



ISSN 1818-1112

№ 2(134)

Научно-практический журнал
Scientific and practical journal

ВЕСТНИК

Брестского государственного
технического университета

VESTNIK
of Brest State
Technical University

WWW.BSTU.BY

DOI 10.36773/1818-1112-2024-134-2

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
специалист 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 диссертаций по техническим (строительство, машиностроение, геоэкология) и экономическим отраслям науки.

Журнал представлен в Научной электронной библиотеке eLibrary.ru и включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Подписные индексы в каталоге РУП «Белпочта»: 00551 (индивидуальная), 005512 (ведомственная).



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(134)'2024

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТРОИТЕЛЬСТВО

КИВАЧУК С. В., ПАНЧЕНКО Т. А. Историография исследований архитектуры и градостроительства Второй Польской республики (1921–1939 гг.)**3**

КАПЕРЕЙКО Ю. В., ЗАРЕЧНЫЙ А. О., НОВОСЕЛЬЦЕВ В. Г. Метеопрогностическое регулирование в системах водяного отопления**6**

ЕВСТРАТЕНКО А. В. Депрессивные территории в структуре г. Гомеля**12**

МАКАРЕВИЧ Н. Ю., ЯГЛОВ В. Н. Физико-химические свойства добавок для получения композиционных вяжущих на основе фосфогипса**19**

ЧЕРНОИВАН Н. В., НОВОСЕЛЬЦЕВ В. Г. Предложения по тепловой реабилитации фасадов эксплуатируемых крупнопанельных жилых зданий типовых серий**24**

ГУРИНОВИЧ В. Ю., ЮХНЕВСКИЙ П. И., ЛЕОНОВИЧ С. Н. Системный подход выбора способа производства изделий крупнопанельного домостроения**28**

ТУР В. В., НАДОЛЬСКИЙ В. В. Форматы метода коэффициентов надежности при проектировании железобетонных конструкций на основе компьютерных моделей**34**

НАЙЧУК А. Я., МАРКЕЧКО Е. В., ГЛУШКО К. К., СЮЙ ЮНЬ. Сопротивление сжатого винта потере устойчивости, установленного поперек волокон древесины**41**

БЕЛОМЕСОВА К. Ю., ПАВЛОВА И. П. Аналитическая модель расчета количества базальтовой фибры для получения дисперсно-армированного напрягающего бетона оптимальной структуры. Параметрические исследования и верификация модели**49**

ТУР А. В., ТУР В. В., ЛИЗОГУБ А. А. Оценка рисков отказа конструктивных систем из железобетона в особой расчетной ситуации**53**

ЛАЗОВСКИЙ Д. Н., ГИЛЬ А. И., ГЛУХОВ Д. О. Диаграмный подход при расчете деревянных конструкций по СП 5.05.01-2021**66**

ПОЙТА П. С., ШАЛОБЫТА Н. Н., ШАЛОБЫТА Т. П. Влияние жесткости зданий на развитие неравномерных осадок**73**

МАШИНОСТРОЕНИЕ

ПРОКОПЕНЯ О. Н., ВАБИЩЕВИЧ Л. И., ПРОЖИЖКО О. Г., ЛАПУКА А. С. Оптимизация позиционного привода постоянного тока**79**

МАКОВЕЕВ В. С., ШВЕЦОВА Е. В. Беспилотные транспортные тележки – будущая основа технологических линий мясорезовых производств**84**

САВЧУК С. В., САЛИВОНЧИК Ю. Н., СОКОЛ В. А., ЯЛКОВСКИЙ Н. С., ЛЕПЕШКИН Н. Д. Результаты приемочных испытаний агрегата почвообрабатывающе-посевного широкофункционального АМПШ-6**89**

ЖОРНИК В. И., НЕРОДА М. В., МАТИНОВСКАЯ О. В. Перспективы применения высокоскоростной обработки закаленной стали 45 инструментом из композитов на основе сВН, модифицированного алюминием**93**

КЛОЧКОВ В. Н., ПОДЫМАКО М. Э., КОЛЕСОВ И. А. Моделирование технологического процесса гибки листовых деталей на этапе проектирования штампового оборудования**98**

