. P. Mishkova, E. E. Ermakova // Spring. Brecs. un-ta. Ser. 2, History. Ekanomika. Rights. - 2017. – No. 1. – pp. 95-100.
4. Mishkova, M. P. Methodology for evaluating the effectiveness of supply chains in construction / M. P. Mishkova // Vestn. Brest State Technical University un-ta. - 2020. – No. 3. – pp. 65-67.
5. Mishkova, M. P. Supply chain management in construction and assessment of their reliability based on financial logistics: dis. ... candidate of Economic Sciences: 08.00.05 / M. P. Mishkova. – Minsk, 2021. – 216 p.

Материал поступил 23.01.2023, одобрен 15.04.2023, принят к публикации 17.04.2023

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФИНАНСИРОВАНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СПОРТИВНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Е. В. Скворода

К. э. н., доцент кафедры менеджмента спорта УО «Белорусский государственный университет» физической культуры, Минск, Беларусь, e-mail : grodno.es@gmail.com

Реферат

В статье на основе анализа автором результатов научных исследований белорусских ученых выявлены проблемы в финансовом обеспечении деятельности спортивных организаций и необходимость поиска дополнительных источников финансирования, помимо бюджетного финансирования и спонсорской помощи. Автором обобщены и предложены мероприятия по стимулированию предпринимательской деятельности спортивных организаций и повышению экономической эффективности их деятельности.

Ключевые слова: финансовое обеспечение, спортивные организации, физкультурно-спортивные сооружения, бюджетное финансирование, предпринимательская деятельность.

METHODOLOGICAL BASIS FOR FINANCING THE ACTIVITIES OF SPORTS ORGANIZATIONS IN THE REPUBLIC OF BELARUS

E. V. Skvoroda

Abstract

In the article, based on the author's analysis of the results of scientific research of Belarusian scientists, problems in the financial support of the activities of sports organizations and the need to find additional sources of funding, in addition to budget funding and sponsorship, are identified. The author summarizes and proposes measures to stimulate the entrepreneurial activity of sports organizations and increase the economic efficiency of their activities.

Keywords: financial support, sports organizations, physical culture and sports facilities, budget financing, entrepreneurial activity.

Введение

В течение последних двух десятилетий произошли серьезные изменения не только в белорусском обществе, но и в физкультурно-спортивной деятельности. Изменилась организационная структура сферы физической культуры и спорта. Произошли серьезные изменения в системе финансирования. Появились независимые национальные олимпийские комитеты, профессиональные спортсмены, команды, лиги и т. д. В условиях развития рыночных отношений вопрос финансирования является важнейшим для всех спортивных организаций, независимо от того, являются они коммерческими или некоммерческими субъектами.

Все это обуславливает необходимость проведения в Республике Беларусь научных исследований, направленных на создание системы финансирования спортивных организаций. В связи с вышеизложенным, представляется актуальным проведение теоретико-методологического анализа предложений по повышению финансовой эффективности деятельности спортивных организаций в Республике Беларусь. Это позволит усовершенствовать действующую систему их финансирования путем внедрения в практическую деятельность дополнительных источников. Немаловажным является детальное изучение уже имеющихся практических разработок, позволяющих привлекать дополнительные средства для осуществления эффективной деятельности спортивных организаций. Их применение будет способствовать разработке рекомендаций по развитию системы финансирования спортивных организаций в Республике Беларусь.

Основная часть. Финансирование деятельности спортивных организаций

Анализ научных публикаций свидетельствует о том, что многие белорусские ученые и специалисты предлагают по опыту развитых стран пересмотреть имеющиеся подходы к управлению сферой физической культуры и спорта в сторону усиления роли общественных спортивных организаций в экономической деятельности индустрии спорта. Они предлагают применение смешанной модели управления спортом, которая используется некоторыми европейскими странами. Особенность этой модели заключается в том, что она предполагает определенный баланс между подходами полного вмешательства

государства и предоставления свободы действий. На наш взгляд современной модели финансирования спорта в Республике Беларусь должно быть присуще активное участие государства в разработке важнейших направлений спортивной деятельности, в выделении бюджетных средств на формирование и развитие спортивной инфраструктуры, на подготовку спортсменов высокой квалификации, спортивного резерва, на стимулирование развития спортивного бизнеса.

Как известно, финансирование деятельности спортивных организаций осуществляется за счет следующих основных источников:

- бюджетное финансирование;
- спонсорская помощь;
- средства, полученные от осуществления предпринимательской деятельности (арендная плата, прокат спортивного оборудования и инвентаря, реализация билетов (абонементов), рекламная деятельность и др.).

Дополнительными источниками финансового обеспечения деятельности спортивных организаций могут быть средства, полученные от трансфертных сделок, от международных и иностранных спортивных организаций, кредиты и займы и др.

Спонсорская помощь и бюджетные средства не могут в полном объеме обеспечить деятельность спортивных организаций, так как направляются в основном на обеспечение учебно-тренировочного процесса. В то же время необходимы финансовые ресурсы для осуществления текущего ремонта физкультурно-спортивных сооружений, капитальных вложений (капитального ремонта, строительства и реконструкции) и иных направлений развития спортивной инфраструктуры. В данной связи особое значение приобретает осуществление эффективной предпринимательской деятельности и привлечение дополнительных источников финансирования деятельности спортивных организаций.

Как показывает анализ доступных литературных источников, в Республике Беларусь уже имеются исследования по этой проблеме. Прежде всего это касается финансирования профессиональных спортивных организаций, где учитываются интересы государства и спортивного бизнеса [1], [2], [3].

Следует отметить, что наиболее точная формулировка понятия финансирования спортивных организаций, на наш взгляд, дана белорусским ученым Н. О. Богаревич Обобщив взгляды зарубежных и

отечественных экономистов, ему предложено следующее определение: «финансирование спортивных организаций представляет собой совокупность мероприятий, связанную с привлечением в оборот спортивной организации финансовых ресурсов (в том числе самофинансирования), созданием резервов, обеспечивающих финансовую устойчивость, перераспределением и инвестированием данных средств не только для обеспечения стабильной работы спортивной организации и устойчивости ее финансового положения, но и адекватной страховой защиты спортсменов, сокращения количества рисков». Такой подход, по мнению автора, позволит структурировать финансовые ресурсы в зависимости от источников их формирования и направлений использования, что позволит обеспечить целостность и единство процесса финансирования спортивных организаций [1].

Результаты исследований, проведенных белорусскими учеными, позволили обеспечить разработку научно обоснованных методических подходов к оценке эффективности финансирования спортивных клубов по игровым видам спорта, которые будут учитывать не только спортивные достижения, но и их финансовые возможности. Так, в докторской диссертации С. Б. Репкина представлено научное обоснование и разработка стратегического развития системы управления игровыми видами спорта на базе экономической модели рыночного типа. Предлагаемая автором стратегия развития заключается:

- в институционализации и коммерциализации взрослого спорта как особой сферы привлечения частных инвестиций;
- преобразовании существующей практики бюджетного финансирования текущей деятельности профессиональных спортивных команд в их финансовое обеспечение в виде призовых выплат по результатам участия в спортивных соревнованиях;
- переходе молодых спортсменов во взрослые коммерческие спортивные организации только на возмездной и подконтрольной обществу основе;
- обеспечении направления полученных призовых на приобретение прав на спортсменов, подготовленных в государственных ДЮСШ [2].

Обозначенные стратегические направления, по мнению автора, обеспечат синергетический эффект государственного и частного финансового обеспечения на макро, мезо- и микроуровнях подготовки молодых спортсменов и организации соревнований в игровых видах спорта, с акцентом на полной окупаемости и самофинансировании как профессиональных спортивных клубов, так и ДЮСШ.

Результаты исследования, проведенного Н. О. Богаревич, могут быть использованы в прогнозировании финансирования спортивных организаций в Республике Беларусь. Ее разработки базируются на эконометрическом анализе структуры финансово-хозяйственной деятельности с учетом предполагаемой динамики развития экономической модели в перспективе. В своей диссертационной работе автор с целью оценки финансово-экономического обеспечения спортивной организации предлагает к использованию разработанные ею методики расчета фонда временно неиспользуемых ресурсов (ВНР) и агрегированного показателя финансовой устойчивости спортивной организации. Практическое применение методики расчета фонда ВНР, по мнению автора, позволит получать финансовое обеспечение с учетом сезонности определенного вида спорта без привлечения дополнительных источников финансирования. Также автор выявил, что достигнутые спортивные результаты являются важнейшим фактором, влияющим на эффективность хозяйственной деятельности спортивной организации [1].

Анализ деятельности спортивных организаций позволил белорусским ученым Д. А. Панкову и С. Б. Репкину выделить основные ее стадии: финансирование; снабжение; тренировочный процесс; собственно зрелище (игра, соревнование); реализация (продажа) соревнования как особого товара и вида услуг; формирование, распределение и перераспределение финансовых результатов. Это позволило обосновать кругооборот средств спортивной организации и структурировать основные стоимостные процессы в спорте:

- зрелище (цены на билеты для зрителей);
- игроки как объект купли-продажи, имеющих трансфертную стоимость;
- права на трансляцию зрелищ (игр, соревнований) средствами массовой информации;
- реклама, размещаемая на платной основе на спортивной форме, физкультурно-спортивных сооружениях [4], [5].

Однако в кругообороте средств спортивной организации недооценена значимость такого важного актива спортивной организации, как физкультурно-спортивные сооружения. Их деятельность характеризуется не только спортивной составляющей, но и экономической, которые неразрывно связаны между собой.

С одной стороны, основное назначение данных сооружений связано с развитием физкультурно-спортивного движения. Спортивная составляющая их деятельности заключается в подготовке спортсменов высокой квалификации и спортивного резерва, т. е. имеет социальный эффект, связанный с повышением имиджа страны на мировой спортивной арене, степени заинтересованности граждан в занятиях физической культурой и спортом, укреплением физического здоровья нации [6]. В данной связи финансирование их деятельности осуществляется в основном за счет бюджетных средств и спонсорской помощи.

Однако, с другой стороны, физкультурно-спортивные сооружения являются экономическими объектами, что подразумевает возможность их коммерческого использования спортивными организациями с целью извлечения прибыли. В свободное от учебно-тренировочных занятий время физкультурно-спортивные сооружения могут и должны использоваться для оказания платных услуг, учитывая тот факт, что перечень видов деятельности, которые позволяют данным объектам извлекать доход, достаточно широк и зависит от таких факторов, как стратегия развития, форма собственности, профиль деятельности, сегмент рынка спортивной организации, вид, категория, мощность сооружения и др.

Разработка и научное обоснование методик и научно-практических подходов к управлению физкультурно-спортивными сооружениями, финансовому обеспечению их деятельности, планированию объемов доходов от их использования будут способствовать повышению как социальной, так и экономической эффективности эксплуатации физкультурно-спортивных сооружений. Важнейшим остается вопрос готовности физкультурно-спортивных сооружений эффективно функционировать в условиях сокращения (отсутствия) бюджетного финансирования. В данной связи особый интерес вызывает исследование, проведенное белорусским ученым В. В. Карнейчик, в котором на основе анализа деятельности одиннадцати объектов спортивной инфраструктуры г. Минска и Минской области выявлены соотношения бюджетного финансирования и доходов от внебюджетной деятельности. Установлено, что в большинстве случаев в г. Минске доходы от внебюджетной деятельности превышают бюджетное финансирование деятельности спортивных объектов. В городах Минской области наблюдается иная ситуация: доходы от внебюджетной деятельности находятся в диапазоне 6–42 % от общего объема финансирования, что является достаточно низким показателем. Отсутствие квалифицированных работников, слабая маркетинговая деятельность, низкая платежеспособность населения приводят к тому, что существующие спортивные объекты в малых городах не используют в должной мере имеющийся потенциал [3], [7].

Заключение

Таким образом, в современных условиях важным направлением является повышение готовности спортивных организаций к осуществлению эффективной предпринимательской деятельности с значительным сокращением бюджетного финансирования. Возникает необходимость в разработке со стороны органов государственной власти определенных мероприятий, направленных на стимулирование предпринимательской деятельности спортивных организаций, а также в разработке спортивными организациями планов развития, обеспечивающих рост удельного веса средств, полученных от предпринимательской деятельности в их общем объеме. Наиболее подходящим решением, которое позволит заведомо снизить социальный груз расходов бюджетных средств, является активное использование физкультурно-спортивных сооружений в предпринимательской деятельности спортивных организаций с сохранением в их деятельности социальной составляющей. На сегодняшний день бюджетное финансирование деятельности физкультурно-спортивных сооружений не увязано с ее результатами, и, как правило, базируется на использовании нормативного метода, в основе которого лежит потребность в покрытии текущих эксплуатационных расходов, затрат

на расширение материально-технической базы, осуществления капитального ремонта, оплаты труда сотрудников. Необходимо четкое понимание того, что в основе способности физкультурно-спортивных сооружений функционировать без привлечения бюджетных средств лежит экономическая эффективность их деятельности.

Список цитированных источников

1. Богаревич, Н. О. Финансирование деятельности спортивных организаций в условиях формирования современной модели национального спорта: автореф. дисс. ... канд. экон. наук: 08.00.10 / Н. О. Богатырева; БГЭУ. – Минск, 2017. – 25 с.
2. Репкин, С. Б. Экономика игровых видов спорта в Республики Беларусь: стратегия развития и организационно-методический инструментарий ее реализации: автореф. дисс. ... докт. экон. наук: 08.00.05 / С. Б. Репкин; БГЭУ. – Минск, 2017. – 47 с.
3. Карнейчик, В. В. Методическое обеспечение оценки социально-экономической эффективности функционирования объектов спортивной инфраструктуры: автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / В. В. Карнейчик; Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2019. – 23 с.
4. Панков, Д. А. Экономика спортивных организаций : учеб.-метод. пособие. / Д. А. Панков, С. Б. Репкин. – Минск : БГАТУ, 2014. – 208 с.
5. Панков, Д. А. Финансовый анализ и планирование деятельности спортивной организации: учеб. пособие / Д. А. Панков, С. Б. Репкин. – М. : Новое знание, 2005. – 208 с.
6. Лавриненко, А. Р. Экономический анализ физкультурно-спортивных сооружений: проблемы и направления развития / А. Р. Лавриненко // Вестник полоцкого государственного университета. Серия Д. Экономические и юридические науки. Бухгалтерский учет. – № 6. – 2012. – С. 63–71.
7. Голубова, О. С. Методическое обеспечение оценки социально-экономической эффективности функционирования объектов спортивной инфраструктуры / О. С. Голубова, В. В. Карнейчик. – Минск : БНТУ, 2022. – 257 с.

References

1. Bogarevich, N. O. Finansirovanie deyatel'nosti sportivnykh organizacij v usloviyah formirovaniya sovremennoj modeli nacional'nogo sporta: avtoref. diss. ... kand. ekon. nauk: 08.00.10 / N. O. Bogatyreva; BGEU. – Minsk, 2017. – 25 s.
2. Repkin, S. B. Ekonomika igrovyykh vidov sporta v Respubliki Belarus': strategiya razvitiya i organizacionno-metodicheskij instrumentarij ee realizacii: avtoref. diss. ... dokt. ekon. nauk: 08.00.05 / S. B. Repkin; BGEU. – Minsk, 2017. – 47 s.
3. Karnejchik, V. V. Metodicheskoe obespechenie ocenki social'no-ekonomicheskoy effektivnosti funkcionirovaniya ob'ektov sportivnoj infrastruktury: avtoref. dis. ... kand. ekon. nauk: 08.00.05 / V. V. Karnejchik; Belorusskij nacional'nyj tehnikeskij universitet. – Minsk, 2019. – 23 s.
4. Pankov, D. A. Ekonomika sportivnykh organizacij : ucheb.-metod. posobie. / D. A. Pankov, S. B. Repkin. – Minsk : BGATU, 2014. – 208 s.
5. Pankov, D. A. Finansovyy analiz i planirovanie deyatel'nosti sportivnoj organizacii: ucheb. posobie / D. A. Pankov, S. B. Repkin. – M. : Novoe znanie, 2005. – 208 s.
6. Lavrinenko, A. R. Ekonomicheskij analiz fizkul'turno-sportivnykh sooruzhenij: problemy i napravleniya razvitiya / A. R. Lavrinenko // Vestnik polockogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya D. Ekonomicheskie i yuridicheskie nauki. Buhgalterskij uchet. – № 6. – 2012. – S. 63–71.
7. Golubova, O. S. Metodicheskoe obespechenie ocenki social'no-ekonomicheskoy effektivnosti funkcionirovaniya ob'ektov sportivnoj infrastruktury / O. S. Golubova, V. V. Karnejchik. – Minsk : BNTU, 2022. – 257 s.

Материал поступил 02.05.2023, одобрен 03.05.2023, принят к публикации 03.05.2023

АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ И ПРОБЛЕМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НЕФТЯНЫХ НАУЧНЫХ ИНСТИТУТОВ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ РАЗВИТИЯ

О. Л. Симченко¹, К. С. Насонова²

¹ К. э. н., доцент кафедры «Промышленное и гражданское строительство» ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова», г. Ижевск, Россия, e-mail : simchenko.ol@yandex.ru

² Магистрант, студент кафедры «Промышленное и гражданское строительство» ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова», г. Ижевск, Россия, e-mail : kristina.pashkina.2000@mail.ru

Реферат

В современных условиях развития интерес к научной деятельности обусловлен ускоряющимися темпами технологических и рыночных изменений, которые привели к тому, что инновации и обучение становятся все более важными для успеха бизнеса. Таким образом особую роль приобретают исследования совершенствования управления деятельностью научно-исследовательских и проектных институтов, обеспечивающих стабильное формирование передовых отраслей, формирующих преимущества и определяющих экономический рост национальной системы.

В данной статье, опираясь на статистические данные, проведен анализ текущего состояния нефтяных научных институтов на современном этапе развития в сравнении с зарубежными странами, а также выявлены основные тенденции и проблемы функционирования. Предложены возможные способы их решения. В качестве методов стимулирования научной деятельности рассмотрены способы грантовой системы и венчурного капитала.

В заключение приведены основные выводы и предложены рекомендации.

Ключевые слова: научная организация, научно-исследовательские институты, финансирование, инновации, система грантов, венчурный капитал.