ГЛАДКОВСКИЙ В. И., КУШНЕР Т. Л., ПИНЧУК А. И., ШЕПЕЛЕВИЧ В. Г., ШИЛЬКО В. М. Зеренная структура и механические свойства быстрозатвердевших фольг сплава AL-7 МАСС.% В1, полученных методом спиннингования**104**

ГЕОЭКОЛОГИЯ

ХРИПОВИЧ А. А., ЦЫГАНОВА А. А., ТИШКОВСКАЯ Е. А. Использование природных каустобиолитов для минимизации засоления почвы в техногенно нарушенных экосистемах**108**

КАЗИМИРСКАЯ Е. Н., ЛИХАЧЕВА А. В. Влияние температурной обработки на физико-химические характеристики магнитных сорбентов, полученных из отходов производства**112**

КАМЫШЕНКО Г. А. Тепло- и влагообеспеченность южной части территории Беларуси в вегетационный период**116**

ВОЛЧЕК А. А. Пространственно-временные колебания стока рек Беларуси в современных условиях**121**

ЯЛОВАЯ Н. П., ДОРДЮК Ю. С. Исследование состава древесно-торфяных отходов для применения в качестве топлива или древесного компоста**131**

ГЕРМЕНЧУК М. Г., ЦЫБУЛЬКО Н. Н., ШАЛЬКЕВИЧ П. К., ДАШКЕВИЧ Т. В. Динамика состава радиационной обстановки и ранжирование радиэкологических рисков в Республике Беларусь136

КИТИКОВ В. О., ПОЛОЗ И. И., ЧУХОЛЬСКИЙ А. И. Обоснование критериев при выборе технологии использования осадков сточных вод146

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

ГОЛУБОВА О. С. Система организации профессиональной деятельности специалистов по стоимостному инжинирингу в строительстве151

ЛУКАШКОВА О. Ю. Методика управления персоналом транспортной организаций на основе оценки упущенной выгоды157

ЗАКНАРЧУК Т. D. Main Approaches to the Definition of the Concept «Labor Resources»162

ЧЕТЫРБОК Н. П. Теоретические аспекты конкуренции и ее роль в формировании национальных экономических систем165

РЕЗЬКО П. Н. Использование лингвистических инструментов для продвижения товаров и услуг171

ИВАНОВ М. Б. Методические подходы к оценке конкурентного потенциала АТЕ и направлений его развития (на примере Брестской области)174

ЗАЗЕРСКАЯ В. В. Экономический потенциал трансграничного региона: особенности трансграничного взаимодействия181

КУРИЛЮК Д. А. Построение отраслевых лабораторий в Республике Беларусь в контексте мирового опыта186

ПОТАПОВА Н. В., КОВАЛЕВСКАЯ Ю. Д. Анализ зарубежного и отечественного опыта профессиональной подготовки специалистов таможенного дела190

СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 728.03

ИСТОРИОГРАФИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ АРХИТЕКТУРЫ И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА
ВТОРОЙ ПОЛЬСКОЙ РЕСПУБЛИКИ (1921–1939 ГГ.)

С. В. Кивачук¹, Т. А. Панченко²

¹ Магистр, преподаватель-стажер кафедры архитектуры УО «Брестский государственный технический университет»,
Брест, Беларусь, e-mail: sava.kivachuk@mail.ru

² Кандидат архитектуры, доцент, профессор кафедры архитектуры УО «Брестский государственный технический университет»,
Брест, Беларусь, e-mail: tapanchenko@list.ru

Реферат

В статье рассматриваются исследования отечественных и зарубежных авторов по архитектуре и градостроительству Второй Польской республики. Описанные труды (диссертационные исследования, монографии) и многочисленные публикации обобщаются и систематизируются, на их основе приводится хронология исследовательской активности. В ней выделяются три этапа исследований. Из них современный этап характеризуется наибольшей активностью как в нашей стране, так и за рубежом. Однако архитектура и градостроительство Западной Беларуси, являющейся частью Второй Польской республики в период с 1921 по 1939 гг., в связи с отсутствием информации и идеологической обусловленностью практически так и не были изучены.

Ключевые слова: Вторая Польская республика, Западная Беларусь, архитектура и градостроительство, изученность, исследования, историография.