ANALYSIS OF THE CURRENT STATE AND PROBLEMS OF FUNCTIONING OF OIL RESEARCH INSTITUTES AT THE PRESENT STAGE OF DEVELOPMENT

O. L. Simchenko, K. S. Nasonova

Abstract

In modern conditions of development, interest in scientific activity is due to the accelerating pace of technological and market changes, which have led to the fact that innovation and training are becoming increasingly important for business success. Thus, a special role is being played by studies of improving the management of research and design institutes that ensure the stable formation of advanced industries that form advantages and determine the economic growth of the national system.

This article, based on statistical data, analyzes the current state of oil research institutes at the present stage of development in comparison with foreign countries, and also identifies the main trends and problems of functioning. Possible ways of their solution are proposed. The methods of the grant system and venture capital are considered as methods of stimulating scientific activity.

In conclusion, the main conclusions are presented and recommendations are proposed.

Keywords: scientific organization, research institutes, financing, innovation, grant system, venture capital.

Введение

В настоящее время в мире сложилась уникальная стратегическая и экономическая ситуация, связанная с нестабильным внешнеполитическим состоянием. В связи с этим вводятся санкционные ограничения в отношении России, что приводит к постоянным изменениям структуры мировой экономики и нестабильному состоянию рынка.

Нефтяная промышленность в Российской Федерации стремительно растет и занимает важное место в развитии экономики страны. Данная отрасль является ведущей, и на ее основе функционируют многие другие передовые отрасли [1].

На сегодняшний день стабильность формирования нефтяной и других передовых отраслей Российской Федерации зависит от результатов научно-исследовательской и проектной деятельности отраслевых организаций.

В частности, в развитии системы функционирования нефтяных научно-исследовательских институтов возникают проблемы недостаточного финансирования, старения педагогических кадров с учеными степенями кандидата и доктора наук, снижением количества защищаемых диссертаций, их качества, несовершенства нормативно-правовой системы научной деятельности в целом.

Целью настоящей работы является анализ текущего состояния и проблем функционирования нефтяных научных институтов на современном этапе развития.

Основные задачи работы:

1) определить сущность нефтяных научных институтов;

- 2) произвести анализ и определить проблемы функционирования нефтяных научных институтов на современном этапе развития;
- 3) предложить возможные способы решения проблем.

Основная часть. Сущность научно-исследовательских институтов, основные проблемы функционирования

Согласно ст. 5 Федерального закона от 23.08.1996 N 127-ФЗ (ред. от 07.10.2022) «О науке и государственной научно-технической политике», научными организациями признаются юридические лица независимо от организационно-правовой формы и формы собственности, общественное объединение научных работников, осуществляющие в качестве основной деятельности научную и (или) научно-техническую деятельность [2]. К данным организациям также относятся и научно-исследовательские институты (далее НИИ), созданные для организации и проведения теоретических или прикладных исследований и разработок в определенных областях науки и техники (информационных технологиях, нефтегазовой отрасли, экономике, экологии, социологии и т. д.).

Деятельность НИИ направлена на проведение научных исследований, а также на выполнение опытно-конструкторской и технологической работы, заключающейся в создании новых образцов или технологий и соответствующей документации к ним.

В экономически развитых странах особое внимание уделяется научно-исследовательской деятельности: в то время, как национальные нефтяные компании полагаются на владение запасами с низкой себестоимостью в качестве основы для своего дальнейшего

превосходства в добыче нефти и газа, крупные компании полагаются на свои передовые технологии, системы управления, инновации и возможности обучения для получения конкурентного преимущества [3, 4]. Такой подход к научным исследованиям крупных компаний позволяет получать новые знания, что приводит к повышению стоимости конечных продуктов.

В развитых странах Запада разработаны системы организации и финансирования фундаментальных и прикладных научных исследований в нефтегазовой промышленности. При различных подходах компаний к организации управления научно-исследовательской деятельности существует общая черта – активное участие и финансирование государства.

В России финансирование от государства очень мало, поэтому большое количество отечественных научно-исследовательских и проектно-изыскательских работ в нефтегазовой промышленности выполнялись и выполняются за счет средств частных компаний. Создаются дочерние общества для осуществления данной деятельности и финансирование происходит за счет средств материнской компании. Таким образом, одним из показателей развития научных институтов является их финансирование.

Так, по данным Организации экономического сотрудничества и развития (далее – ОЭСР), представленным в таблице 1, можно сделать вывод, что Россия в малой степени занимается поддержкой научно-исследовательской деятельности.

Существенных изменений темпов роста за последние шесть лет не наблюдается, в сравнении, например, с Кореей, которая увеличила затраты на исследования на 25 % от показателя 2016 года. А в сравнении со странами участниками ОЭСР доля затрат научных исследований Российской Федерации – меньше почти в 2,5 раза. Подобные тенденции наблюдаются в результате финансирования крупными компаниями на обеспечение научных подразделений и оборудование их по последнему слову техники, создавая привлекательные условия для проведения исследований. В связи с этим подразделения активно вовлекают научный потенциал с высоким уровнем квалификации [5].

Таблица 1 – Доля затрат на научно-исследовательскую деятельность и разработки в % к ВВП, 2016–2021 гг.

№ п.п	Страна	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1	Россия	1,102	1,110	0,990	1,039	1,098	1,090
2	США	2,854	2,905	3,013	3,175	3,450	3,563
3	Китай	2,100	2,116	2,141	2,235	2,401	2,661
4	Япония	3,107	3,166	3,221	3,215	3,275	3,301
5	Корея	3,987	4,292	4,516	4,627	4,815	4,913
6	Канада	1,729	1,687	1,741	1,746	1,842	1,607
7	Германия	2,904	3,047	3,110	3,168	3,130	3,110
8	Италия	1,366	1,370	1,424	1,462	1,510	1,614
9	Финляндия	2,724	2,728	2,757	2,800	2,913	2,990
10	Страны ОЭСР	2,327	2,367	2,441	2,520	2,674	2,785

В отечественной практике схожие структуры созданы в некоторых крупных компаниях, таких как ПАО «Газпром», ПАО «Лукойл», ПАО «НК» Роснефть». Финансирование научно-исследовательской и проектной деятельности осуществляется за счет договоров с материнской компанией и с дочерними обществами.

В компании ПАО «НК» Роснефть» с начала 90-х годов создано дочернее общество – корпоративный научно-проектный комплекс (КНПК), основной функцией которого является научно-исследовательская деятельность. КНПК является основой компании для принятия научных и технических решений, начиная с изучения недр и заканчивая получением конечного продукта.

ПАО «НК» Роснефть», спустя столько лет функционирования, накопило уникальный опыт решения технологических проблем, связанных с разведкой и разработкой континентальных и шельфовых нефтяных месторождений, причем в совершенно разных географических поясах и климатических зонах.

Еще одна крупная нефтяная компания, создавшая научно-инженерный центр (НИЦ НК «Лукойл»), – это ПАО «Лукойл». НИЦ НК «Лукойл» включает в себя несколько региональных научно-

исследовательских и проектных институтов, а также научно-производственных центров. Научно-инженерный центр является базовым для решения научно-технических проблем, охватывающих практически все сферы деятельности компании.

Компания ПАО «Лукойл», также как и ПАО «НК» Роснефть», привлекают высококвалифицированных специалистов для осуществления научно-исследовательских работ, проведения их экспертизы, а также разработка решений по научно-технической проблематике для компании.

С огромной проблемой потери знаний квалифицированного персонала столкнулись в период с 2000 по 2010 год. Общество нефтяных инженеров (SPE) подсчитали, что 231 000 лет накопленного опыта и знаний могли бы быть потеряны для отрасли в ближайшие 10 лет из-за выхода на пенсию инженеров и другого технического персонала. Избежать данную проблему помогли программы управления знаниями, которые предлагают средство ограничения потенциально разрушительных последствий постоянной потери знаний в связи с выходом на пенсию и сокращением штата.

Следовательно, еще одним важным показателем функционирования научно-исследовательских институтов является количество научных исследователей [6,7], поскольку именно научный потенциал с высоким уровнем квалификации играет важную роль в формировании нового знания. Данные по количеству исследователей представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Количество исследователей на 1000 занятых, 2016–2021 гг.

№ п.п	Страна	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1	Россия	5,924	5,678	5,594	5,570	5,626	5,674
2	США	8,941	9,224	9,836	9,109	–	–
3	Китай	2,219	2,228	2,462	2,796	3,039	3,215
4	Япония	10,063	10,119	9,972	9,937	10,100	10,161
5	Корея	13,681	14,335	15,225	15,879	16,605	–
6	Канада	8,688	8,688	9,218	9,428	–	–
7	Германия	9,152	9,480	9,666	9,933	10,040	–
8	Италия	5,381	5,584	6,003	6,306	6,286	–
9	Финляндия	14,164	14,461	14,429	14,951	15,890	–
10	Страны ОЭСР	8,347	8,590	8,914	9,109	–	–

Из данных, представленных в таблице 2, можно сделать вывод о том, что в период с 2016 по 2019 годы численность исследователей России существенно сокращалась, а с 2020 года наметился ее небольшой рост.

Такие изменения могут быть связаны с поддержанием уровня занятых в исследованиях и разработках, а также нестабильной внешнеполитической ситуацией, когда большое количество средств и потенциалов специалистов уходит на решение подобного рода проблем.

Аналогичную картину приводит Росстат (таблица 3): с 2016 года число исследователей снижается, но уже с 2019 года начинает возрастать и практически достигает значения 2016 года [8].

Таблица 3 – Количество исследователей России, 2016–2021 гг.

№	Страна	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1	Исследователи	85 979	79 980	78 661	79 270	80 996	84 364
2	С ученой степенью	45 958	43 206	42 106	41 862	41 716	40 974
	В том числе:						
3	Доктора наук	12 083	11 503	11 302	10 992	10 757	10 475
4	Кандидаты наук	33 087	31 703	30 804	30 870	30 959	30 499

Также свидетельствовать о состоянии функционирования НИИ может количество зарегистрированных патентов. Статистику разработки и регистрации новых знаний и технологий России публикует Росстат и Роспатент. Так, по данным Росстата, за последние 5 лет число НИИ снизилось с 1673 до 1627 организаций. Статистика Роспатента показала, что за 2021 год было подано 30 977 заявок на патент, что составляет 88,55 % к 2020 году. Следовательно, Роспа-

тент также свидетельствует о снижении разработки и регистрации новых знаний и технологий.

Таким образом, можно сделать вывод, что на сегодняшний день в России сложилась достаточно сложная ситуация, в результате которой наблюдаются отрицательные тенденции развития научно-исследовательской и проектной деятельности из-за сокращения финансирования. Сокращается число исследователей и разработка передовых технологий. В связи с чем требуются новые источники финансирования для осуществления стимулирования научных и научно-педагогических кадров.

Анализ результатов

Определив основные проблемы функционирования НИИ, можно предложить несколько способов их решения: традиционный способ и способ создания и развития механизмов трансформации. Приведем сравнение традиционного метода, заключающегося в финансировании научных проектов через грантовую систему и способа создания и развития механизмов трансформации, инструментом которого является венчурный капитал (таблица 4).

Таблица 4 – Сравнение методов финансирования научных исследований

Традиционный способ	Венчурный капитал
Возможность контроля эффективности научных исследований	Курирование проектов, находящихся на ранних стадиях пути
Выгодные условия финансирования проекта для победителя конкурса	Высокий риск потери вложенных средств в реализацию проекта
Нет необходимости отдавать долю в проекте	Долевое и долгое финансирование
Проще получить грант, чем выстраивать и привлекать команду для реализации проекта, что ослабляет собственника проекта	Финансирование возможно на любой стадии реализации инновационного проекта

Традиционный способ финансирования науки заключается в выборе на основе конкурса участника, сумевшего показать свои умения и перспективы развития в рамках финансируемого направления. По итогам конкурса победителю предоставляется грант от организации (частной или государственной), объявившей конкурс.

В качестве грантовых сегодня признаются денежные и иные средства, передаваемые безвозмездно и безвозвратно гражданами и юридическими лицами, в том числе иностранными гражданами и иностранными юридическими лицами, а также международными организациями, получившими право на предоставление грантов на территории Российской Федерации в установленном Правительством Российской Федерации порядке, на осуществление конкретных научных, научно-технических программ и проектов, инновационных проектов, проведение конкретных научных исследований на условиях, предусмотренных грантодателями [9].

Гранты широко распространены в странах Европы и США, а также приобрели актуальность в России. Наблюдается существенная разница между Россией, странами Запада и странами Востока, проявляющаяся в том, что зарубежные университеты часто оказываются более сильными в научном отношении, чем даже специализированные институты, напрямую не занятые учебной работой [10].

Венчурный капитал

Одним из способов решения проблем низкого финансирования может служить создание и развитие механизмов трансформации, которые будут преобразовывать преимущества страны (высокий уровень образования и огромный потенциальный рынок сбыта) в инновационный продукт за счёт заинтересованности предпринимательского сектора. Таким инструментом может стать венчурный капитал.

Венчурное капитал – это финансовые долевыми и долговыми ресурсы в общественном воспроизводстве, которые стимулируют развитие инновационной деятельности, характерными атрибутами которой является высокий риск и неопределенность, а также сверхвысокая доходность вложенных средств в новые или развивающиеся

компании [11]. Другими словами, венчурный капитал – ресурсы, предоставляемые инвесторами в молодые, развивающиеся и перспективные проекты или организации, обладающие потенциалом, для стимуляции развития инновационной деятельности. Характерной чертой являются высокие риски потери капитала и неопределенность развития проекта [12,13].

Появление и развитие венчурного капитала началось в США, а позже дошло и до стран Запада, Востока и России.

В России уже существует и функционирует компания, деятельность которой направлена на развитие венчурного финансирования. Также достаточно большое число инвесторов, готовых вкладываться в перспективные проекты и организации, что является хорошей основой стимуляции научных исследователей.

Заключение

Таким образом, в процессе анализа текущего состояния нефтяных научных институтов были выявлены основные проблемы их функционирования, заключающиеся в низком финансировании, в результате которого сокращается и число научных исследований, исследований и прочее.

Одним из важных решений данных проблем может стать использование венчурного капитала, а также грантовая система, которые могут привлечь необходимое финансовое обеспечение и научный потенциал.

Также необходимо поддерживать функционирование сформировавшейся национальной инновационной системы государства. Ведь именно государство создает эффективную информационную среду, стимулирующую субъекты к инвестиционной деятельности в отраслевые научно-исследовательские организации и научные подразделения, в которых сконцентрирован огромный потенциал нефтяной и других передовых отраслей.

Список цитированных источников

1. Тарануха, Н. Л. Современные тенденции в развитии механизмов управления строительной отрасли / Н. Л. Тарануха, А. В. Семенов, Р. Т. Валиев // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2010. – № 2 (46). – 49–50 с.
2. О науке и государственной научно-технической политике : Федеральный закон от 23 августа 1996 г. №127 – ФЗ // СЗ РФ от 26 августа 1996 г. № 35. – 4137 с.
3. Криворотов, В. В. Критериальный отбор инноваций в целях повышения конкурентоспособности предприятия / В. В. Криворотов, О. В. Мезенцева // Организатор производства. – 2005. – № 3 (26). – 49–62 с.
4. Ершова, И. В. Комплексный подход к использованию проектного управления на диверсифицированном предприятии / И. В. Ершова, О. О. Подольяк // Вестник Южно-Уральского государственного университета. – 2008. – № 14 (114) : Экономика и менеджмент. – 56–60 с.
5. Тарануха, Н. Л. Проблемы совершенствования подготовки кадров для строительства в условиях многоуровневой системы образования / Н. Л. Тарануха, Ю. Г. Кислякова // Проблемы и достижения строительного комплекса : труды Международной научно-технической конференции "Стройкомплекс-2008". – Ижевск : Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова, 2008. – 76–80 с.
6. Симченко, О. Л. Мониторинг системы типового проектирования компании / О. Л. Симченко [и др.] // Вестник Челябинского Государственного университета. – 2020. – № 6 (440). – 127–133 с.
7. Романова, О. А. Теоретико-методологические проблемы формирования институциональной матрицы научно-технологического развития региона / О. А. Романова [и др.] // Экономика региона. – 2015. – №1 (1). – 100–113 с.
8. Наука, инновации и технологии [Электронный ресурс] // Росстат. – Режим доступа : <https://rosstat.gov.ru/statistics/science>. – Дата обращения: 05.10.2022.
9. Дежина, И. Г. Оценка мер государственной политики России в области науки / И. Г. Дежина // ЭКО. 2012. – № 2. – 108–120 с.
10. Исследователи [Электронный ресурс] // Данные ОЭСР. – Режим доступа : <https://data.oecd.org/rd/researchers.htm#indicator-chart>. – Дата обращения: 25.10.2022.

11. Привлечение капитала : пер. с англ. / Гарнер Даниел Роберт Оуэн Конвей. – М. : «Джон Уайли энд Санэ», 1995. – 464 с.
12. Дунаева, К. В. Анализ проблем организации совместной работы в проектных компаниях Удмуртии / К. В. Дунаева, Н. М. Якушев // Выставка инноваций – 2022 (весенняя сессия) : Сборник материалов XXXIII Республиканской выставки-сессии студенческих инновационных проектов. – Ижевск : Издательство УИР ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2022. – 118–125 с.
13. Симченко, О. Л. Совершенствование управления инвестиционным портфелем предприятий нефтегазового комплекса / О. Л. Симченко, А. Д. Семенова, Е. Л. Чазов // "Фотинские чтения – 2021" (осеннее собрание) Сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции, приуроченной к 70-летию ИМИ – ИжГТУ. – Ижевск : Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова, 2022. – 216–221 с.
6. Simchenko, O. L. Monitoring sistemy tipovogo proektirovaniya kompanii / O. L. Simchenko [i dr.] // Vestnik CHelyabinskogo Gosudarstvennogo universiteta. – 2020. – № 6 (440). – 127–133 s.
7. Romanova, O. A. Teoretiko-metodologicheskie problemy formirovaniya institucional'noj matricy nauchno- tekhnologicheskogo razvitiya regiona / O. A. Romanova [i dr.] // Ekonomika regiona. – 2005. – №1 (1). – 100–113 s.
8. Nauka, innovacii i tekhnologii [Elektronnyj resurs] // Rosstat. – Rezhim dostupa : <https://rosstat.gov.ru/statistics/science>. – Data obrashcheniya: 05.10.2022.
9. Dezhina, I. G. Ocenka mer gosudarstvennoj politiki Rossii v oblasti nauki / I. G. Dezhina // EKO. 2012. – № 2. – 108–120 s.
10. Issledovateli [Elektronnyj resurs] // Dannye OESR. – Rezhim dostupa : <https://data.oecd.org/rd/researchers.htm#indicator-chart>. – Data obrashcheniya: 25.10.2022.

References

1. Taranuha, N. L. Sovremennye tendencii v razvitii mekhanizmov upravleniya stroitel'noj otrasli / N. L. Taranuha, A. V. Semenov, R. T. Valiev // Vestnik Izhevskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2010. – № 2 (46). – 49–50 s.
2. O nauke i gosudarstvennoj nauchno-tekhnicheskoy politike : Federal'nyj zakon ot 23 avgusta 1996 g. №127 – F3 // S3 RF ot 26 avgusta 1996 g. № 35. – 4137 s.
3. Krivorotov, V. V. Kriterial'nyj otbor innovacij v celyah povysheniya konkurentosposobnosti predpriyatiya / V. V. Krivorotov, O. V. Mezencheva // Organizator proizvodstva. – 2005. – № 3 (26). – 49–62 s.
4. Ershova, I. V. Kompleksnyj podhod k ispol'zovaniyu proektnogo upravleniya na diversificirovannom predpriyatii / I. V. Ershova, O. O. Podolyak // Vestnik YUzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. – 2008. – № 14 (114) : Ekonomika i menedzhment. – 56–60 s.
5. Taranuha, N. L. Problemy sovershenstvovaniya podgotovki kadrov dlya stroitel'stva v usloviyah mnogourovnevoj sistemy obrazovaniya / N. L. Taranuha, YU. G. Kislyakova // Problemy i dostizheniya stroitel'nogo kompleksa : trudy Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii "Strojkompleks-2008". – Izhevsk : Izhevskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet imeni M. T. Kalashnikova, 2008. – 76–80 s.
11. Privlechenie kapitala : per. s angl. / Garner Daniel Robert Ouen Konvej. – M. : «Dzhon Uajli end Sane», 1995. – 464 s.
12. Dunaeva, K. V. Analiz problem organizacii sovmestnoj raboty v proektnyh kompaniyah Udmurtii / K. V. Dunaeva, N. M. Yakushev // Vystavka innovacij – 2022 (vesenniyaya sessiya) : Sbornik materialov XXXIII Respublikanskoj vystavki-sessii studentcheskih innovacionnyh proektov. – Izhevsk : Izdatel'stvo UIR IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova, 2022. – 118–125 s.
13. Simchenko, O. L. Sovershenstvovanie upravleniya investicionnym portfelem predpriyatij neftegazovogo kompleksa / O. L. Simchenko, A. D. Semenova, E. L. CHazov // "Fotinskie chteniya – 2021" (osennee sobranie) Sbornik materialov VIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, priurochennoj k 70-letiyu IMI – IzhGTU. – Izhevsk : Izhevskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet imeni M. T. Kalashnikova, 2022. – 216–221 s.

Материал поступил 20.02.2023, одобрен 05.03.2023, принят к публикации 29.03.2023

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ РЕГИОНА

Н. Н. Флячинская

Аспирант кафедры менеджмента УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: nataliyafly17@gmail.com

Реферат

Предложены методические подходы к оценке конкурентоспособности региона по семи направлениям. Изложены некоторые методические подходы к оценке конкурентоспособности региона как отечественных, так и зарубежных авторов, соответствующие направлениям исследования.

Ключевые слова: конкурентоспособность, регион, методика, оценка конкурентоспособности, показатель.

STUDY OF METHODOLOGICAL APPROACHES TO ASSESSING THE COMPETITIVENESS OF A REGION

N. N. Flyachinskaya

Abstract

Methodological approaches to the assessment of regional competitiveness in seven areas are proposed. Some methodological approaches to the assessment of regional competitiveness by both domestic and foreign authors, corresponding to the areas of research, are outlined.

Keywords: competitiveness, region, methodology, competitiveness assessment, indicator.

Введение

На современном этапе формирования полноценной территориальной политики с ее особенностями и отличиями государственного или международного уровней возникает потребность в расширении теоретико-методологических подходов к определению системы показателей и их практического применения. Поэтому необходимо на основе теоретических исследований по вопросу управления конкурентоспособностью на региональном уровне и соответствующих основных составляющих сформировать систему показателей оценки конкурентоспособности региона. Система показателей является основным элементом управления, поскольку она формирует основные критерии достижения необходимых региональных результатов. Адекватное количество экономических показателей призвано не только осуществить анализ деятельности на уровне региона, но и должно служить инструментом принятия эффективных управленческих решений для повышения конкурентоспособности региона, рационального использования ресурсов, генерирования их на конкурентные преимущества региона и разработку управленческих решений по повышению уровня конкурентоспособности региона в разный период времени.

Подходы к оценке конкурентоспособности региона

В литературных источниках рассматривается довольно много подходов к оценке конкурентоспособности региона на основе определенных показателей, но практически не рассматриваются показатели, которые в полной мере характеризуют инновационную деятельность региона. Анализ литературных источников по данной проблематике позволяет осуществить группировку точек зрения ученых относительно подходов к оценке конкурентоспособности региона по следующим направлениям:

1. Выделение ключевого фактора, который существенно влияет на уровень конкурентоспособности региона. К таким факторам относятся: валовой региональный продукт, капитал, ресурсный потенциал, информационные и управленческие технологии, квалификация персонала, рыночная инфраструктура и т. п.

2. Определение качества жизни населения или трудового потенциала региона, как свидетельство соответствующего состояния региональной конкурентоспособности.

3. Группировка экономических показателей в систему, которая бы сводилась в интегральный индекс конкурентоспособности региона.

4. Исследование конкурентной среды региона в целом и конкурентного потенциала региона.

5. Наличие кластеров и их функционирование используется как основа для определения конкурентоспособности региона.

6. Использование современных программ целевого назначения, таких как, метод стратегического планирования или SWOT, PEST-анализ.

7. Использование государственных методик социально-экономического развития региона, как основы для определения уровня региональной конкурентоспособности.

К первой группе относим ученого В. Безуглую, которая считает, что одним из основных показателей формирования конкурентоспособности является валовая добавленная стоимость, созданная в регионе в расчете на одного человека [1].

Валовая добавленная стоимость является индикатором уровня развития экономики, в том числе и региона, а мониторинг величины его изменений за определенный период времени дает представление о темпах и типе экономического роста регионов на соответствующем уровне конкурентоспособности. Однако, на наш взгляд, хорошо продуманная, иерархически организованная и адаптированная к современным потребностям регионального развития система показателей способна более точно и детально определить уровень конкурентоспособности того или иного региона страны.

Конкурентоспособность региона определяется также на основе результативности его составных элементов в управлении регионом, то есть в выполнении своих функций обеспечения социально-экономического развития населения, деловым сообществом с органами управления. Д. Сепик отмечает, что мерилем конкурентоспособности общества в ЕС является валовой региональный продукт на душу населения [2]. А Л. Шеховцева замечает: «в основу оценки конкурентоспособности региона можно положить продуктивность использования региональных ресурсов и, в первую очередь, рабочей силы и капитала, которые в обобщенном виде измеряются объемом ВРП на душу населения» [3]. Данные авторы относятся к группе ученых, которые определяют родство конкурентоспособности с уровнем жизни/доходами и отвергают условие значения факторов, имеющих влияние на него.

Вторая группа современных ученых, занимающихся изучением вопроса анализа конкурентоспособности региона, закладывает в основу оценки уровня конкурентоспособности региона такие признаки, как качество жизни людей и валовую добавленную стоимость.

Итальянский исследователь И. Бегг считает, что индикаторами конкурентоспособности региона является производительность и

занятость, а качество жизни местного населения – ее неотъемлемая характеристика [4]. По мнению Бега, основными факторами конкурентоспособности регионов являются изменение доли секторов экономической деятельности в регионе и макровлияние государственной экономики на регион, эффективность локальных компаний, бизнес-среда и способность к инновациям региональных субъектов хозяйствования.

Так, автор В. Артеменко сосредотачивает внимание на оценке качества жизни людей, влиянии человеческой деятельности на состояние окружающей среды и здоровья людей как основного индикатора устойчивого развития региона и его конкурентоспособности [5]. Внимание сосредотачивается на определении системы критериев-индикаторов и статистических показателей, которые обеспечивают измерение качества жизни населения в самом широком его понимании и на потребности в оценке устойчивости социально-экономического развития регионов. Сосредоточивая внимание на синтетических компонентах категории «качество жизни», которые образуют систему обеспечения жизнедеятельности населения регионов, автор считает, что они являются ключевыми для уровня конкурентоспособности региона. Однако они зависят, прежде всего, от принятой национальной экономической политики и в меньшей степени подлежат влиянию управления на региональном уровне.

К категории «качество жизни» автор относит следующие показатели:

- качество населения, что отражается в выражении ожидаемой продолжительности жизни, естественное движение населения (рождаемость и смертность), браки, разводы, уровень интеллекта населения, демографические показатели, и т. п.;

- благосостояние (уровень жизни) населения, отражающий степень удовлетворения материальными и духовными благами, удовлетворение потребностей населения (реальные доходы и расходы, их дифференциация, уровень потребления товаров и услуг, уровень здравоохранения, уровень удовлетворенности образованием, культура и т. п.);

- качество социальной сферы (или социальная безопасность), которая соответствует уровню условий труда населения, его занятости, социальной защиты, уровне возможностей профсоюзов, вопросы физической и имущественной безопасности населения, уровень коррупции и т. п.;

- качество окружающей среды, что открывает информацию о загрязнении воздушного бассейна, водных ресурсов, земель и т. п.;

- качество финансового обеспечения, которое отражается в доходной и расходной части местных бюджетов, официальные трансферты от органов государственного управления, государственные закупки и т. п.

Ученый В. Артеменко за основу методики взял качественную оценку, с помощью которой определяются весовые коэффициенты, характеризующие качество жизни населения.

Некоторые авторы предпочитают формирование системы разноплановых показателей, возводимых в интегральный индекс конкурентоспособности региона.

Например, экономист И. Е. Журба считает, что наиболее объективным комплексным показателем, объединяющим конкурентоспособность товара, производителя, конкурентоспособность отрасли, является показатель региональной конкурентоспособности, который позволяет характеризовать положение региона на национальном, а страны – на мировом рынке. Он отмечает, что [6]:

- формирование системы нескольких показателей, комплексно отражающих конкурентные преимущества региона, объединенных в общий итоговый показатель конкурентоспособности посредством ранжирования и экспертных оценок;

- выбор основных показателей конкурентоспособности (качество и цена продукции, инвестиционная привлекательность и уровень жизни населения) и расчет комплексного показателя на основе их логического сочетания по характеру влияния на конкурентоспособность;

- выделение характерных позиций регионов в зависимости от их положения в матрицах оценки по показателям, характерным для конкурентоспособности [6].

И. Е. Журба опирается в своих исследованиях на экспертную оценку, которая является на наш взгляд субъективной и иногда предвзятой. Также есть вопросы к группировке спорных показателей,

например инвестиционной привлекательности региона. Они по нашему мнению должны были бы относиться к первой группе показателей, характеризующих наличие и эффективность использования ресурсов.

Ученые И. В. Лазарева и Н. В. Яблонская [7] рекомендуют для определения интегрального индикатора конкурентоспособности региона использовать двухуровневую систему показателей, в которую вошли 30 параметров, охватывающие такие региональные сферы и деятельности, как эффективность инвестиционной инфраструктуры; эффективность финансовой деятельности; эффективность социально-трудового развития; уровень политических, экономических, экологических и других рисков. Авторы в своих исследованиях предпочитают финансовые показатели деятельности региона, без должного внимания к производственной, технологической и другим. К категории рисков в регионе вошли такие показатели, как число экономических преступлений на территории региона – незаконная деятельность характеризует эффективность работы внутренних правоохранительных органов, чем управления, которые осуществляют органы власти.

Б. Горячук для оценки конкурентоспособности выделяет факторный и результативный концептуальные подходы [8], первый из которых предусматривает расчет интегрального показателя на основе множества факторов конкурентоспособности.

При этом во многих методах используется экспертная оценка с элементами субъективности. Согласно второму подходу, конкурентоспособность объекта определяется на основе результатов деятельности по достижению целей.

Множество используемых показателей конкурентоспособности должны быть репрезентативными, несложными для обработки, соответствовать национальной статистической системе. Чаще всего, как отмечает А. Шинкаренко и Е. Костенецкий, используются такие показатели, как уровень жизни населения, инвестиционная привлекательность, региональная эффективность и конкурентные преимущества [9, с. 338].

Также в данную группу входят большинство методик оценки конкурентоспособности регионов белорусских авторов.

В исследовании авторов В. Ливинской и С. Комаровой [10] предложен расчет конкурентоспособности регионов Смоленской, Брянской и Могилевской областей по социальным показателям с применением функции желательности Харрингтона. Это позволяет использовать в расчетах параметры с различными единицами измерения, путем преобразования натуральных единиц измерения в единую безразмерную шкалу желательности для получения сводного интегрального показателя конкурентоспособности регионов.

Методика составления и расчета индекса конкурентоспособности регионов автором А. Шашко [11] проводилась на основе исследования совокупности факторов. К первой группе факторов относятся показатели, отражающие существующие конкурентные преимущества в регионе. Вторая группа включает факторы роста конкурентных преимуществ региона в перспективе. В исследовании применяются элементы стандартной методики национальных рейтингов, представляющие собой способ агрегирования набора частных показателей (критериев), каждый из которых характеризует относительное положение региона по данному критерию, в общий показатель. Для регионов Беларуси применялись, в основном, средне-взвешенные показатели и индикаторы, предварительно сгруппированные по важнейшим группам характеристик. Полученная система показателей и индикаторов представляет набор микроиндексов по каждому из выделенных индикаторов для всех регионов в динамике.

Методика оценки конкурентной привлекательности Брестской области Н. П. Четырбок основана на расчете интегрального показателя по направлениям: фактор экономика (уровень развития экономики, рост экономики), фактор инновации (производство знаний и технических инноваций, применение научных знаний, технологий, новой техники), фактор качество жизни (денежные доходы населения, условия жизни населения), человеческий потенциал (демографическое развитие, образование) [12].

На наш взгляд, обоснованы различные подходы к выбору показателей конкурентоспособности, а их интерпретация в виде интегральной оценки позволяет осуществлять анализ не только потенциальных возможностей региона конкурировать с другими, но и его текущей конкурентоспособности.

В четвертую группу входит ученый А. Е. Кузьмин, который считает, что конкурентоспособность региона определяется конкурентоспособностью товаров и предприятий в нем. Поскольку регион является подсистемой более высокого уровня – страны, его конкурентоспособность и результативность будет зависеть от качества и интенсивности воздействия на него со стороны [13].

Основными, на наш взгляд, недостатками в данном подходе есть тяготение к отождествлению различных уровней конкурентоспособности (региона, предприятия) и значительное преувеличение их взаимовлияния друг на друга.

К следующей группе относим ученого И. П. Данилова [14], который в основе метода оценки конкурентоспособности применяет «квалиметрический» подход, основанный на «догме одномерности», по которому объект оценивается числом. Он подчеркивает, что оценка конкурентоспособности региона на основе качественного анализа его конкурентных позиций позволит определить степень «вписанности» региона в рыночное пространство Российской Федерации [14].

Автор использует квалиметрический подход к оценке инвестиционной привлекательности региона, что является решением потребности региона в привлечении средств, однако оставляет без внимания дальнейший анализ влияния этих инвестиций на уровень экономического развития региона.

Такое мнение разделяют ряд экономистов, в частности А. В. Ермишина и В. В. Меркушова которые утверждают, что конкурентоспособность региона определяется как наличием определенных конкурентоспособных производств или отраслевых сегментов, так и способностью региональных властей создавать условия для региональных предприятий для достижения и сохранения конкурентного преимущества в конкретных отраслях [15]. С точки зрения ученых можно частично согласиться в том, что кластеры создают критическую массу, необходимую для конкурентного успеха в определенных отраслях. Однако на сегодняшний день декларативное плановое создание различных кластеров и их финансирование формирует в регионе конкурентные преимущества. Имеет большое значение направление формирования кластеров, а именно: наиболее эффективно реализуются такие, которые мотивированно созданы субъектами предпринимательской деятельности с определенными производственно-техническими или инновационными потребностями, поэтому значительное развитие предприятия при благоприятных условиях происходит именно в таких регионах.

Поскольку конкурируют регионы благодаря различиям, а не сходным чертам, то со временем возникает потребность не только определить уровень конкурентоспособности регионов, а и применять основные инструменты менеджмента. Этот факт обусловил использование учеными подходов к оценке конкурентоспособности регионов, основанных на применении таких методов стратегического планирования, как SWOT, PEST-анализ. Это видение позволило сгруппировать экономистов-ученых в шестую группу. К ним относится ученый В. Г. Подвысоцкий, который предлагает применять вышеизложенные методы стратегического планирования при оценке уровня конкурентоспособности регионов [16]. SWOT-анализ предоставляет инструменты для изучения вопроса выявления сильных сторон региона и наличия преимуществ перед аналогами; выявить слабые стороны региона в экономическом плане; благоприятные возможности для будущего развития; определить потенциальные угрозы экономике региона, наиболее вероятные в будущем.

Ученый считает, что PEST-анализ позволит выявить и оценить факторы внешней среды региона, которые могут повлиять на его конкурентоспособность в настоящем и будущем. Основные этапы анализа позволяют определить: политическую конфигурацию, экономическую конфигурацию, социальную конфигурацию, технологическую конфигурацию [16].

На наш взгляд, применение программно-целевого подхода может быть использовано для рационального использования природных ресурсов, разработки факторов, влияющих на экономику региона и определения детерминант. В более широком смысле программно-целевой подход может служить основой для разработки управленческих решений при формировании конкурентоспособности региона.

В седьмую группу относится методика оценки конкурентоспособности областей Беларуси в разрезе компонентов устойчивого разви-

тия, представленная А. Литвинчук [17], которая позволяет оперативно определить уровень конкурентоспособности их социального, экономического и экологического роста. Суть методики заключается в построении системы показателей (индикаторов) – экономических, экологических, социальных. Для научного обоснования выбора состава показателей предлагается использовать метод «Паттерн». Далее производится расчет агрегированных индексов по этим компонентам с последующим определением интегрального индекса, позволяющего оценить степень устойчивости социально-экономического развития областей с применением метода динамических рядов, индексного и рейтингового методов.