HISTORIOGRAPHY OF ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING STUDIES OF THE SECOND POLISH REPUBLIC (1921–1939)

S. V. Kivachuk, T. A. Panchenko

Abstract

The article examines the research of domestic and foreign authors on architecture and urban planning of the Second Polish Republic. The described works (dissertation research, monographs) and numerous publications are summarized and systematized, and a chronology of research activity is provided on their basis. It highlights three stages of research. Of these, the current stage is characterized by the greatest activity both in our country and abroad. However, the architecture and urban planning of Western Belarus, which was part of the Second Polish Republic in the period from 1921 to 1939, due to lack of information and ideological conditionality, have not been studied in practice.

Keywords: The Second Polish Republic, Western Belarus, architecture and urban planning, studies, research, historiography.

Введение

Период существования Второй Польской республики был временем динамичных процессов слияния и модернизации. Они также нашли свое отражение в архитектуре [1, с. 869]. Спустя десятилетия, развитие архитектуры Польской республики межвоенного периода стало предметом многочисленных исследований в странах, входивших в ее состав. Особенно актуальны исследования на эту тему стали в последние десятилетия. Это объясняется широким признанием опыта Второй Польской республики в области архитектуры и градостроительства как передового среди стран Западной Европы и, соответственно, стремлением посредством исследований подчеркнуть свою принадлежность к западноевропейской культуре. Аналогичное значение тема развития архитектуры и градостроительства этого государства имеет и для современной Республики Беларусь.

Обзор исследований

С началом XXI века интерес исследователей по всему миру к архитектурному наследию межвоенного периода значительно возрос. Наблюдается неизменно высокая активность польских ученых в области анализа развития архитектуры Второй Польской республики в контексте аналогичных процессов в Западной Европе [2, с. 56]. Однако историография полноценных исследований архитектуры Второй Польской республики начинается еще с середины XX века. В первую очередь, это крупные исследования польских ученых (И. Вислоцкой, А. Ольшевского, П. Краковского). На территории современных Беларуси и Украины исследования начались лишь в XXI веке (Е. В. Морозов и А. С. Шамрук в Беларуси, О. Л. Михайлишин в Украине). При всем этом градостроительные и архитектурно-планировочные особенности застройки западных регионов Беларуси фактически не попали в поле исследования ни отечественных, ни зарубежных ученых.

На территории современной Беларуси исследования касательно архитектуры периода 1921–1939 гг. в большей степени носят искусствоведческий характер. Стилистические и композиционные особенности архитектуры межвоенного периода рассмотрены в трудах Е. В. Морозова и А. С. Шамрук и относятся к первому десятилетию XXI века.

Особенности архитектуры Беларуси межвоенного периода в контексте развития архитектуры последнего столетия описаны Аллой Сергеевной Шамрук в монографии «Архитектура Беларуси XX – начала XXI в.: Эволюция стилей и художественных концепций» (2007 г.) и одноименной диссертации на соискание ученой степени доктора искусствоведения (2008 г.). В работах А. С. Шамрук рассматриваются особенности архитектуры как западных, так и восточных регионов Беларуси периода 1920–1930-х гг. Архитектуре межвоенного периода посвящены разделы «Авангард и традиция 1920 – начала 1930-х гг.» и «Постконструктивизм 1934–1941 гг.». Автор рассматривает архитектуру Беларуси данного периода как «целостный художественный феномен в многообразии стиливых проявлений и взаимодействии разнохарактерных традиций» [3, с. 4]. Жилая архитектура Западной Беларуси 1920-х гг. характеризуется развитием традиций усадебной застройки, часто в сочетании с классицистическими приемами. В архитектуре многоквартирных и индивидуальных жилых домов 1930-х гг. прослеживается сочетание стиливых черт авангардной архитектуры и Ар Деко [4, с. 5–10]. Также стилистическая оценка архитектуры Западной Беларуси 1921–1939 гг. дана А. С. Шамрук в публикациях «Архитектура Западной Беларуси: авангард и Ар Деко» (2008 г.); «Стиль Ар Деко в архитектуре Западной Беларуси 1920–1930-х годов» (2008 г.).

Впервые в отечественном искусствознании архитектурное наследие 1920–1930-х гг. западных регионов Беларуси в рамках одного исследования было рассмотрено Евгением Валерьевичем Морозовым. В диссертации «Стили и направления в белорусской архитектуре

1920–1930-х годов» (2006 г.) на соискание ученой степени кандидата искусствоведения Е. В. Морозов рассматривает архитектурное наследие Беларуси в контексте европейской культуры на примере жилых, общественных и некоторых промышленных зданий, возведенных в 1920–1930-е гг. в границах современного белорусского государства [5, с. 2]. В диссертации рассмотрена искусствоведческая категория «стиль» как инструмент изучения архитектуры Беларуси межвоенного периода; выделены основные этапы ее развития на общем, региональном уровнях и в контексте европейской культуры; архитектурное наследие начала и середины 1920-х гг. представлено в русле продолжения развития стилей модерн, эклектика неоклассицизм, сформированных в довоенное время; охарактеризованы поиски национального стиля в формах готики и барокко, воплощенных в запованском (усадебном) стиле; показано влияние функционализма на белорусскую архитектуру в конце 1920-х – начале 1930-х гг.; отмечена тенденция обращения к классическому наследию и монументальным решениям в белорусской архитектуре 1930-х гг., влияния стиля Ар Деко [5, с. 3–13].

Особенности развития стилистики белорусской архитектуры исследуемого периода и ряд характерных объектов рассмотрены в следующих публикациях Е. В. Морозова: «Основные направления в архитектуре Западной Беларуси 20–30-х годов XX века» (2004 г.); «Беларуская архітэктура 1920–1930-х гадоў. Асноўныя мастацкія напрамкі» (2006 г.); «Архитектурное наследие Беларуси 1920–1930-х гг. Проблемы атрибуции и сохранения» (2007 г.); «Прыёмы традыцыйнай жылой архітэктуры на прыкладзе былых пасёлкаў для службоўцаў 20-х гг. XX стагоддзя ў заходніх рэгіёнах Беларусі» (2019 г.) и др.

Следовательно, работы отечественных авторов в хронологии исследовательской активности можно отнести к первому десятилетию XXI века. В них затронуты объемно-пространственные, композиционные и стилистические особенности застройки Западной Беларуси. В область исследований не вошли градостроительные, архитектурно-планировочные, типологические и конструктивные особенности жилой застройки.

Так как сегодня территории, входившие в состав Второй Польской республики, относятся к разным государствам (Польша, Беларусь, Украина, Литва) и данная тема, соответственно, является предметом для исследования ученых всех этих стран, то выявление специфики архитектурно-градостроительных процессов в Западной Беларуси в 1920–1930-е гг. невозможно без ознакомления с исследованиями относительно развития архитектуры этого же периода в соседних Украине и Польше.

Архитектурно-планировочные и градостроительные особенности жилой застройки западных областей Украины периода 1921–1939 гг. описаны Ольгой Леонидовной Михайлишин – доктором архитектуры, профессором, заведующей кафедрой архитектуры и среднего дизайна Национального университета водного хозяйства и природопользования в Ровно. В монографии «Архітэктура і містобудування Західної Волині 1921–1939 років» (2013 г.) архитектурно-градостроительная деятельность на Западной Волини в межвоенный период представлена как целостное явление, которое рассматривается в социокультурном контексте Второй Польской республики и европейской культуры [6, 352 с.]. Исследования автора также датируются первым десятилетием XXI века.

Диссертация О. Л. Михайлишин «Розвиток архітектури міжвоєнної Волині в умовах соціокультурних трансформацій ХХ століття» (2014 г.) на соискание ученой степени доктора архитектуры отражает особенности развития отечественной архитектуры и градостроительства в аспекте сохранения и реставрации наследия как в исследуемый период, так и в настоящее время [7, с. 10–23]. В диссертации проанализированы основные принципы и направления функционально-пространственного и композиционно-планировочного развития городов Волини в контексте тенденций в польском градостроительстве, рассмотрены особенности формирования стилистических приоритетов в гражданской архитектуре исследуемого региона, очерчены особенности и закономерности развития архитектуры в регионе как социокультурного феномена. Рассмотрено пространственное развитие основных городов: Луцка, Ровно, Ковеля, Владимир-Вольнского, Кременца, Дубно, Сарн и др. На примере крупнейших городов региона – центров воеводств – Луцка и Ровно – рассмотрены задачи преобразования городской среды на градостроительном и объектном уровнях.