Следует заметить, что ни одна из предложенных методик не является совершенной и не является полностью объективной в оценке уровня конкурентоспособности региона. Подобная ситуация существует и в практиках других стран с момента актуализации вопроса региональной конкурентоспособности. Выявление основных проблемных моментов и их устранение дает возможность осуществить разработку метода оценки конкурентоспособности региона с большей точностью и легкостью в подсчете, где бы учитывались особенности национальной экономики.

Заключение

В заключение отметим, что разработкам всех авторов в данной сфере присущи дискуссионные вопросы: практическое использование затруднено из-за чрезмерного обобщения критериев оценки и отбора показателей; по разным методикам получаются разные результаты, которые не подлежат совместному анализу и сопоставлению для сравнения; весовые коэффициенты рассчитываются на основе экспертных оценок, а не на основе корреляционных зависимостей; использование экспертной оценки субъективно и зависит от видения и знаний самого эксперта; группировка показателей и предоставление им определенного уровня значимости осуществляется на основе актуальности или обострения тех или иных экономических тенденций регионального развития; составление рейтинга и критерии к нему являются относительной величиной и кое-где различные авторы применяют разные критерии в подходах.

Группировка точек зрения ученых относительно подходов к оценке конкурентоспособности региона позволяет учесть главные дискуссионные моменты предыдущих разработок и современные требования развития регионов для выбора оптимального направления оценки конкурентоспособности региона.

Список цитированных источников

1. Безуглая, В. О. Анализ конкурентоспособности регионов Украины / В. О. Безуглая // Региональная экономика. – 2004. – № 4. – С. 64–68.
2. Сепик, Д. Конкурентоспособность регионов: некоторые аспекты / Д. Сепик. – М.: Рос.-Евр. центр эк-й пол-ки, 2005. – 44 с.
3. Шеховцева, Л. С. Формирование и моделирование стратегического целеполагания региона как субъекта экономического развития: автореф. дисс. док. экон. наук: 08.00.05 / Л. С. Шеховцева – Калининград, 2008. – 44 с.
4. Begg, I. Cities and competitiveness / I. Begg // Urban Studies. – 1999. – Vol. 36. – P. 795–809.
5. Артеменко, В. Индикаторы устойчивого социально-экономического развития регионов / В. Артеменко // Региональная экономика. – 2006. – № 2. – С. 90–97.
6. Журба, И. Е. Конкурентоспособность региона: суть, методы оценки, современное состояние / И. Е. Журба // Экономика предприятия. – 2005. – № 3. – С. 45–49.
7. Лазарева, Е. В. Методический подход к анализу конкурентоспособности региона / Е. В. Лазарева, Н. В. Яблонская // Региональная экономика. – 2011. – № 1. – С. 23–31.
8. Горячук, Б. Ф. Оценка конкурентоспособности регионов Украины на основе результативного подхода / Б. Ф. Горячук // Региональная экономика. – 2011. – № 1. – С. 39–46.
9. Шинкаренко, О. М. Методическое обеспечение анализа конкурентоспособности регионов / О. М. Шинкаренко, Е. В. Костенецкий // Сб. науч. труд. КНТУ. Экономические науки. – 2014. – № 25. – С. 335–340.

10. Ливинская, В. А. Использование функции желательности Харрингтона для оценки регионов с позиции привлекательности / В.А. Ливинская, С.Л. Комарова // Вестник Белорусско-Российского ун-та. – 2018. – № 2(59). – С. 55–64.
11. Шашко, А. А. Управление конкурентоспособностью регионов Беларуси на основе рейтингового подхода к анализу их инновационно-инвестиционного потенциала [Электронный ресурс]: автореф. дис. ...канд. экон. наук / А. А. Шашко; Белорус. гос. ун-т. – Минск, 2013. – 28 с.
12. Четырбок, Н. П. Современные подходы к оценке конкурентоспособности регионов Беларуси (на примере Брестской области) / Н. П. Четырбок, Т. Н. Осопрелко // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия Д. Экономические и юридические науки. – 2016. – № 6. – С. 42–50.
13. Кузьмин, О. Е. Управление международной конкурентоспособностью предприятия: Монография / О. Е. Кузьмин, Н. И. Горбаль. – Львов: Компакт-ЛВ, 2005. – 304 с
14. Данилов, И. П. Конкурентоспособность регионов / И. П. Данилов. – М. : «Канон+», РООИ «Реабилитация», 2007. – 368 с.
15. Ермишина, А. В. Конкурентоспособность региона [Электронный ресурс] / А. В. Ермишина. – Режим доступа: <http://www.cfin.ru/management/strategy/>. – Дата доступа: 31.03.2023.
16. Подвысоцкий, В. Г. Методические материалы к определению рейтинговой оценки конкурентоспособности регионов / В. Г. Подвысоцкий. – К. : Леста, 2008. – 48 с.
17. Литвинчук, А. А. Пути повышения конкурентоспособности регионов Республики Беларусь в условиях устойчивого развития: автореф. дис. ...канд. экон. наук / А. А. Литвинчук; Белорус. гос. ун-т. – Минск, 2019. – 27 с.
7. Lazareva, E. V. Metodicheskiy podhod k analizu konkurentosposobnosti regiona / E. V. Lazareva, N. V. Yablonskaya // Regional'naya ekonomika. – 2011. – № 1. – С. 23–31.
8. Goryachuk, B. F. Ocenka konkurentosposobnosti regionov Ukrainy na osnove re-zul'tativnogo podhoda / B. F. Goryachuk // Regional'naya ekonomika. – 2011. – № 1. – С. 39–46.
9. SHinkarenko, O. M. Metodicheskoe obespechenie analiza konkurentosposobnosti regionov / O. M. SHinkarenko, E. V. Kosteneckij // Sb. nauch. trud. KNTU. Ekonomicheskie nauki. – 2014. – № 25. – С. 335–340.
10. Livinskaya, V. A. Ispol'zovanie funkcii zhelatel'nosti Harringtona dlya ocenki regionov s pozicii privilekatel'nosti / V.A. Livinskaya, S.L. Komarova // Vestnik Belo-russko-Rossijskogo un-ta. – 2018. – № 2(59). – С. 55–64.
11. SHashko, A. A. Upravlenie konkurentosposobnost'yu regionov Belarusi na osnove rejtingovogo podhoda k analizu ih innovacionno-investicionnogo potentsiala [Elektronnyj resurs]: avtoref. dis. ...kand. ekon. nauk / A. A. SHashko; Belorus. gos. un-t. – Minsk, 2013. – 28 s.
12. CHetyrbok, N. P. Sovremennye podhody k ocenke konkurentosposobnosti regionov Belarusi (na primere Brestskoj oblasti) / N. P. CHetyrbok, T. N. Osoprelko // Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya D. Ekonomicheskie i yuridicheskie nauki. – 2016. – № 6. – С. 42–50.
13. Kuz'min, O. E. Upravlenie mezhdunarodnoj konkurentosposobnost'yu predpriya-tiya: Monografiya / O. E. Kuz'min, N. I. Gorb'al'. – L'vov: Kompakt-LV, 2005. – 304 s
14. Danilov, I. P. Konkurentosposobnost' regionov Rossii (teoreticheskie osnovy i metodologiya) / I. P. Danilov. – М. : «Kanon+», ROOI «Reabilitatsiya», 2007. – 368 s.
15. Ermishina, A. V. Konkurentosposobnost' regiona [Elektronnyj resurs] / A. V. Ermishina. – Rezhim dostupa: <http://www.cfin.ru/management/strategy/>. – Data dostupa: 31.03.2023.
16. Podvysockij, V. G. Metodicheskie materialy k opredeleniyu rejtingovoj ocenki konkurentosposobnosti regionov / V. G. Podvysockij. – K. : Lesta, 2008. – 48 s.
17. Litvinchuk, A. A. Puti povysheniya konkurentosposobnosti regionov Respubliki Belarus' v usloviyah ustojchivogo razvitiya]: avtoref. dis. ...kand. ekon. nauk / A. A. Lit-vinchuk; Belorus. gos. un-t. – Minsk, 2019. – 27 s.

References

1. Bezuglaya, V. O. Analiz konkurentosposobnosti regionov Ukrainy / V. O. Bezuglaya // Regional'naya ekonomika. – 2004. – № 4. – С. 64–68.
2. Sepik, D. Konkurentosposobnost' regionov: nekotorye aspekty / D. Sepik. – М.: Ros.-Evr. centr ek-j pol-ki, 2005. – 44 s.
3. SHekhovceva, L. S. Formirovanie i modelirovanie strategicheskogo celepolaganiya regiona kak sub"ekta ekonomicheskogo razvitiya: avtoref. diss. dok. ekon. nauk: 08.00.05 / L. S. SHekhovceva – Kaliningrad, 2008. – 44 s.
4. Begg, I. Cities and competitiveness / I. Begg // Urban Studies. – 1999. – Vol. 36. – P. 795–809.
5. Artemenko, V. Indikatory ustojchivogo social'no-ekonomicheskogo razvitiya re-gionov / V. Artemenko // Regional'naya ekonomika. – 2006. – № 2. – С. 90–97.
6. ZHurba, I. E. Konkurentosposobnost' regiona: sut', metody ocenki, sovremennoe sostoyanie / I. E. ZHurba // Ekonomika predpriyatiya. – 2005. – № 3. – С. 45–49.

Материал поступил 21.05.2023, одобрен 13.06.2023, принят к публикации 14.06.2023

ТРАНСПОРТНО-ИНФРАСТРУКТУРНЫЕ РЕШЕНИЯ UST КАК ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ

А. Э. Юницкий¹, С. В. Артюшевский², А. Г. Климков³

¹ Д-р философии транспорта (PhD in Transport), генеральный конструктор ЗАО «Струнные технологии», Минск, Беларусь, e-mail: a@unitsky.com

² М. т. н., заместитель генерального конструктора ЗАО «Струнные технологии», Минск, Беларусь, e-mail: s.artushkevskiy@unitsky.com

³ К. э. н., начальник научно-исследовательского отдела ЗАО «Струнные технологии», Минск, Беларусь, e-mail: a.klimkov@unitsky.com

Реферат

Предметом исследования в настоящей работе выступают транспортно-инфраструктурные решения uST – инновационные разработки, созданные на основе научных идей, изобретений и патентов белорусского инженера, изобретателя Анатолия Эдуардовича Юницкого. В ходе проведения исследования: кратко описаны структурные элементы данных транспортных комплексов и их конструктивных особенностей; отражены результаты сравнительного анализа и оценки показателей функционирования uST с традиционными транспортными системами. Также сформулированы перспективные области применения технологии, роль uST в науке и социально-экономическом развитии стран и регионов. Сделан обоснованный вывод о том, что внедрение транспортно-инфраструктурных решений uST как альтернативы традиционным транспортным системам способно послужить драйвером инновационного и социально-экономического развития на любом из её уровней (микро-, макро-, мезо-).

Ключевые слова: транспортно-инфраструктурные решения uST, транспортная система, рельсо-струнная эстакада, подвижной состав, автоматизированная система управления, транспортная безопасность, экономическая эффективность, социально-экономическое развитие.

UST TRANSPORT AND INFRASTRUCTURE SOLUTIONS AS A PROMISING DIRECTION OF INNOVATIVE DEVELOPMENT

A. E. Unitsky, S. V. Artyushevskiy, A. G. Klimkov

Abstract

The subject of research in this paper is uST transport and infrastructure solutions - innovative developments created on the basis of scientific ideas, inventions and patents of the Belarusian engineer, inventor Anatoly Unitsky. In the research: the structural elements of these transport complexes and their design features are briefly described; the results of a comparative analysis and evaluation of uST performance indicators with traditional transport systems are reflected. Promising areas of technology application, the role of uST in science and socio-economic development of countries and regions are also formulated. A reasonable conclusion is made that the introduction of uST transport and infrastructure solutions as an alternative to traditional transport systems can serve as a driver of innovative and social and economic development of the system at any of its levels (micro-, macro-, meso-).

Keywords: uST transport and infrastructure solutions, transport system, rail-string overpass, rolling stock, automated control system, transport safety, economic efficiency, socio-economic development.

Введение

Согласно [1], ещё в 2019 г. протяжённость только автомобильных дорог в мире составляла 64,3 млн км. При усреднённой ширине твёрдого покрытия, равной 10 м, площадь лишь дорожного полотна автомобильных дорог на планете составляет не менее 640 тыс. кв. км, что в три раза превышает площадь Республики Беларусь. В то же время, в нашей стране только с 1991 по 2011 г. общее количество автомобилей в целом увеличилось в 4 раза, что вызвало ряд проблем, связанных с увеличением нагрузки на улично-дорожную сеть, особенно в городах; снизилась скорость сообщения, ухудшились режимы движения, появились перегрузки, возросло количество аварий и т. д. [2]. Кроме того, согласно официальным данным Национального статистического комитета Республики Беларусь, если на конец 2005 г. в личной собственности граждан числилось 1737,1 тыс. шт. легковых автомобилей, то на конец 2021 г. – 2998,9 тыс. шт. [3, 4]. С учётом численности населения страны за указанный период [5], количество личных легковых автомобилей на 10 жителей страны увеличилось с 1,80 до 3,24, или почти вдвое.

В результате, в связи с резким ростом количества автомобилей, в стране изменилась среда дорожного движения и соответствующие условия, возросла транспортная нагрузка. В то же время, организационно-управленческая составляющая (организация движения, обслуживание движения, использование инновационных видов транспортных систем, разгрузка транспортного движения на «1-м уровне» и др.) крайне медленно адаптируется к возросшей нагрузке и требует совершенствования [2].

Обозначенная ситуация при этом характерна не только для нашей страны; она в целом отражает состояние и актуальную проблематику в мировой транспортной отрасли.

Например, согласно данным Всемирной организации здравоохранения, ежегодно в мире в результате ДТП и их последствий погибает около 1,3 миллиона человек, при этом более 10 млн человек получают травмы, становятся инвалидами и калеками. Усреднённая величина ущерба, которую несёт планета в результате дорожно-транспортных происшествий, достигает 3 % от мирового валового внутреннего продукта [6].

В результате, имеются основания полагать, что существующие уже не одно столетие традиционные виды транспорта и осуществляемые ими перевозки грузов и пассажиров к настоящему времени практически исчерпали свои возможности развития и всё больше нуждаются в инновационных решениях. Такие показатели, как транспортная безопасность, доступность услуг (стоимость проезда, перевозки), экологичность, автоматизация, быстрота возведения транспортно-инфраструктурных комплексов, стоимость эксплуатации – одни из основных, которые требуют совершенствования в транспортной отрасли [7].

В этой связи одним из перспективных и инновационных видов транспорта, представляющих собой комплексное решение проблем как в транспортной, так и в ряде иных отраслей (строительная, агро- и биологическая, материаловедение и некоторые другие), и способным решить ряд вышеперечисленных вопросов, является струнный транспорт Юницкого (далее по тексту – uST), созданный на основе научных идей, изобретений и запатентованных разработок белорусского инженера, изобретателя Анатолия Эдуардовича Юницкого.

Описание технологии uST и ключевых элементов транспортно-инфраструктурного комплекса «второго уровня»

Транспортно-инфраструктурные решения uST – это транспортные коммуникации в эстакадном исполнении, где перевозка пассажиров и грузов осуществляется в автоматизированном режиме на высоте от 6 м над уровнем земли по рельсо-струнной путевой структуре (система «второго уровня»). Включает следующие главные структурные элементы [8]:

- предварительно напряжённая рельсо-струнная транспортная эстакада;
- беспилотные рельсовые электромобили на стальных колёсах (юнимобили);
- автоматизированная система управления (АСУ);

– объекты инфраструктуры на «втором уровне» (пассажиры станции, грузовые терминалы, стрелочные переводы, ремонтные мастерские, технические и технологические помещения, иное), в т. ч. сопутствующие (коммерческие площади в составе функциональных зданий, энергосети и т. п.).

Новизна решений uST заключается в том, что транспортно-инфраструктурные объекты комплекса размещены на «втором уровне» с применением комплексных подходов к минимизации энерго- и ресурсозатрат для его функционирования и повышению экологичности. Инновационность применяемых технологий заключается в конструктивных особенностях рельсовых электромобилей, предварительно напряжённых путевых структур и АСУ на основе технологий искусственного интеллекта. Визуализация uST в экосистеме (жизнедеятельности человека) представлена в виде рисунка 1.

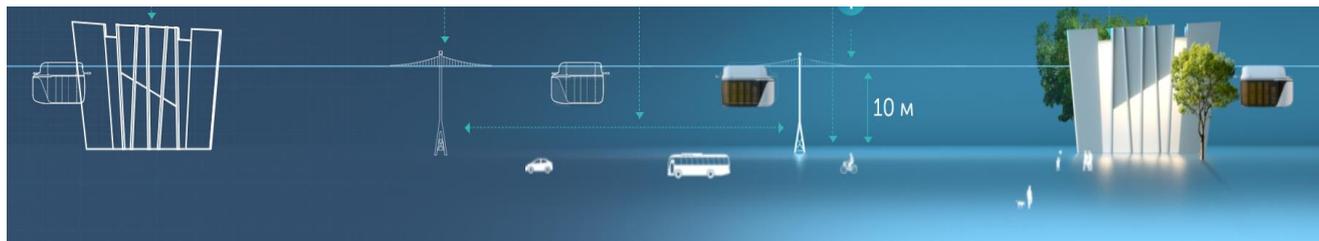


Рисунок 1 – Визуализация транспортно-инфраструктурного решения uST [9]

Решения uST основаны на технологии создания предварительно напряжённых транспортных эстакад, ключевым элементом которых выступает струнный рельс. Он представляет собой неразрезную по длине стальную, железобетонную или сталежелезобетонную балку, в сердцевине которой расположены растянутые струны. Рабочая поверхность рельса оснащается головкой, по которой в автоматическом режиме на скоростях до 500 км/ч движутся пассажирские и грузовые электромобили на стальных колёсах, получившие название юнимобиль (на англ. uPod).

Составляющими предварительно напряжённой рельсо-струнной эстакады являются:

- анкерные опоры;
- промежуточные опоры;
- балки переменной жёсткости (сёдла);
- предварительно напряжённая рельсо-струнная путевая структура (монорельсовая, бирельсовая, квадратрельсовая, подвесная или навесная);
- контактная сеть и система электроизоляторов (изоляция рельсов друг от друга от опор и опорных узлов).

Струнный рельс сочетает в себе свойства гибкой нити (на большом пролёте между опорами) и жёсткой балки (на малом пролёте – под колесом рельсового автомобиля и над опорой). При этом плоская головка рельса и цилиндрическое стальное колесо обеспечивают минимальные затраты энергии на движение.

В качестве наиболее значимых преимуществ рельсо-струнной транспортной эстакады uST в целом следует отметить:

- высокая прочность и ровность пути;
- простота изготовления;
- низкая материалоемкость (ресурсоёмкость) и стоимость;
- возможность эксплуатации при экстремальных температурах (от -60 до +60 °C);
- низкое значение собственного веса эстакады (около 10 % от расчётной подвижной нагрузки, тогда как в обычной эстакаде – более 90 %);
- при одинаковой распределённой нагрузке неразрезная (без температурных швов и стыков) эстакада uST в 5 раз жёстче и в 3 раза прочнее традиционного балочного моста (при одинаковой сосредоточенной силе – в 1,9 и в 1,5 раза соответственно);
- высокая надёжность и долговечность (срок эксплуатации до капитального ремонта – от 50 лет).

Подвижной состав uST представляет собой беспилотные навесные и подвесные транспортные средства в виде рельсовых электромобилей на стальных колёсах (юнимобилей), которые перемещаются за счёт электрической тяги по рельсо-струнной путевой структуре.

Струнный транспорт развивается в двух основных направлениях: пассажирский транспорт (городской со скоростью перемещения до 150 км/ч и высокоскоростной междугородний – до 500 км/ч) и грузовой (скорость до 150 км/ч). Конструктивные особенности подвижного состава uST и их преимущества отражены в таблице 1.

Таблица 1 – Преимущества конструктивных особенностей подвижного состава uST

№ п/п, конструктивные особенности	Преимущества
1. Высокая аэродинамичность юнимобилей	– Значение коэффициента аэродинамического сопротивления составляет 0,06 (для автомобиля Tesla Model S – 0,24) – Минимальное потребление электроэнергии – Возможность разогнаться до 500 км/ч (расход топлива при этом 0,93 кг/100 чел.×км)
2. Стальное наборное колесо из пластин с амортизационной частью*	– Незначительные контактные напряжения (менее 200 МПа) ввиду широкого (по ширине головки рельса) пятна контакта – Тормозные механизмы и АБС не допускают блокировку колес – Минимальные нагрузки на колесо – Минимальный и симметричный износ головки рельса – Низкое значение сопротивления качению колеса ввиду узкого пятна контакта и низкого коэффициента сопротивления качению (0,001) – В случае разрушения от динамической нагрузки одной из наборных пластин колеса, юнимобиль способен к дальнейшему передвижению без схода с путевой структуры
3. Токосъём с колеса	– Электрический контакт качения значительно уменьшает износ, искрение и радиоизлучение в широком диапазоне частот и иные недостатки традиционных контактных сетей скольжения
4. Подвесной и навесной подвижной состав «второго уровня»	– Рациональное использование земли и ресурсов, сведение до минимума наносимого транспортом вреда окружающей среде – Исключение пересечения движения юнимобилей uST с дорогами общего пользования, повышение безопасности передвижения – Устранение эффекта аэродинамического экрана путём поднятия электромобиля над землёй и отказа от сплошного дорожного полотна

Продолжение таблицы 1

№ п/п, конструктивные особенности	Преимущества
5. Электродвигатели на постоянных магнитах	– Двигатель имеет КПД на 2 % больше по сравнению с асинхронным электродвигателем аналогичной конструкции – Лучшие значения комбинаций показателей: мощность/объём, момент/инерция
6. АСУ и виртуальная сцепка	– Управление в автоматическом режиме без присутствия водителя (оператора) – Непрерывное считывание информации с путевой структуры, опор, юнимобилей и др. участников движения, мгновенное реагирование на препятствия и угрозы, полный контроль маршрута и скорости движения юнимобилей, обмен данными в режиме реального времени, координация процессов посадки и высадки пассажиров, адаптация интервалов движения под пассажиро- (грузопоток), исключение человеческого фактора, аварийности, дорожных пробок и т. д.
7. Стабилизация движения	– Механическая и электронная системы стабилизации движения колёс автоматически возвращает траекторию движения юнимобилей в штатное положение – Прохождение юнимобилем радиусных участков без подруливания тяговых тележек, что позволяет снизить массу юнимобилей до 2 % и упростить кинематику подвески

Автоматизированная система управления (АСУ)

Одним из направлений повышения логистической эффективности uST является минимизация расстояния между рельсовыми электромобилями, движущимися с максимально допустимой скоростью, с обеспечением безопасности, что возможно только при условии точного определения местоположения и параметров движения всех юнимобилей и наличия надёжной и стабильной системы связи между ними и АСУ.

Система управления комплексом включает в себя следующие подсистемы:

- центральная система управления (ЦСУ), предназначенная для управления всеми электромобилями и автоматизированными объектами инфраструктуры, формирования безопасного графика движения;
- бортовая система управления (БСУ), предназначенная для управления всеми бортовыми подсистемами юнимобилей;
- автоматизированные объекты инфраструктуры и дополнительные системы обеспечения функционирования транспортно-инфраструктурного комплекса uST для обеспечения безопасного функционирования и комфортной перевозки пассажиров и грузов.

Классические системы управления транспортными средствами, движущимися по выделенным путевым структурам, полагаются в основном на рельсовые цепи обнаружения присутствия данных транспортных средств на фиксированных участках путевой структу-

ры. Такие традиционные системы эффективны в обеспечении управления движением поездов, но неэффективны для обеспечения использования потенциала инфраструктуры транспортными средствами uST из-за ряда фундаментальных ограничений. Основным из них является то, что расположение юнимобилей может быть определено только с дискретностью, определяемой длиной рельсовых цепей: если на рельсовом пути присутствует электромобиль, то система предполагает, что вся рельсовая цепь занята этим подвижным составом.

Инновационная АСУ uST, реализованная на функциональных решениях системы управления поездами на основе телекоммуникации (СВТС), позволяет обеспечивать безопасное движение на близком расстоянии, что даёт большую гибкость и точность в управлении данным транспортным комплексом. Использование данной технологии повышает надёжность и снижает затраты на техническое обслуживание систем управления за счёт уменьшения количества оборудования и увеличения объёма диагностической информации, передаваемой в реальном масштабе времени.

С целью обеспечения инновационности и эффективности транспортно-инфраструктурных решений uST, в АСУ, построенной на основании СВТС, реализованы следующие функциональные решения (таблица 2).

Таблица 2 – Функциональные решения uST в рамках АСУ

№, функциональное решение	Особенность
1. Высокоточное определение местоположения электромобилей uST подсистемой АСУ	Достигается получением информации от следующих сенсоров: одометра, GPS (в т. ч. в режиме RTK), RFID-меток, пары «магнит – датчик Холла» – для высокоточного позиционирования в особых местах, системы компьютерного зрения uST (камеры + лидар) на основании цифровой карты местности (Simultaneous Localization And Mapping – SLAM), системы компьютерного транспортного комплекса (камеры)
2. Установка границ полномочий на движение и определение точки прицельного торможения	Достигается путём анализа статуса трассы перед uST, определения местоположения впереди идущего юнимобилей и/или местоположения и статуса управляемых элементов путевой структуры (стрелки, ворота и т. п.)
3. Определение профиля ATP	Построение профиля (automatic train protection – ATP) производится на основании информации об ограничениях скорости на участках трассы конкретного юнимобилей в текущих условиях, расположения точки прицельного торможения и математической модели торможения
4. Контроль и обеспечение соблюдения разрешённой скорости и направления движения	Реализация данной функции заключается в постоянном контроле фактической скорости и направления движения юнимобилей профиля ATP
5. Блокировки управления дверьми	Реализация функции позволяет не допустить несанкционированное открытие дверей и платформы
6. Определение профиля АТО	Расчёт профиля (automatic train operation – АТО) производится на основании графика движения юнимобилей и условия не превышения профиля ATP

Реализация в АСУ указанных функциональных решений в полной мере позволяет обеспечивать безопасные перевозки пассажиров и грузов в транспортных системах uST.

Инфраструктура «второго уровня» транспортного комплекса uST включает в себя рельсо-струнную эстакаду, участки маневрирования, пассажирские станции, грузовые терминалы, зону технического обслуживания (депо), комплекс энергоснабжения (в т. ч. контактную сеть), диспетчерскую, систему автоматического управления и связи, инженерные сети и оборудование (включая стрелочные переводы), в совокупности обеспечивающие работу комплекса, а также безопасное движение беспилотных юнимобилей.

В связи с особенностями технологии uST основная часть указанных транспортно-инфраструктурных объектов расположена над землёй, на «втором уровне». Благодаря такому размещению основных элементов комплекса сооружения гармонично вписываются в существующую среду и инфраструктуру населённых пунктов без существенного вмешательства в неё – с точечным опиранием на землю (без протяжённых земляных насыпей и выемок, транспортных развязок, водопропускных сооружений и др.).

Вне городской среды для сооружений второго уровня требуется минимальный объём земляных работ и точечный землеотвод под строительство слабонагруженных (в сравнении с традиционными транспортными эстакадами) опор рельсо-струнной эстакады.

Для анализа и оценки преимуществ инновационных решений uST перед иными транспортными системами далее проведён сравнительный анализ по таким составляющим, как:

- энергоэффективность;
- экологичность;
- ресурсо- и материалоемкость;
- транспортная безопасность;
- экономическая эффективность.

Энергоэффективность

В качестве подтверждения энергоэффективности uST в таблице 3 представлено удельное энергопотребление различных транспортных систем в пересчёте на первичную энергию (для электрифицированных систем — на топливо, расходуемое тепловой электростанцией, с учётом потерь энергии в электрических сетях и др. потерь).

Таблица 3 – Сравнение удельного энергопотребления uST и традиционных транспортных систем [10, 11]

Транспортное средство	Расход топлива, л/100 пасс. км	Потребление вторичной энергии, ватт·ч/пасс. км	КПД перевода первичной энергии во вторичную, %	Потребление первичной энергии, ватт·ч /пасс. км
Электрический юнибус городской бирельсовый навесной (12 пасс.)	–	5,9	33,5	18
Электрический юнибус городской подвесной монорельсовый (12 пасс.)	–	2,1	33,5	6,3
Юнибус скоростной междугородний (500 км/час, 1 пасс.)	–	19,9	33,5	59
Легковой автомобиль (в среднем 1,7 пасс., 100 км/час)	5,35	178	90,5	197
Автобус (в среднем 80 % занятых мест, 60 км/час)	0,71	23,7	90,5	26,2
Самолёт (в среднем 70 % занятых мест, 900 км/час)	5,30	177	92,0	192
Скоростной поезд, 10 вагонов (160 км/час)	–	50	33,5	149
Высокоскоростной поезд, 14 вагонов (250 км/час)	–	61	33,5	182
Высокоскоростной поезд на магнитном подвесе "Transrapid", 5 вагонов (430 км/час)	–	176	31,0	568

Анализ данных, представленных в таблице 3, показывает, что uST является наиболее энергоэффективной транспортной системой. Это обеспечивается благодаря конструктивным особенностям, указанным в таблице 1, которые дают значительную экономию энергии: расход условного топлива на одного пассажира на 100 км пути при скорости 100 км/ч согласно подтверждённым данным составляет 0,2 кг.

Экологичность

В таблице 4 представлены основные сравнительные характеристики транспортных систем в области экологичности, подтверждающие ряд преимуществ uST перед иными транспортными системами.

Таблица 4 – Основные экологические характеристики транспортных систем [11]

Вид транспорта	Удельный расход энергоресурсов (в литрах бензина на 100 пасс.·км или т·км)		Выбросы вредных веществ, кг/100 пасс.·км (или 100 т·км)	Изъятие земли под транспортную систему, га/100 км
	Пассажирские перевозки	Грузовые перевозки		
1. Железнодорожный (80 км/час):				
– магистральный	1,1–1,4	0,7–1,0	более 0,1	300–400
– пригородный	1,2–1,5	0,9–1,4	более 0,1	300–400
– городской:				
– метрополитен	1,3–1,7	–	более 0,1	–
– трамвай	1,9–2,1	–	более 0,1	50–100
2. Автомобильный:				
– автомобиль				
– в городе (средняя загрузка 1,6 пасс., средняя скорость 15–20 км/час)	4,7–6,3	6,6–11,1	более 1	200–300
– вне города (средняя загрузка 3,5 пасс., средняя скорость 80–100 км/час)	1,5–1,7	5,1–9,2	более 1	300–500
– автобус				
– в городе (средняя скорость 15–20 км/час)	2,1–2,3	–	более 1	200–300
– вне города (средняя скорость 40–60 км/час)	1,4–1,7	–	более 1	300–500
– троллейбус (средняя скорость 15–20 км/час)	1,9–2,5	–	более 0,1	200–300
3. Авиационный:				
– дальняя авиация (900 км/час)	6–10	50–75	более 10	20–50
– местная авиация (400 км/час)	14–19	150–200	более 50	10–20
4. Морской (30 км/час)	17–19	0,38–0,95	более 10	5–10
5. Речной (30 км/час)	14–17	0,57–1,4	более 10	2–3
6. Нефтепроводный магистральный (10 км/час)	–	0,51–0,57	более 1	50–100
7. Газопроводный магистральный (10 км/час)	–	5,7–6,1	более 1	50–100
8. Конвейерный (10 км/час)	–	4,7–9,2	более 1	50–100
9. Гидротранспорт (10 км/час)	–	2,3–4,7	более 1	50–100
10. Канатно-подвесные дороги (20 км/час)	0,3–0,5	0,95–1,9	более 1	20–30

Продолжение таблицы 4

Вид транспорта	Удельный расход энергоресурсов (в литрах бензина на 100 пасс.×км или т×км)		Выбросы вредных веществ, кг/100 пасс.×км (или 100 т×км)	Изъятие земли под транспортную систему, га/100 км
	Пассажирские перевозки	Грузовые перевозки		
11. Поезд на магнитном подвесе (400 км/час)	3,5–4,5	–	более 1	100–200
12. Высокоскоростная железная дорога (300 км/час)	2,5–3,5	–	более 1	300–500
13. Монорельс (50 км/час)	1,5–2,5	–	более 1	50–100
14. Электрифицированный струнный транспорт uST (пассажирский модуль – 20 мест, грузовой – 10 т груза) при скорости: – 100 км/ч (мощность 30 кВт) – 200 км/ч (мощность 70 кВт) – 300 км/ч (мощность 150 кВт) – 400 км/ч (мощность 300 кВт) – 500 км/ч (мощность 450 кВт)	0,3	0,6	менее 0,001	10–20
	0,35	0,7	менее 0,001	10–20
	0,5	1,0	менее 0,001	10–20
	0,75	1,5	менее 0,001	10–20
	0,9	1,8	менее 0,001	10–20

Струнный транспорт имеет следующие основные преимущества в части экологичности:

- сохранение природных экосистем и биогеоценозов под дорогой, имеющей точечные опоры на землю;
- сохранение путей миграции животных и гидрологии почвы (движение поверхностных и грунтовых вод);
- использование электроэнергии в качестве топлива и её низкий расход;

– отсутствие выхлопных газов, продуктов износа шин и асфальта;

- низкий уровень шума (не более 75 дБ);
- движение транспортных средств над землёй, исключающее пробки и выделение значительного количества токсичных веществ;
- отсутствие необходимости применения при обслуживании путевой структуры противогололёдных солей, опасных для окружающей среды и организма человека и др.

Указанные особенности создают возможность использования транспортно-инфраструктурных комплексов uST даже в регионах с повышенными экологическими требованиями.

Ресурсоёмкость и материалоемкость

Одной из характерных особенностей транспортно-инфраструктурных решений uST является низкая ресурсо- и материалоемкость, что подтверждается как представленной выше информацией, так и данными таблицы 5.

Таблица 5 – Сравнение показателей ресурсо- и материалоемкости функционирования uST (приняты за 100 %) и иных транспортных систем [11]

Транспортная система	Объём перемещаемого грунта при строительстве трассы с инфраструктурой, %	Расход материалов на строительство трассы и инфраструктуры и изготовление подвижного состава, %
uST	100	100
Монорельсовая дорога	200–500	1000–1500
Поезд на магнитном подвесе	400–600	1500–2000
Автомобильный транспорт	3000–5000	2000–3000
Железнодорожный транспорт	4000–6000	1000–1500

Уменьшение объёма перемещаемого грунта при строительстве uST достигается за счёт:

- отсутствия выемок, насыпей, мостов, путепроводов, подпорных стенок, водопропускных труб и других инженерных сооружений;
- уменьшения размера и глубины залегания фундаментов опор благодаря уменьшению нагрузок на опоры; применению инфраструктуры второго уровня, не требующей опирания на щебёночную и песчаную подушку и уплотнённый грунт.

Основные причины снижения расхода материалов на создание uST (снижение ресурсоёмкости системы):

- исключение сплошного материалоемкого и дорогостоящего ездового полотна, опирающегося на щебёночную и песчаную подушку и земляную насыпь;
- использование предварительно напряжённых струн без ухудшения прочности и жёсткости путевой структуры; уменьшение нагрузок на опоры и их фундаменты, только 1–2 % от опор (анкерные опоры) испытывает повышенную нагрузку;
- уменьшение материалоемкости юнимобиля в сравнении с традиционным автомобильным и железнодорожным подвижным составом.

Таким образом, низкая материалоемкость путевой структуры uST (однопутная трасса – до 150 кг/м.п.), малые вертикальные нагрузки на поддерживающие опоры (до 50 тонн при пролёте 100 м), произвольная длина пролётов (от 20 м до 2000 м и более) и высота опор (от 5 м до 100 м и более) создают предпосылки для эффективного внедрения uST в существующую в целом инфраструктуру (экосистему, инфраструктуру), не нарушая при этом действующую архитектуру: здания и коммуникации, ландшафт.

Транспортная и конструктивная безопасность обеспечиваются мероприятиями, эффект от комплексного проведения которых может иметь ряд преимуществ по сравнению с аналогичными решениями по иным транспортным системам:

- многократные запасы прочности и многоступенчатая защита всех несущих конструкций и их элементов;
- противосходная система юнимобиля;
- интеллектуальное видеонаблюдение на объектах инфраструктуры и система технического зрения в подвижном составе;
- проектирование в соответствии с международными стандартами (в т. ч. по транспортным эстакадам и объектам инфраструктуры);
- верификация требований, разработанных по ним решений и последующая валидация.