Также автору принадлежит несколько десятков публикаций по архитектуре и градостроительству Волини межвоенного периода: «Розвиток типології житла на Волині у 1920–30-х роках на прикладі забудови кварталів для військовослужбовців» (2009 г.); «До проблеми формування концепції архітектури житла у міжвоєнній Польщі» (2010 г.); «Житловий квартал для службовців у Кременці 1920-х років: стилістичні та архітектурно-планувальні особливості» (2010 г.) и др. Одна из последних статей «Architecture of avant-garde in Ukraine in 1921–1939: origins, ways of spreading, main features. Case study of Volyn» (2022 г.) отражает направления и пути распространения авангардной архитектуры периода 1921–1939 гг. на территории Украины.

Значительный вклад в изучение межвоенной архитектуры Второй Польской республики, а в ее контексте – Западной Беларуси – сделали польские исследователи. Анализ и оценку архитектурного процесса в межвоенной Польше в градостроительном, архитектурно-планировочном, типологическом отношениях в середине XX – начале XXI вв. выполнили Изабелла Вислоцкая, Витольд Чарнецкий, Мацей Мотак, Анна А. Вагнер, Алиция Шмельтер и др. Стилистическую оценку архитектуре межвоенного периода дали польские искусствоведы Петр Краковский, Анджей К. Ольшевский, Марта Лесняковская, Малгожата Омеляновская, Катажина Ухович и др.

Одно из ключевых и первых крупных исследований в области межвоенной архитектуры Польши отражено в монографии «Awangardowa Architektura Polska 1918–1939» (1968 г.) Изабеллы Вислоцкой (Izabella Wislocka, 1919–2003) – доктора технических наук, архитектурный факультет Варшавской политехники, члена Союза архитекторов польских. Структурно издание разделено на две части: возникновение и развитие современной архитектуры в Европе и развитие авангардной архитектуры в Польше. Рассматриваются условия и предпосылки формирования современной архитектурной мысли, основные центры архитектурной и градостроительной деятельности в Европе и, в этом контексте, во Второй Польской республике.

Оценка достижений в области архитектурной и градостроительной деятельности Второй Польской республики и ее влияние на послевоенные архитектурные реализации отражена в сборнике исследований «Wpływ dorobku II Rzeczypospolitej na urbanistykę i architekturę powojenną» (2011 г.) под редакцией профессора Витольда Чарнецкого (Witold Czarniecki).

В последние десятилетия оценку архитектурно-градостроительной деятельности периода 1918–1939 гг. дал Мацей Мотак (Maciej Motak) – профессор, доктор архитектуры (dr hab. inż. arch.), архитектурный факультет Краковской политехники. В область исследований вошли архитектура и градостроительство польского межвоенного периода (1918–1939 гг.) и, в частности, архитектура и градостроительство на примере Кракова: «Conservation of 1918–1939 modern neighbourhoods in present-day Krakow» (2016 г.), «Osiedle Urzędnicze w Krakowie. Urbanistyka i Architektura 1924–1942» (2018 г.).

Также на современном этапе исследования в этой области активно ведутся сотрудниками архитектурного факультета Варшавской политехники – Аницей Шмельтер, Анной А. Вагнер и др. А. Шмельтер (Alicja Szmelter) – кандидат архитектуры, доцент (dr inż. arch.) – в своих работах рассматривает жилую архитектуру межвоенной Варшавы («Wielorodzinny dom mieszkalny Funduszu Kwaterunku Wojskowego dla oficerów przy ulicy Koszykowej w Warszawie projektu Romualda Gutta i Jozefa Jankowskiego, 1931–1933. Urbanistyka i architektura» (2022 г.); поселения, возведенные в пригороде Варшавы по принципу Города-сада и мероприятия по их сохранению («Problems of Garden-City Protection in the Suburban Area of Warsaw» (2020 г.), «Pre-war Inspirations in Shaping Green Spaces in Post-war Warsaw» (2020 г.)). Монография А. Шмельтер «Początki urbanistyki współczesnej. Początki urbanistyki współczesnej. Doświadczenia zagraniczne a środowisko warszawskich urbanistów przełomu XIX i XX w.» (2019 г.) посвящена вопросам о истоках современного польского градостроительства, принципах, сформированных первыми польскими архитекторами-градостроителями после обретения независимости в 1918 г. – основателями Варшавской архитектурной школы.