Важным преимуществом uST в обеспечении безопасности является не критичность воздействия любых экстремальных природно-климатических факторов: землетрясения, ветер, обильные снегопады, проливные дожди, гололедица, туман и др.

Вместе с тем, функциональная и информационная безопасность, являющиеся составляющими транспортной безопасности uST, обеспечивается такими методами, как сквозной контроль качества; архитектура (от компонентов электроснабжения и полевого оборудования до вычислительных логических модулей и сетевого

оборудования); резервирование; диверсность при резервировании; независимость и разделение компонентов; самодиагностика, защита от воздействия окружающей среды и внешних условий и др.

Важнейшим индикатором, характеризующим транспортную безопасность системы, является показатель аварийности, информация о которой представлена в виде рисунка 2.

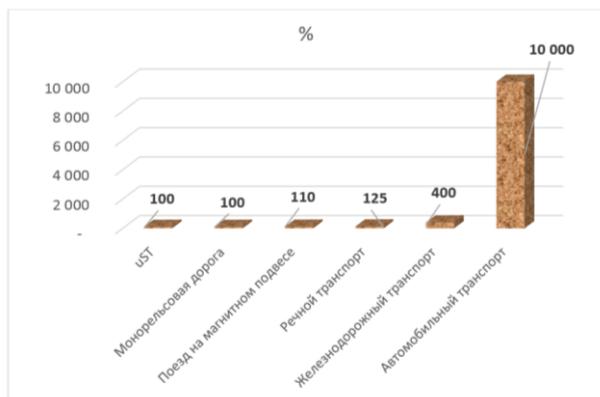


Рисунок 2 – Относительный размер показателя транспортной аварийности в различных типах транспортных систем, % (с травмами и гибелью людей, домашних и диких животных) [11]

Таким образом, указанные особенности и проводимые мероприятия обеспечивают выполнение норм и требований, предъявляемых в настоящее время к транспортной безопасности, а также дают инновационным транспортным комплексам uST ряд преимуществ перед иными транспортными системами.

Экономическая эффективность

В сравнении с существующими транспортными решениями в эстакадном исполнении (автомобильные и железнодорожные эстакады, монорельс, канатная дорога, легкорельсовый транспорт, скоростной трамвай, поезда на магнитной подушке) стоимость строительства, эксплуатации и себестоимости проезда транспортно-инфраструктурных комплексов uST значительно ниже благодаря сочетанию следующих характеристик:

- особенности преднапряжённой рельсо-струнной конструкции, существенно снижающей материалоемкость и стоимость транспортных эстакад;
- устойчивость к внешним воздействиям и долговечность рельсо-струнной эстакады обеспечивают низкие эксплуатационные расходы;
- конструкция рельсо-струнной эстакады позволяет прокладывать маршрут по наиболее короткой траектории с возможностью строительства трасс над водной преградой или иными труднопроходимыми участками местности без использования дополнительных сооружений;
- производство юнимобилей требует низкого расхода конструкционных материалов, что позволяет значительно сократить затраты на производство;
- высокая энергоэффективность позволяет сократить эксплуатационные расходы;
- низкие амортизационные отчисления на ремонт и восстановление рельсо-струнной эстакады и транспортной инфраструктуры за счёт невысокой стоимости строительства и длительного межремонтного срока;
- транспортно-инфраструктурные комплексы uST способны обеспечить перевозку значительного количества пассажиров (до 50 тыс. человек в час) при минимальных эксплуатационных затратах и интервале движения (от 20 сек.), высокой скорости и незначительном штате обслуживающего персонала, что в совокупности может существенно сократить срок окупаемости проекта строительства и эксплуатации uST.

На рисунке 3 приведена информация о стоимости капитальных затрат различных типов транспортных систем в абсолютном исчислении (в зависимости от страны реализации и технико-экономических показателей проекта из открытых источников информации в усреднённых ценах по состоянию на 01.07.2022 г.).

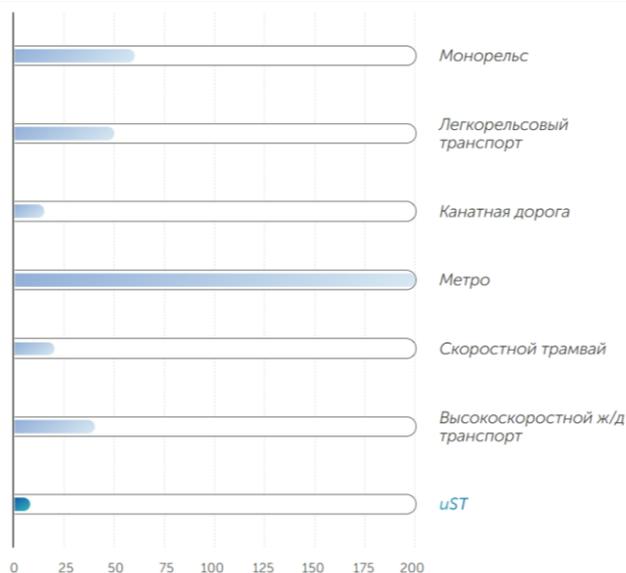


Рисунок 3 – Капитальные затраты на строительство транспортно-инфраструктурных комплексов, млн долл. США/км (на 01.07.2022 г.) [9]

Как результат, комплекс инженерных решений позволяет значительно сократить стоимость строительства и эксплуатации транспортного комплекса uST по сравнению с традиционными транспортными системами.

Роль uST в науке и социально-экономическом развитии

Роль рассмотренных в настоящей статье транспортно-инфраструктурных решений uST в науке главным образом связана с созданием «с нуля», развитием и патентной защитой нового для мирового рынка продукта – комплексной высокотехнологичной транспортной системы – от автоматизированного подвижного состава и уникальных струнных дорог до объектов инфраструктуры и «зелёных» энергетических систем, способных изменить рынок транспортных услуг и мировую транспортную систему в целом.

С учётом внедрения технологии в Беларуси и зарубежных странах [9] областями применения транспортно-инфраструктурных комплексов uST выступают:

- пассажирское сообщение между городами и пригородами, городами и логистическими узлами, расположенными за городской чертой (аэропорты, вокзалы, порты и др.);
- пассажирское сообщение между районами городов, разделёнными водными и иными преградами;
- пассажирское сообщение на территориях с повышенными требованиями к экологичности;
- грузовое транспортное сообщение на территориях со сложными природно-климатическими условиями или рельефом – при отсутствии либо проблематичности прокладки традиционных наземных транспортных коммуникаций между местами добычи полезных ископаемых и транспортными узлами, а также предприятиями по переработке добываемого сырья и т.д.

При этом в качестве перспективных отраслей использования технологии могут выступать ряд иных направлений (морские перевозки и т. д.) в различных регионах мира. Оценка уровня мирового социально-экономического развития и технологических тенденций дают основания считать, что в настоящее время имеются предпосылки для строительства транспортно-инфраструктурных комплексов uST во всём мире в целом.

При этом, рассматривая лишь транспортную сферу, решения uST позволяют решать такие сложные научно-технические проблемы, как:

- перевозка пассажиров и грузов на территориях с повышенными экологическими требованиями, в местностях разделёнными водными и иными препятствиями, со сложными природно-климатическими условиями;

- интеграция транспортных комплексов в крупные инфраструктурные проекты региона;
- повышение скорости движения;
- снижение шума, вибрации;
- повышение безопасности движения;
- увеличение пропускной способности;
- сокращение занятости территорий;
- автоматизация управления;
- уменьшение воздействия транспорта на экологию (загрязнения атмосферы, почвы, воды);
- снижение расхода энергии (топлива);
- уменьшение ресурсоёмкости транспортных средств и конструкций эстакад и т. д.

Последующее создание и реализация указанных инновационных решений в различных странах, регионах позволит развивать мировую науку и социально-экономическую составляющую в целом в логике «Индустрия 4.0», основу которой составляет инновационная экономика.

Заключение

Существующие в настоящее время классические виды транспорта и осуществляемые ими перевозки грузов и пассажиров практически исчерпали свои возможности развития, наносят всё больший ущерб мировой экосистеме, биосфере и человечеству в целом, и потому нуждаются в инновационных решениях. В этой связи струнный транспорт Юницкого и внедряемые на основе данных технологий решения, как никогда ранее, актуальны, обоснованы и в полной мере готовы к масштабному внедрению.

Несмотря на то, что в мире существует более 100 различных видов транспорта, uST по совокупности конструктивных особенностей, преимуществ и перспектив применения не имеет аналогов в своей области, способен удовлетворять широкий спектр транспортных потребностей и в скором времени может быть внедрён в единую мировую транспортно-инфраструктурную, энергетическую и информационную сеть, которая позволит выйти на качественно новый этап технологического развития человечества. Таким образом, uST способен модернизировать рынок транспортных услуг и мировую транспортную систему в целом. При этом внедрение транспортно-инфраструктурных решений uST как альтернативы традиционным транспортным системам способно послужить драйвером инновационного и социально-экономического развития системы на любом из её уровней (микро-, макро-, мезо-).

Список цитированных источников

1. Появился рейтинг стран по длине автодорог. Мы в пятерке [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.zr.ru/content/news/916887-rejting-stran-po-dline-avtomob>. – Дата доступа: 14.10.2022.
2. Капский, Д. В. Методология повышения безопасности дорожного движения в городских очагах аварийности : автореферат диссертации ... д-ра техн. наук : 05.22.10 / Д. В. Капский ; Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2013. – 50 с.
3. Транспорт в Республике Беларусь: стат. буклет. – Минск, 2022. – 28 с.
4. Транспорт и связь в Республике Беларусь: стат. сборник. – Минск, 2014. – 126 с.
5. Численность населения на 1 января по областям и г. Минску // [Электронный ресурс]: Официальный сайт Национального статистического комитета Республики Беларусь. – Режим доступа: https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/ssrd-mvf_2/natsionalnaya-stranitsa-svodnyh-dannyh/naselenie_6/dinamika-chislennosti-naseleniya/. – Дата доступа: 24.11.2022. Дорожно-транспортные травмы // [Электронный ресурс]: Сайт Всемирной организации здравоохранения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>. – Дата доступа: 14.11.2022.
6. Павлова, Е. И. Экология транспорта / Е. И. Павлова, Ю. В. Буралев. – М. : Транспорт, 1998. – 232 с.

7. Юницкий, А. Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе / А. Э. Юницкий. – Силакросс : «ПНБ принт», 2019. – 576 с.
8. Транспортно-инфраструктурные решения Unitsky String Technologies Inc. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ust.inc>. – Дата доступа: 10.11.2022.
9. Basic data for the energy demand of the different means of traffic used to transport passengers in the corridor Hamburg – Berlin [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vr-transport.de/transrapid-energy/n003.html>. – Дата доступа: 10.11.2022.
10. Юницкий, А. Э. Транспортный комплекс SkyWay в вопросах и ответах. 100 вопросов – 100 ответов [Электронный ресурс]. – Минск: SkyWay Technologies Co., 2016. – 84 с. – Режим доступа: https://unitsky.engineer/assets/files/shares/2016/2016_67.pdf.

References

1. Poyavilsya rejting stran po dline avtodorog. My v pyaterke [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.zr.ru/content/news/916887-rejting-stran-po-dline-avtomob>. – Data dostupa: 14.10.2022.
2. Kapskij, D. V. Metodologiya povysheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v go-rodskih ochagah avarijnosti : avtoreferat dissertacii ... d-ra tekhn. nauk : 05.22.10 / D. V. Kapskij ; Belorusskij nacional'nyj tekhnicheskij universitet. – Minsk, 2013. – 50 s.
3. Transport v Respublike Belarus': stat. buklet. – Minsk, 2022. – 28 s.
4. Transport i svyaz' v Respublike Belarus': stat. sbornik. – Minsk, 2014. – 126 s.
5. Chislennost' naseleniya na 1 yanvarya po oblastyam i g. Minsku // [Elektronnyj re-surs]: Oficial'nyj sajт Nacional'nogo statisticheskogo komiteta Respubliki Belaru-s'. – Rezhim dostupa: https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/ssrd-mvf_2/natsionalnaya-stranitsa-svodnyh-dannyh/naselenie_6/dinamika-chislennosti-naseleniya/. – Data dostupa: 24.11.2022.
6. Dorozhno-transportnye travmy // [Elektronnyj resurs]: Sajт Vsemirnoj organi-zacii zdравоохранения [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>. – Data dostupa: 14.11.2022.
7. Pavlova, E. I. Ekologiya transporta / E. I. Pavlova, YU. V. Buralev. – M. : Trans-port, 1998. – 232 s.
8. YUnickij, A. E. Strunnye transportnye sistemy: na Zemle i v Kosmose / A. E. Yunickij. – Silakrogs : «PNB print», 2019. – 576 s.
9. Transportno-infrastrukturnye resheniya Unitsky String Technologies Inc. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://ust.inc>. – Data dostupa: 10.11.2022.
10. Basic data for the energy demand of the different means of traffic used to transport pas-sengers in the corridor Hamburg – Berlin [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.vr-transport.de/transrapid-energy/n003.html>. – Data dostupa: 10.11.2022.
11. Yunickij, A. E. Transportnyj kompleks SkyWay v voprosah i otvetah. 100 vo-prosov – 100 otvetov [Elektronnyj resurs]. – Minsk: SkyWay Technologies Co., 2016. – 84 s. – Rezhim dostupa: https://unitsky.engineer/assets/files/shares/2016/2016_67.pdf.

Материал поступил 04.04.2023, одобрен 19.04.2023, принят к публикации 19.04.2023

ПРИМЕНЕНИЕ ДОБАВЛЕННОЙ СТОИМОСТИ В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ НАЦИОНАЛЬНЫХ СЧЕТОВ

В. И. Юрчик

К. э. н., доцент кафедры бухгалтерского учета, анализа и аудита УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: verayurchik@mail.ru

Реферат

Представлен порядок определения добавленной стоимости предприятия на основе структуры системы национальных счетов. Произведена сравнительная характеристика показателей системы национальных счетов и финансово-хозяйственной деятельности предприятия. Разработана методика отражения добавленной стоимости на счетах бухгалтерского учета.

Ключевые слова: добавленная стоимость, система национальных счетов, валовой выпуск товаров, выручка от реализации.

APPLICATION OF VALUE ADDED IN THE ACTIVITIES OF AN ENTERPRISE ON THE BASIS OF THE SYSTEM OF NATIONAL ACCOUNTS

V. I. Yurchyk

Abstract

The procedure for determining the value added of an enterprise based on the structure of the system of national accounts is presented. A comparative characteristic of indicators of the system of national accounts and financial and economic activities of the enterprise has been made. A methodology has been developed for reflecting the added value on the accounts of accounting.

Keywords: value added, system of national accounts, gross output of goods, sales proceeds.

Введение

Развитие государства оценивается на основе уровня развития экономики в целом. Произвести оценку экономической составляющей государства возможно при помощи системы национальных счетов, которая впервые начала применяться в Великобритании в 1946 г. Система национальных счетов (СНС) – это система взаимосвязанных показателей и классификаций, применяемая для описания и анализа макроэкономических процессов в странах с рыночной экономикой, выраженная комплексом таблиц, имеющих форму бухгалтерских счетов, в которых отражаются процессы производства, распределения и конечного использования общественного продукта и национального дохода [1].

Национальное счетоводство выполняет для экономики в целом те же функции, что бухгалтерский учет для конкретного предприятия. Различные показатели, которые входят в СНС, позволяют измерять объем производства в конкретный момент времени и раскрывать факторы, непосредственно определяющие функционирование экономики. Информация, которую дают счета валового внутреннего продукта и национального дохода, служит основой для формирования и проведения в жизнь государственной политики, направленной на улучшение функционирования экономики. Система национальных счетов – статистическая система, представляющая собой формализацию теоретической концепции национального счетоводства и состоящая из логически последовательной и интегрированной совокупности счетов, таблиц и балансовых ведомостей, которые отражают производство, распределение и использование валового национального продукта и национального дохода страны [2].

Оценить экономический рост народно-хозяйственного комплекса государства возможно на основе показателей валового выпуска товаров и услуг, валового внутреннего продукта и валовой добавленной стоимости. Валовой выпуск товаров и услуг (B) представляет собой суммарную стоимость всей произведенной за год продукции, включая производство товаров и услуг, которые могут иметь рыночный и нерыночный характер.

$$B = B(\Pi) + B(Y), \quad (1)$$

где $B(\Pi)$ – валовой выпуск товаров;
 $B(Y)$ – валовой выпуск услуг.

Валовой внутренний продукт (ВВП) – это один из важнейших показателей системы национальных счетов, который характеризует конечный результат производственной деятельности экономических единиц – резидентов и измеряет стоимость товаров и услуг, произведенных этими единицами для конечного использования. ВВП используется при международных сопоставлениях и при расчетах общественной производительности труда и других показателей экономической эффективности. ВВП является показателем произведенного продукта, который представляет собой стоимость произведенных конечных товаров и услуг. Это означает, что стоимость промежуточных товаров и услуг, использованных в процессе производства (таких как сырье, материалы, топливо, энергия, семена, корма, услуги грузового транспорта, оптовой торговли, коммерческие и финансовые услуги и т. п.), не входит в ВВП. Промежуточное потребление включает в себя стоимость всех товаров и рыночных услуг, которые полностью потребляются с целью производства других товаров и услуг. В состав промежуточного потребления входят: материальные затраты, товары и услуги производственного характера, используемые в производственном процессе.

Показатель валовой внутренней продукт идентичен показателю валовой добавленной стоимости. Валовая добавленная стоимость – это вклад в валовой внутренний продукт индивидуальных производителей, отраслей, секторов, рассчитывается как разность между валовым выпуском товаров (услуг) и промежуточным потреблением.

$$\text{ВВП} = B - \text{ПП} = \text{ВДС}, \quad (2)$$

где ВВП – валовой внутренний продукт;
 ПП – промежуточное потребление;
 ВДС – валовая добавленная стоимость [1].

При расчете производственным методом ВВП исчисляется путем суммирования валовой добавленной стоимости всех производственных единиц резидентов, сгруппированных по отраслям или секторам. Валовая добавленная стоимость – это разница между стоимостью произведенных товаров и оказанных услуг (выпуском) и стоимостью товаров и услуг, полностью потребленных в процессе производства (промежуточное потребление).

Каждому из показателей системы национальных счетов соответствуют аналогичные категории на уровне отдельных отраслей, секторов экономики или хозяйствующих субъектов. Сравнивая показатели системы национальных счетов и финансово-хозяйственной деятельности предприятия, следует отметить соответствие следующих категорий в таблице 1.

Таблица 1 – Сопоставление показателей

Показатели системы национальных счетов	Показатели финансово-хозяйственной деятельности предприятия
валовой выпуск товаров	выручка от реализации товаров (работ, услуг)
промежуточное потребление	материальные затраты и приравненные к ним затраты по производству продукции (работ, услуг)
валовой внутренний продукт	валовая добавленная стоимость

Примечание – Источник: собственная разработка

На основе ВВП можно оценить и сопоставить развитие экономики различных стран, а также секторов и регионов на определенной государственной территории. Следовательно, показатель ВВП является основным результативным критерием системы национальных счетов в экономической статистике многих стран и международных организаций и характеризует конечный результат производственной деятельности как в сфере материального производства, так и нематериальных услуг. В связи с тем, что система национальных счетов основывается на принципе двойной записи и отражает операции, происходящие в экономике в двух аспектах – реальном (ресурсном) и финансовом (использование), считаем целесообразным производить оценку финансово-хозяйственной деятельности предприятий на основе показателя валового внутреннего продукта, т. е. валовой добавленной стоимости.

Основная часть. Система национальных счетов как основа формирования добавленной стоимости предприятия

Проблеме идентификации сущности понятия добавленной стоимости и ее распределения уделялось достаточно внимания в работах известных зарубежных и российских экономистов, среди которых можно отметить А. Смит, Д. Риккардо, В. Петти, К. Маркс, К. Р. Макконелл [3, 4, 5, 6, 7].

Школа меркантилистов. Источником богатства и прибыли в данном учении является торговля и термин прибавочная стоимость рассматривается как форма торговой прибыли. Т. Мен считал целесообразным и выгодным для государства допущение беспрошльного вывоза товаров, изготовленных из иностранного сырья, к цене которого присоединена добавленная стоимость. Это обеспечивает, по его мнению, работу «множеству бедного народа», приводит к значительному росту ежегодного вывоза этих товаров за границу, увеличению ввоза иностранного сырья и способствует возрастающему поступлению налогов в государственную казну от ремесленников [3].

Школа физиократов. В учении физиократов источником богатства является производство. Ф. Кене в качестве центрального пункта экономической системы выделяет учение о «чистом продукте», который представляет собой излишек вновь созданной продукции над издержками производства [4].

Классическая школа. Основоположник классической школы В. Петти как всеобщую форму прибавочной стоимости рассматривает земельную ренту – это весь полученный излишек над издержками производства. Петти различает земельную и денежную ренту – это процент на капитал и определяет его тем процентом, который образует земельная рента к цене земли. "Что же касается процента, то величина его должна быть, по крайней мере, не меньше ренты с такого количества земли, которое может быть куплено на эти деньги, где обеспеченность несомненная; там же, где обеспеченность менее надежна, там род страховки должен переплетаться с простым естественным процентом, что может значительно поднять уровень процента по сравнению с капиталом" [4].

А. Смит и Д. Риккардо считали, что фабричные рабочие своим трудом создают новую стоимость. Эта стоимость лишь частично достается им (заработная плата), а отдельную часть (прибавочную стоимость) присваивают капиталисты. За счет прибавочной стоимо-

сти они расплачиваются за банковский процент, за аренду земли у землевладельцев и получают доход.

Согласно А. Смиту прибавочная стоимость есть не что иное, как часть труда, которую собственники вещественных условий присваивают себе в процессе обмена с живым трудом. В прибавочную стоимость включаются земельная рента, промышленная прибыль и процент [5].

К. Маркс источником прибавочной стоимости определяет «неоплаченный труд» производительных рабочих, продающих свою рабочую силу. В течение необходимого времени рабочий отработывает своим необходимым трудом ценность своей рабочей силы, чтобы получить ее в форме заработной платы, а в течение прибавочного времени имеет место прибавочный труд, который и создает прибавочную стоимость [6, 7].

В настоящее время термин «добавленная стоимость» трактуется следующим образом в научных трудах экономистов.

Добавленная стоимость – вычисляется как разность между продажами компании за определенный период и издержками на товары и услуги, приобретенные у внешних поставщиков. Тем самым добавленная стоимость включает труд, управление, капитал, затраты и прибыль [7].

Добавленная стоимость – часть стоимости, приращенная непосредственно на данном предприятии, в данной фирме. Определяется как разность между выручкой от продажи продукции, товаров, услуг, произведенных фирмой, и ее затратами на закупку материалов и полуфабрикатов [8].

По нашему мнению, добавленная стоимость – это стоимость реализованной производителем (предприятием, фирмой) продукции за вычетом стоимости потребленных сырья, материалов, топлива, энергии, других ресурсов приобретенных им у поставщиков.

Для того чтобы определить сумму добавленной стоимости, необходимо из суммы выручки вычесть материальные затраты и приравненные к ним затраты по производству продукции (работ, услуг). В качестве приравненных затрат к материальным выступают:

- затраты на электроэнергию и тепловую энергию;
- аренду помещений;
- проценты по кредитам, лизинговые платежи;
- расходы по оплате услуг связи и информационных услуг;
- плата за пожарную и сторожевую охрану;
- расходы на рекламу;
- оплата услуг банка и другие расходы при производстве определенной вида продукции (работ, услуг).

Проводя соответствие показателей предприятия и системы национальных счетов, представим расчеты в таблице 2.

Таблица 2 – Сопоставление расчетов

Алгоритмы расчета по СНС	Алгоритмы расчета по финансово-хозяйственной деятельности предприятия
1. Валовой выпуск товаров (В)	1. Выручка от реализации продукции (работ, услуг) (В _{п,р,у})
2. Промежуточное потребление (ПП)	2. Материальные затраты и приравненные к ним затраты по производству продукции (работ, услуг) (МЗ)
3. Валовой внутренний продукт (ВВП) ВВП = В – ПП	3. Валовая добавленная стоимость (ВДС) ВДС = В _{п,р,у} – МЗ

На основе вышеизложенного сумма добавленной стоимости рассчитывается согласно следующей формуле:

$$\sum ДС = \sum В_{п,р,у} - \sum МЗ, \quad (3)$$

где $\sum ДС$ – сумма добавленной стоимости;
 $\sum В_{п,р,у}$ – выручка от реализации продукции (работ, услуг);
 $\sum МЗ$ – сумма материальных и приравненных к ним затрат.

Таким образом, категория «добавленная стоимость» состоит из следующих элементов:

- 1 – суммы заработной платы ($\sum ЗП$) и отчислений на социальные нужды ($\sum Отч.$);
- 2 – амортизации основных средств и нематериальных активов ($\sum АО$);

3 – суммы прибыли, закладываемой в цену производимой продукции ($\sum \text{Пр}$);

4 – суммы налоговых платежей, подлежащих уплате в бюджет (налоги, включаемые в себестоимость: экологический, земельный и налог на недвижимость; налоги, включаемые в отпускную цену продукции: акцизы, НДС) ($\sum \text{НП}$).

С учетом вышеперечисленных элементов формула 3 принимает вид:

$$\sum \text{ДС} = \sum \text{ЗП} + \sum \text{Отч.} + \sum \text{АО} + \sum \text{Пр} + \sum \text{НП}. \quad (4)$$

Рассматривая категорию добавленной стоимости как основной показатель характеризующий деятельность предприятия, необходимо правильно отразить его в системе бухгалтерского учета. Проведем сопоставление отражения валовой добавленной стоимости в системе национальных счетов и в системе бухгалтерского учета на предприятии. Система национальных счетов включает следующие счета, рассмотренные в таблице 3.

Таблица 3 – Система национальных счетов [9]

Счет	Балансирующая статья
Производства	Валовой внутренний продукт (валовая добавленная стоимость)
Образования доходов	Валовая прибыль или валовой смешанный доход
Распределения первичных доходов	Валовой национальный доход
Вторичного распределения доходов	Валовой национальный располагаемый доход
Использования доходов	Валовое национальное сбережение
Счет операций с капиталом	Чистое кредитование (+), чистое заимствование (+)

Каждый счет отражает определенный процесс экономической деятельности. В системе счетов отражается взаимосвязь между начальным формированием ресурсов, движением доходов, их использованием и конечными финансовыми результатами деятельности. Счета можно разделить на счета текущих операций и счета накоплений. К первым относятся те, в которых отражаются операции, полностью заканчивающиеся в текущем году: счета производства, образования, распределения и использования доходов. Ко вторым относятся счета операций с капиталом, финансовые счета, балансы активов и пассивов [10].

Валовой внутренний продукт (валовая добавленная стоимость) в системе национальных счетов образуется на счете производства, который имеет следующую структуру.

Таблица 4 – Структура счета производства [10]

Использование	Ресурсы	Методика расчета балансирующей статьи
Промежуточное потребление (ПП)	Выпуск товаров и услуг в основных ценах (В) Налоги на продукты (Нп)	
ВВП в рыночных ценах (ВВП)		$V + Hn - ПП = \text{ВВП в рыночных ценах}$

Таблица 6 – Методика формирования добавленной стоимости

№ п/п	Сущность хозяйственной операции	Отражение на счетах бухгалтерского учета
1	2	3
В течение месяца производятся следующие записи:		
1.	Отражается сумма выручки при реализации продукции (работ, услуг)	Д-т 62 «Расчеты с покупателями и заказчиками» – К-т 88 «Добавленная стоимость» (субсчет 1 «Выручка от реализации продукции»)
2.	Отражается сумма материальных и прочих затрат, приравняемых к материальным	Д-т 88 «Добавленная стоимость» (субсчет 2 «Материальные затраты») – К-т 10 «Материалы», 60 «Расчеты с поставщиками и подрядчиками», 76 «Расчеты с разными дебиторами и кредиторами»
В конце месяца определяется добавленная стоимость и все суммы списываются на соответствующие счета:		

Показатель ВВП в рыночных ценах затем переносится на счет образования доходов для расчета валовой прибыли и счет производства закрывается.

В основу построения счетов национального счетоводства положен принцип бухгалтерских счетов, т. е. наличие двух противоположных частей, алгоритм расчета сальдо и т. д. Следовательно, структура бухгалтерского счета по формированию добавленной стоимости будет аналогична счету производства по СНС.

В целях формирования информации по показателю добавленной стоимости предлагаем ввести в план счетов счет-экран 88 «Добавленная стоимость» в раздел VII Типового плана счетов «Собственный капитал», т. к. добавленная стоимость включает в себя сумму прибыли, которую получит предприятие при реализации изготовленной продукции (работ, услуг). Прибыль от реализации продукции (работ, услуг) за вычетом соответствующих налогов представляет собой нераспределенную прибыль и является собственным капиталом предприятия.

Характеризуя счета-экраны В. Ф. Палий, дает следующее определение: «предназначаются для получения показателей, необходимых для составления (отражения) публичной финансовой отчетности или для внутрифирменного управления. Сальдо на счетах-экранах отсутствует, так как получаемая на них информация только детализируется в соответствующих аналитических счетах. Счета-экраны позволяют организовать аналитический учет отражаемых операций по иным признакам, чем они отражаются в аналитическом учете основных счетов. Возникает дополнительная систематизированная информация» [10].

Счет 88 «Добавленная стоимость» является сопоставляющим, сальдо не имеет, в балансе не отражается. Для получения детализированной аналитической информации рекомендуется использовать следующие субсчета, открытые к счету 88:

- субсчет 1 «Выручка от реализации продукции»;
- субсчет 2 «Материальные затраты».

Таблица 5 – Структура счета 88 «Добавленная стоимость»

Дебет	Кредит	Методика расчета добавленной стоимости
Материальные затраты (МЗ)	Выручка от реализации продукции (работ, услуг) (В п,р,у)	
Добавленная стоимость (ДС)		$V \text{ п,р,у} - МЗ = ДС$

Примечание – Источник: собственная разработка

Порядок отражения хозяйственных операций по формированию добавленной стоимости на счете 88 «Добавленная стоимость» представлен в таблице 6.

Продолжение таблицы

1	2	3
3.	Списание суммы выручки	Д-т 88 «Добавленная стоимость» (субсчет 1 «Выручка от реализации продукции») – К-т 90 «Доходы и расходы по текущей деятельности» (субсчет 1 «Выручка от реализации продукции, товаров, работ, услуг»)
4.	Списание сумм материальных и прочих затрат, приравняваемых к материальным, в затраты по производству продукции (работ, услуг)	Д-т 20 «Основное производство» – К-т 88 «Добавленная стоимость» (субсчет 2 «Материальные затраты»)
В конце месяца определяется добавленная стоимость и все суммы списываются на соответствующие счета:		
3.	Списание суммы выручки	Д-т 88 «Добавленная стоимость» (субсчет 1 «Выручка от реализации продукции») – К-т 90 «Доходы и расходы по текущей деятельности» (субсчет 1 «Выручка от реализации продукции, товаров, работ, услуг»)
4.	Списание сумм материальных и прочих затрат, приравняваемых к материальным, в затраты по производству продукции (работ, услуг)	Д-т 20 «Основное производство» – К-т 88 «Добавленная стоимость» (субсчет 2 «Материальные затраты»)

Примечание – Источник: собственная разработка

Определение суммы добавленной стоимости по счету 88 «Добавленная стоимость» производится по следующей формуле:

$$ДС = Об. Кр.сч. 88 - Об. Дт.сч. 88 \quad (5)$$

где *Об. Кр.сч. 88* – сумма оборота по кредиту счета 88;

Об. Дт.сч. 88 – сумма оборота по дебету счета 88.

Сальдо по данному счету не будет, т. к. он является транзитным и после определения добавленной стоимости все суммы списываются на соответствующие счета для подсчета финансового результата по реализации продукции (работ, услуг).

Заключение

Система национального счетоводства предназначена для оценки в целом экономик государств, секторов и регионов. Методика СНС действует на основе международной системы учета и статистики для описания и анализа макроэкономических процессов в странах с рыночной экономикой. В качестве основных сопоставимых показателей выделяют валовой внутренний продукт и национальный доход, которые позволяют сравнить уровень развития различных стран по единому критерию. Использование СНС международным сообществом для оценки экономических процессов различных государств позволяет судить о том, что данную систему можно рассматривать как основу для выявления экономического результата деятельности не только масштабных государственных проектов, но и отдельных субъектов хозяйствования, действующих на определенной административной территории.

На основе проведенной сравнительной характеристики между показателями СНС и хозяйственной деятельности предприятия, в качестве результативного показателя соответствующего ВВП, была определена добавленная стоимость. Добавленная стоимость представляет собой определенную категорию, которая может быть создана только в воспроизводственном процессе на первой его фазе – производство. Добавленная стоимость включает в себя часть конечной стоимости продукции в виде заработной платы работников, амортизационных отчислений и прибыли, включаемой в отпускную цену. Каждый из составляющих элементов добавленной стоимости является определенным источником прибыли – и трудовые ресурсы, и основные производственные фонды предприятия. Анализируя финансово-хозяйственную деятельность предприятия за отчетный период времени, необходимо четко определить сумму затрат, понесенную при воспроизводственном процессе и сумму прибыли на вложенный капитал. Разработанная методика формирования и отражения добавленной стоимости на счетах бухгалтерского учета способствует своевременному получению необходимых показателей для оценки деятельности предприятия не только на основе финансовых результатов, но и в более широком экономическом масштабе, что способствует принятию достаточно эффективных управленческих решений как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе.

Список цитированных источников

1. Вечканов, Г.С. Макроэкономика / Г. С.Вечканов, Г. Р. Вечканова. – СПб. : Питер, 2008. — 240 с.

2. Журавлева, Г. П. Экономика : учебник / Г. П. Журавлева. – М. : Экономистъ, 2006. – 574 с.
 3. История экономических учений : учеб.пособие / И. П. Павлова [и др.] ; С.-Петерб. гос. ун-т аэрокосм. приборостроения. – СПб. : СПбГУАП, 2000. – 191 с.
 4. Белоусов, В. М. История экономических учений : учеб. пособие / В. М. Белоусов, Т. В. Ершова. – Ростов н/Д : Феникс, 2010. – 542 с.
 5. Ядгаров, Я. С. История экономических учений : учебник / Я. С. Ядгаров. – М : ИНФРА–М, 2008. – 460 с.
 6. История экономических учений : учеб. пособие / под ред. В. С. Автономова В. [и др]. М. : ИНФРА–М, 2009. – 357 с.
 7. Сио, К. К. Управленческая экономика: текст, задачи и краткие примеры : учебник : пер. с англ. / К. К. Сио. – 7-е изд. – М. : ИНФРА–М, 2010. – 669 с.
 8. Большой экономический словарь : более 20000 терминов / авт. и сост. А. Б. Борисов. – М. : Кн. мир, 2013. – 895 с.
 9. Курс социально-экономической статистики: учебник для вузов / под ред. проф. М. Г. Назарова. — М. : Финстатинформ, ЮНИТИ-ДАНА, 2012. – 771 с.
 10. Палий, В. Ф. Теория бухгалтерского учета: современные проблемы / В. Ф. Палий. – М. : Бухгалт. учет, 2017. – 88 с.

References

1. Vechkanov, G.S. Makroekonomika / G. S.Vechkanov, G. R. Vechkanova. – SPb. : Piter, 2008. — 240 s.
 2. ZHuravleva, G. P. Ekonomika : uchebnik / G. P. ZHuravleva. – M. : Ekonomist", 2006. – 574 s.
 3. Istoriya ekonomicheskikh uchenij : ucheb.posobie / I. P. Pavlova [i dr.] ; S.-Peterb. gos. un-t aerokosm. priborostroeniya. – SPb. : SPbGUAP, 2000. – 191 s.
 4. Belousov, V. M. Istoriya ekonomicheskikh uchenij : ucheb. posobie / V. M. Belousov, T. V. Ershova. – Rostov n/D : Feniks, 2010. – 542 s.
 5. YAdgarov, YA. S. Istoriya ekonomicheskikh uchenij : uchebnik / Ya. S. YAdgarov. – M : INFRA–M, 2008. – 460 s.
 6. Istoriya ekonomicheskikh uchenij : ucheb. posobie / pod red. V. S. Avtonomova V. [i dr]. M. : INFRA–M, 2009. – 357 s.
 7. Sio, K. K. Upravlencheskaya ekonomika: tekst, zadachi i kratkie primery : uchebnik : per. s angl. / K. K. Sio. – 7-e izd. – M. : INFRA–M, 2010. – 669 s.
 8. Bol'shoj ekonomicheskij slovar' : bolee 20000 terminov / avt. i sost. A. B. Borisov. – M. : Kn. mir, 2013. – 895 s.
 9. Kurs social'no-ekonomicheskoy statistiki: uchebnik dlya vuzov / pod red. prof. M. G. Nazarova. — M. : Finstatinform, YUNITI-DANA, 2012. – 771 s.
 10. Palij, V. F. Teoriya buhgalterskogo ucheta: sovremennye problemy / V. F. Palij. – M. : Buhgalt. uchet, 2017. – 88 s.