Исследования А. Вагнер (Anna Agata Wagner) – кандидата архитектуры, доцента (dr inż. arch.) – затрагивают жилую архитектуру Варшавы и типологию жилья на примере реализации крупнейшими государственными организациями. В частности, одно из последних

исследований автора «Architektura mieszkaniowa Warszawy w okresie międzywojnia na przykładzie realizacji Spółdzielni Budowlano-Mieszkaniowych, Funduszu Kwaterunku Wojskowego i Warszawskiej Spółdzielni Mieszkaniowej, powstałych w rejonie Pola Mokotowskiego» (2021 г.).

Стилистические особенности польской архитектуры периода 1918–1939 гг. описаны в трудах искусствоведов Петра Краковского (Piotr Krakowski, 1925–1997), Анджея К. Ольшевского (Andrzej K. Olaszewski), Анджея Щерского (Andrzej Szczerski), Михала Пчелковского (Michał Pszczółkowski), Марты Лесняковской (Marta Lesniakowska), Малгожаты Омиляновской (Małgorzata Omiłanowska), Катажины Ухович (Katarzyna Uchowicz) и др. Среди многочисленных исследований стилистические особенности архитектуры межвоенного периода соседних Беларуси и Украины затрагиваются только в работах М. Пчелковского – доктора искусствоведения, профессора (dr hab. historii sztuki), академика изящных искусств в Гданьске. Архитектура и ряд объектов в Западной Беларуси, в первую очередь города Бреста, описаны им в книге «Kresy nowoczesne. Architektura na ziemiach wschodnich II Rzeczypospolitej 1921–1939» (2016 г.), статье «Architecture of Brest-on-the-Bug in the Second Polish Republic» (2014 г.).

Исследования польских ученых, начатые в середине XX века (И. Вислоцкой, П. Краковского, А. Ольшевского), стали фундаментом для последующих исследований на современном этапе. В них дана комплексная оценка архитектуры и градостроительства Второй Польской республики, установлена связь с аналогичными процессами в Западной Европе.

Большое значение для формирования методики градостроительных исследований в 1920–1930-е гг. имеют работы самих архитекторов межвоенного периода – авторов исследуемых объектов: Тадеуша Толвинского, Романа Фелинского; распространения в Польше идей регионального планирования и современного градостроительства – труды практикующих архитекторов-градостроителей Адама Папроцкого, Адама Кунцевича, Марии Баккевич; популяризации идей национальной архитектуры 1920-х гг. – работы Станислава Виткевича (1890-е гг.), архитектора Стефана Шиллера (1916–1917 гг.), исследования профессора Юлиуша Клоса (территориально охватывают Виленское воеводство Второй Польской республики); идей новой архитектуры 1930-х гг. – работы архитекторов Ромуальда Гутта, Юзефа Янковского, Эдгара Норверта, Казимира Толлоכה, Вацлава Веккера, архитекторов группы «Praesens» (Шимон Сыркус, Богдан Лахерт, Юзеф Шанайца и др.).

Заключение

Таким образом, историография исследований архитектуры и градостроительства Второй Польской республики и, в частности, Западной Беларуси представлена работами отечественных и зарубежных (Польша, Украина) авторов. Хронологически можно обозначить три этапа исследовательской активности. Первый этап совпадает с временными границами исследования (1920–1930-е гг.); второй включает фундаментальные исследования польских ученых (1960–1970-е гг.); третий, современный этап, представлен исследованиями как отечественных, так и зарубежных авторов (2000–2010-е гг.). Современные исследования зарубежных авторов (О. Л. Михайлишин, М. Пчелковский, А. Шмельтер, М. Мотак) рассматривают архитектурные и градостроительные особенности застройки межвоенного периода с позиций влияния западноевропейских идей в общем контексте развития европейской культуры. В работах отечественных авторов архитектура Западной Беларуси рассматривается только с искусствоведческой точки зрения. Предметом исследования стали композиционные и стилистические особенности застройки. Не были изучены как градостроительные и объемно-планировочные, так и типологические, конструктивные особенности жилой застройки.

Список цитированных источников

1. Szczerski, A. Sztuka i architektura dla II Rzeczypospolitej / Andrzej Szczerski // Zeszyty naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego. Prace Historyczne 147. – Krakow, 2020. – S. 869–881.
2. Mykhaylyshyn, O. Architecture of avant-garde in Ukraine in 1921–1939: origins, ways of spreading, main features. Case study of Volyn / Olga Mykhaylyshyn // Multiple Modernities in Ukraine: DOCOMOMO Journal. – № 67. – 12 december 2022. – Delphi : Delft University of Technology, 2022. – P. 56–64.
3. Шамрук, А. С. Архитектура Беларуси XX – начала XXI в.: эволюция стилей и художественных концепций / А. С. Шамрук. – Минск : Белорус. наука, 2007. – 335 с.
4. Шамрук, А. С. Архитектура Беларуси XX – начала XXI века. Эволюция стилей и художественных концепций : автореф. дис. ... докт. искусствоведения : 17.00.04 / А. С. Шамрук ; Инст. искусствоведения, этнографии и фольклора им. К. Крапивы НАН Беларуси. – Минск, 2008. – 38 с.
5. Морозов, Е. В. Стили и направления в белорусской архитектуре 1920–1930-х годов : автореф. дис. ... канд. искусствоведения : 17.00.04 / Е. В. Морозов ; Инст. искусствоведения, этнографии и фольклора им. К. Крапивы НАН Беларуси. – Минск, 2006. – 20 с.
6. Михайлишин, О. Л. Архитектура і містобудування Західної Волині 1921–1939 років : Монографія / О. Л. Михайлишин. – Рівне : Дятлик М, 2013. – 352 с.
7. Михайлишин, О. Л. Розвиток архітектури міжвоєнної Волині в умовах соціокультурних трансформацій XX століття : автореф. дис. ... докт. арх.: 18.00.01 / О. Л. Михайлишин ; Львівська політехніка. – Львів, 2014. – 34 с.

References

1. Szczerski, A. Sztuka i architektura dla II Rzeczypospolitej / Andrzej Szczerski // Zeszyty naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego. Prace Historyczne 147. – Krakow, 2020. – S. 869–881.
2. Mykhaylyshyn, O. Architecture of avant-garde in Ukraine in 1921–1939: origins, ways of spreading, main features. Case study of Volyn / Olga Mykhaylyshyn // Multiple Modernities in Ukraine: DOCOMOMO Journal. – № 67. – 12 december 2022. – Delphi : Delft University of Technology, 2022. – P. 56–64.
3. SHamruk, A. S. Arhitektura Belarusi XX – nachala XXI v.: evolyuciya stilej i hudozhestvennyh koncepcij / A. S. SHamruk. – Minsk : Belarus. nauka, 2007. – 335 s.
4. SHamruk, A. S. Arhitektura Belarusi XX – nachala XXI veka. Evolyuciya stilej i hudozhestvennyh koncepcij : avtoref. dis. ... dokt. iskusstvovedeniya : 17.00.04 / A. S. SHamruk ; Inst. iskusstvovedeniya, etnografii i fol'klora im. K. Krapivy NAN Belarusi. – Minsk, 2008. – 38 s.
5. Morozov, E. V. Stili i napravleniya v belorusskoj arhitekture 1920–1930-h godov : avtoref. dis. ... kand. iskusstvovedeniya : 17.00.04 / E. V. Morozov ; Inst. iskusstvovedeniya, etnografii i fol'klora im. K. Krapivy NAN Belarusi. – Minsk, 2006. – 20 s.
6. Mihajlshin, O. L. Arhitektura i mistobuduvannya Zahidnoi Volini 1921–1939 rokiv : Monografiya / O. L. Mihajlshin. – Rivne : Dyatlik M, 2013. – 352 s.
7. Mihajlshin, O. L. Rozvitok arhitekturi mizhvoennoi Volini v umovah sociokulturnih transformacij XX stolittya : avtoref. dis. ... dokt. arh.: 18.00.01 / O. L. Mihajlshin ; L'vivska politehnika. – L'viv, 2014. – 34 s.

Материал поступил 06.03.2024, одобрен 23.03.2024, принят к публикации 23.03.2024

МЕТЕОПРОГНОСТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ В СИСТЕМАХ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ

Ю. В. Каперейко¹, А. О. Заречный², В. Г. Новосельцев³

¹ Магистрант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, стажер младшего научного сотрудника УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: yulya.kapereyko@mail.ru

² Студент факультета электронно-информационных систем УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: adrian_zare@mail.ru

³ К. т. н., доцент, заведующий кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: vgnovoseltsev@yandex.ru

Реферат

В данной статье представлены исследования по реализации метеопрогностического регулирования системами водяного отопления и эффективности данного подхода в сравнении с современными решениями погодозависимого управления параметрами систем водяного отопления.