Материал поступил 01.05.2023, одобрен 14.06.2023, принят к публикации 14.06.2023

ЮБИЛЯРЫ



**Левчук
Наталья Владимировна**

(к 55-летию со дня рождения)

Родилась 21 декабря 1968 г. в городе Бресте. В 1990 г. окончила Брестский государственный политехнический институт по специальности «Рациональное использование водных ресурсов и обезвреживание промышленных стоков». После окончания ВУЗа по распределению работала на должности инженера в Белорусском государственном проектно-институте в городе Витебске. С 1993 г. – лаборантом химической лаборатории УП «Брестский водоканал». В 1999 г. окончила аспирантуру в Учреждении образования «Брестский государственный технический университет», подготовила диссертацию на тему «Модифицирование портландцементных систем коллоидным

гидроксидом алюминия» по специальности 05.23.05. «Строительные материалы и изделия». Ученая степень кандидата наук присуждена по результатам защиты диссертации 07.12.2006 г. Ученое звание доцента по специальности 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» присвоено в 15 сентября 2010 г.

Левчук Н. В. 20.06.2012 г. избрана на должность доцента кафедры инженерной экологии и химии Учреждения образования «Брестский государственный технический университет». Стаж научно-педагогической работы 20 лет. Основные лекционные курсы: «Химия», «Основы экологии», «Безопасность жизнедеятельности человека». Основные учебно-методические и научные работы: методические указания для выполнения курсового проекта «Водоснабжение и водоотведение промышленных предприятий» для специальности «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов», «Минеральные вяжущие вещества» для специальности «Производство строительных изделий и конструкций», «Химия поверхностных явлений и дисперсных систем», «Гидролиз солей» для специальности «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов».

Левчук Н.В. являлась руководителем дипломных проектов у студентов специальности «Водоснабжение водоотведение и охрана водных ресурсов». Опубликовала более 90 печатных работ, в том числе, 7 патентов. За последние 5 лет опубликовала 25 научных работ, в том числе 4 статьи в изданиях, признаваемых ВАК Республики Беларусь и зарубежных изданиях. Успешно занимается научно-исследовательской работой со студентами. Представленные на Республиканский конкурс работ студентов студенческие научные работы под руководством Левчук Н.В. получали вторую и третью категории.

Научные интересы: физико-химические процессы бетонов, исследование влияния модифицирующих добавок на процессы гидратации, структурообразования, твердения и др. свойства минеральных вяжущих и систем на их основе, методы очистки сточных вод.

Основные научные публикации Левчук Н. В.:

- Проблемы применения мембран в электродиализных установках в процессах обессоливания воды / Н. В. Левчук, А. Г. Новосельцева // Перспективные методы очистки природных и сточных вод: сборник статей регион. науч.-техн. конф.,

- Применение базальтового волокна в бетонных композиционных системах / Е. И. Шляхова, Н. В. Левчук // Ресурсоэнергoeffективные технологии в строительном комплексе региона: сб. науч. трудов Межд. науч. конф., Т. 2 / Саратовский гос. техн. ун-т им. Гагарина Ю. А. – 2018. – С. 170–174.

- Оценка воздействия окружающей среды на объекты исторического и культурного наследия Республики Беларусь / Н. В. Левчук, И. П. Павлова // Реставрация историко-культурных объектов как сохранение культурного наследия Республики Беларусь: сб. татей науч.-техн. семинара, Брест, 30 сентября 2020 г. / Брест. гос. техн. ун-т»; редкол.: под ред. Э.А. Тур [и др.]. – Брест: БрГТУ, 2020. – С. 90–93.

- Влияние воздействия внешней воздушной среды на процессы карбонизации бетона дымовых труб / И. П. Павлова, Н. В. Левчук, В. С. Андреюк // Брестского государственного технического университета. – 2020. – № 1: Строительство и архитектура. – С. 70–77.



Найчук Анатолий Яковлевич

(к 70-летию со дня рождения)

Редколлегия и редакция журнала «Вестник Брестского государственного технического университета» сердечно поздравляют Анатолия Яковлевича НАЙЧУКА, доктора технических наук, доцента, профессора кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета, с 70-летием со дня рождения.

Трудовую деятельность Анатолий Яковлевич начал в 1968 г. После службы в Вооруженных Силах СССР и окончания Брестского инженерно-строительного института с 1979 г. до 1992 г. работал в отделе ЦНИИПромзданий Госстроя СССР в г. Бресте в качестве инженера, затем старшего научного сотрудника и начальника отдела. В 1985 г. защитил кандидатскую диссертацию, а в 2006 г. докторскую диссертацию по специальности «Строительные конструкции, здания и сооружения». С 1992 г. – директор Научно-технического центра Госстроя

Республики Беларусь, с 2004 г. по 2016 г. – директор филиала РУП «Институт БелНИИС» Научно-технический центр (г. Брест).

Сфера научных интересов А. Я. Найчука – исследование деревянных конструкций, механика разрушения анизотропных материалов, долговечность и надежность строительных конструкций. Он является членом Ассоциации деревянного домостроения Российской Федерации, членом рабочих групп Международного комитета ISO 165 «Timber structures», Технического комитета по стандартизации ТК 465 «Строительство» Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии РФ, председателем Технического комитета по стандартизации № 16 «Деревянные конструкции» Минстройархитектуры Республики Беларусь, членом двух диссертационных советов.

Найчук Анатолий Яковлевич опубликовал свыше 150 научных работ, в том числе три учебно-методических пособия. Принимал участие в разработке более 80 ТНПА в области деревянных конструкций Российской Федерации, Республики Беларусь, Украины, имеет три авторских свидетельства на изобретения и патент.

Награжден бронзовой медалью ВДНХ СССР, почетными грамотами Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь, нагрудным знаком Министерства архитектуры и строительства «Ганаровы будаўнік».

Желаем уважаемому Анатолию Яковлевичу доброго здоровья, благополучия, новых творческих успехов на благо строительной науки и образования.



**Тур
Элина Аркадьевна**
(к 60-летию со дня рождения)

Родилась 07.08.1963 в городе Саранске в семье служащих. В 1985 году окончила Брестский инженерно-строительный институт (в настоящее время – Брестский государственный технический университет) по специальности «Промышленное и гражданское строительство». В 1990–1994 г.г. обучалась в аспирантуре Российского химико-технологического университета им. Д. И. Менделеева и БрГТУ по специальности «Химия высокомолекулярных соединений». Кандидат технических наук, в 1996 г. защитила диссертацию «Защитно-декоративные покрытия на основе модифицированных латексных систем». В 2003 г. Тур Э.А. присвоено ученое звание «доцент» по специальности «Химия».

Работает в университете с февраля 1987 г. Занимаемые должности с 1987 по 1994 г.г.: инженер, младший научный сотрудник, научный сотрудник. Ассистент кафедры химии (1994–1999), доцент кафедры инженерной экологии и химии (2000–2015). С 2015 г. по настоящее время – заведующий кафедрой инженерной экологии и химии. Стаж научно-педагогической деятельности составляет 36 лет. Стаж педагогической работы – 29 лет. Читает лекционные курсы «Химия», «Технологии пищевых производств», «Технология основных производств и промышленная экология». Преподавательскую деятельность сочетала с производственной: главный технолог ЧУПП «Кондор» (1998–2002), главный технолог ЧУПП «Строительная техника и материалы» (2002–2009). С 2010 г. является научным консультантом филиала «Брестреставрацияпроект» ОАО «Белреставрация». Принимала участие в разработке государственного стандарта СТБ 1520-2005 «Материалы для горизонтальной разметки автомобильных дорог». Являлась членом технического комитета ТК-25 по лакокрасочным материалам при Госстандарте Республики Беларусь.

Тур Э. А. активно занимается научной работой, является руководителем хозяйственных тем, занимается идеологической и воспитательной работой. Активно руководит научно-исследовательской работой студентов. Ежегодно, с 2009 по 2022 г.г., на Республиканском конкурсе студенческих работ студенческие работы под руководством Тур Э. А. получали 1 и 2 категории. Опубликовала более 200 научных и учебно-методических работ, имеет авторское свидетельство СССР на изобретение. За последние 5 лет получила 50 актов внедрения НИР в производство.

Ежегодно выступает с докладами на научных и научно-методических конференциях. Является членом научно-технического Совета БрГТУ. Награждена Почетной грамотой Министерства образования Республики Беларусь и Почетной грамотой Управления образования Брестского облисполкома.

Кафедра инженерной экологии и химии под руководством Тур Э. А. пять лет подряд, по результатам рейтинга за 2016, 2017, 2018, 2019 и 2020 г.г., занимала 1 место среди общепрофессиональных кафедр университета.

Научные интересы: исследование физико-химических свойств минеральных растворов и окрасочных составов зданий, являющихся объектами историко-культурного наследия Республики Беларусь; разработка и внедрение в производство новых лакокрасочных материалов различного назначения.

Основные публикации:

• Тур, Э.А. К вопросу о сохранении объектов историко-культурного наследия в г. Бресте / Э. А. Тур, С. В. Басов // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2018. – № 1: Строительство и архитектура. – С. 17–21.

• Тур, Э.А. Комплексные научные исследования фасадов костела святых Петра и Павла в д. Рожанка Гродненской области / Э.А. Тур, С.В. Басов, Е.В. Счасная, В.В. Тричик // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2020. – № 1: Строительство и архитектура. – С. 147-152.

• Тур, Э.А. Комплексные научные исследования руин усадьбы «Наднёман» в д. Наднёман Узденского района Минской области как объекта историко-культурного наследия / Э. А. Тур, С. В. Басов, Е. В. Счасная, В.В. Тричик // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2021. – № 1: Технические науки (строительство, машиностроение, геоэкология), экономические науки. – С. 33-38.

• Тур, Э.А. Особенности преподавания курса «Общая химия» студентам специальности «Производство строительных изделий и конструкций» / Э.А. Тур // Современное технологическое образование. Сборник научных статей: в 2-х частях. – М.: Ассоциация технических университетов. Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана; под ред. А.А. Александрова и В.К. Балтяна. – Москва: Межотраслевой учебно-научный центр технологического развития и евразийской интеграции МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. – Часть 1. – С. 250 -262.

• Тур, Э.А. Физико-химические исследования аутентичных строительных растворов и окрасочных составов здания Тюрем №1 в г. Гродно / Э.А. Тур, Е.В. Счасная, С.В. Басов, В.В. Тричик // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2022. – № 2: Технические науки (строительство, машиностроение, геоэкология), экономические науки. – С. 68-74.



Ялова Наталья Петровна

(к 55-летию со дня рождения)

Родилась 26 августа 1968 года в г. Бресте. В 1990 году окончила Брестский государственный педагогический институт имени А. С. Пушкина по специальности «Биология. Химия». В 1993–1996 году обучалась в аспирантуре Брестского политехнического института по специальности «Технология неорганических веществ». Кандидат технических наук, в 2009 году защитила диссертацию «Очистка природных вод заболоченных районов Республики Беларусь в электролизере с алюминиевым анодом» по специальностям 05.17.01 – технология неорганических веществ, 05.17.03 – технология электрохимических процессов и защита от коррозии. В 2010 году присвоено ученое звание «доцент» по специальности «Химия».

С 1993 года работает в Брестском государственном техническом университете. Занимаемые должности: с 1993 по 2009 годы – научный сотрудник, преподаватель-стажер, ассистент, старший преподаватель, доцент; с 2009 по 2017 годы работала в должности директора Института повышения квалификации и переподготовки БрГТУ.

С 2017 года Н. П. Ялова работает проректором по воспитательной работе. Под ее руководством в университете сформирована система воспитательной и идеологической работы, планомерно проводится работа по воспитанию, творческому и спортивному развитию молодежи.

Научно-педагогическая деятельность Н. П. Яловой, стаж которой составляет 30 лет, отражена в 187 публикациях, в том числе 5 пособиях и патенте на изобретение.

В 2011–2013 годах являлась руководителем и исполнителем задания ГПНИ «Механика, техническая диагностика, металлургия» подпрограммы «Гальванические технологии и оборудование» НИР «Исследование физико-химических процессов обработки сплавов на основе алюминия для получения изделий с новыми функциональными свойствами». В 2014–2015 годах – руководитель задания ГПНИ «Строительные материалы и технологии» НИР «Провести исследования и разработать метод определения содержания азотсодержащих соединений в добавках для бетонов». Результаты выполненной в соавторстве научной работы «Проведение научных исследований и разработка экспресс-методики определения ионов аммония в бетонных смесях» легли в основу Изменений в Стандарт «Добавки для бетонов. Общие технические условия: МКС 91.100.01 Изменение № 1 СТБ 1112-98» (введены 01.10.2016. – Минск: Госстандарт, 2016. – 4 с.).

Наталья Петровна принимает активное участие в общественной жизни университета, города, области и республики. Является заместителем председателя Московской районной г. Бреста организации РОО «Белая Русь», председателем первичной организации РОО «Белая Русь» БрГТУ, членом ОО «Белорусский союз женщин».

Целенаправленная работа Н.П.Яловой в развитии системы высшего образования, молодежной политики обеспечивает высокое качество подготовки будущих специалистов – граждан Республики Беларусь.

За высокий профессионализм, многолетнюю плодотворную научно-педагогическую деятельность и значительный личный вклад в подготовку высококвалифицированных специалистов Н.П.Ялова в 2016 году награждена медалью «За трудовые заслуги». За работу в учебном и научном направлении имеет почетные грамоты Министерства образования Республики Беларусь, Брестского городского исполнительного комитета, Брестского государственного технического университета.



Памяти Ирины Николаевны Шпока

(13.10.1973 – 14.10.2021 гг.)

13 октября 2023 г. исполняется 50 лет со дня рождения кандидата географических наук, доцента, члена географического общества, ученого в области метеорологии и климатологии Ирины Николаевны Шпока.

Ирина Николаевна Шпока хорошо известна в нашей стране как ведущий ученый и специалист в области опасных метеорологических явлений, гидрометеорологии, геоэкологии, экологии.

Ирина Николаевна родилась 13.10.1973 в городе Бресте в семье рабочих. После окончания в 1990 году средней общеобразовательной школы № 14 г. Бреста Ирина Николаевна работала в системе образования, что и определило ее дальнейший выбор педагогической специальности. В 1993 году И.Н.Шпока поступила в Брестский государственный педагогический институт имени А. С.Пушкина на факультет естествознания по специальности география, где проработала 20 лет, совмещая учебу в институте и работу на кафедре географии Беларуси. Ирина Николаевна отличалась трудолюбием и целеустремленностью в достижении поставленных целей. После окончания института И.Н.Шпока в статусе соискателя подготовила диссертацию на соискание ученой степени кандидата географических наук на тему «Пространственно-временное распределение опасных метеорологических явлений на территории Беларуси», которую успешно защитила 1 марта 2012 года в специализированном совете при Институте природопользования НАН Беларуси. В 2013 году И. Н.Шпока была приглашена в Брестский государственный технический университет на кафедру природообустройства на должность доцента. 24 декабря 2014 г. ей присвоено ученое звание доцента по специальности «Экология».

И. Н.Шпока – автор более 50 научных трудов в ведущих журналах Республики Беларусь и за рубежом. Основными являются следующие работы: монографии «Опасные метеорологические явления на территории Беларуси»; «Водное хозяйство и охрана окружающей среды Брестской области»; пособие «Метеорология и климатология: пособие для студентов высших учебных заведений по специальности «Природоохранная деятельность»; учебное пособие на двух языках (русский, английский) «Атлас опасных метеорологических явлений на территории Беларуси» и др.

Ирина Николаевна Шпока была жизнерадостным, ярким, добрым, харизматичным, целеустремленным, отзывчивым человеком. Вокруг нее всегда бурлила жизнь, она любила свою семью, работу, студентов, всегда делилась с ними накопленными знаниям и опытом, с радостью готова была прийти на помощь.

14 октября 2021 года, в расцвете жизненных и творческих сил, перестало биться сердце Ирины Николаевны Шпока. Память об этом прекрасном, интеллигентном, светлом и добром человеке, ученом навсегда останется в наших сердцах.

***Коллектив факультета инженерных систем и экологии
Брестского государственного технического университета.***

Научное издание

ВЕСТНИК БРЕСТСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ (СТРОИТЕЛЬСТВО, МАШИНОСТРОЕНИЕ, ГЕОЭКОЛОГИЯ);
ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ
№ 2 (131). 2023 г.

Главный редактор	Баханович А. Г.
Зам. главного редактора	Шалобыта Н. Н.
Ответственный секретарь	Ковальчук Е. Н.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Ответственный редактор по разделу «Строительство»	Тур В. В.
Зам. ответственного редактора по разделу «Строительство»	Пойта П. С.
Ответственный редактор по разделу «Машиностроение»	Нерода М. В.
Зам. ответственного редактора по разделу «Машиностроение»	Поддубко С. Н.
Ответственный редактор по разделу «Геоэкология»	Волчек А. А.
Зам. ответственного редактора по разделу «Геоэкология»	Мешик О. П.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Ответственный редактор по разделу «Экономика»	Касперович С. А.
Зам. ответственного редактора по разделу «Экономика»	Зазерская В. В.
Технический редактор	Ковальчук Е. Н., Митлошук М. А.
Дизайн	Колб К. С.
Корректор	Дударук С. А.

Лицензия № 02330/463 от 27.03.2014 г. Подписано в печать
28.07.2023 г. Формат 60×84¹/₈. Бумага «Performer». Гарнитура «Arial».
Уч.-изд. л. 24,25. Усл. печ. л. 22,55. Заказ № 833. Тираж 100 экз.
Отпечатано на ризографе УО «Брестский государственный
технический университет» Адрес редакции: 224017, г. Брест,
ул. Московская, 267, Брестский государственный
технический университет. Тел. 32 17 40,
e-mail: rio_nikand@mail.ru, <http://journal.bstu.by>