Совершенствование данной технологии может достигаться при использовании прогностически достоверных метеоданных, во временной основе которых лежит принцип краткосрочной адаптации системы теплоснабжения. В качестве факторов влияния на теплопотери здания принята не только температура наружного воздуха, но и другие климатические условия окружающей среды.

Ключевые слова: система водяного отопления, метеопрогностическое регулирование, микроклимат помещений.

WEATHER FORECASTING CONTROL IN WATER HEATING SYSTEM

Y. V. Kapereyko, A. O. Zarechny, V. G. Novoseltsev

Abstract

This article presents research on the implementation of predictive regulation of water heating systems and the effectiveness of this approach in comparison with modern solutions for weather-dependent control of parameters of water heating systems.

The improvement of this technology can be achieved by using predictively reliable weather data, which is based on the principle of short-term adaptation of the heat supply system. Not only the temperature of the outside air, but also other climatic conditions of the environment are accepted as factors of influence on the heat loss of the building.

Keywords: water heating system, weather forecasting control, indoor microclimate.

Введение

В последние десятилетия развития способов проектирования различных инженерных систем ярко выражается необходимость рационализации процессов регулирования этих систем для установления экономически и энергетически обоснованных режимов работы.

Вопросами регулирования в энергоэффективном ключе занимались различные отечественные и зарубежные авторы [1–5]. Этот вопрос является одним из главных в теме экономии энергоресурсов и их эффективного использования.

В современных решениях погодозависимого управления параметрами систем водяного отопления реализован принцип использования фактической информации, получаемой напрямую со стороны датчиков наружной температуры [6]. Однако существуют и другие факторы, которые влияют на теплопотребление зданием энергии, причем эти факторы не учитываются ввиду их малой значимости и непостоянства воздействия. Однако для достижения экономичности использования энергоресурсов их следует учитывать. Целью исследования является изучение возможностей учета различных факторов влияния для энергоэффективного потребления, а так же целесообразности применения полученных результатов. Для этого предложена метеопрогностическая концепция регулирования параметрами системы отопления на основе получения предварительной информации со стороны метеоресурсов. Для этого необходимо использовать разработки интеллектуальных программ, которые будут выполнять функцию контроля и управления, сравнения рассчитанных и действительных тепловых характеристик различных элементов системы отопления, внесения корректировки в текущие графики тепловой нагрузки и способы воздействия на тепловые параметры системы.

Методологическая основа исследования

Методологическая основа исследования состояла из сбора данных, комплексного анализа и системного подхода в рамках метеопрогностической детерминации предиктивного управления системой отопления. Исследование проводилось посредством расчетов и моделирования на примере модели здания.

1 Анализ современных методов адаптивного регулирования систем водяного отопления и оценка внешних и внутренних факторов влияния на микроклимат помещения с выделением критериев зависимости

В пределах отопительного сезона колебания температуры наружного воздуха играют весомую роль в области эффективного теплопотребления [7]. Однако стоит учесть, что, помимо температуры наружного воздуха, существует другое множество факторов, которые влияют на микроклимат помещений. К внешним факторам относятся: скорость и направление ветра, увлажнение поверхностей ограждающих конструкции из-за осадков разного агрегатного состояния, облачность и интенсивность прямой и рассеянной радиации, барометрическое давление, влажность воздуха. К внутренним факторам можно отнести условия протекания технологического процесса внутри здания: теплоступления от людей, теплоступления от солнечной радиации, теплоступления от бытовых приборов, теплоступления от электроосвещения, теплопотери при эксфильтрации внутреннего воздуха, теплопотери при осуществлении вентиляции помещения.

Многие из этих факторов являются непостоянными и появление того или иного значения параметров обусловлено большим числом факторов и носит случайный характер. Поэтому для обобщения метеорологических и иных элементов или параметров используются положения теории вероятностей и методы математической статистики. Однако некоторые из вышеперечисленных факторов можно использовать в расчетах для отражения более приближенной к реальности картины теплообменных процессов ограждающих конструкций.

Изменение температуры является основным фактором при регулировании по нему параметров системы отопления. Применение погодозависимой автоматики приблизило параметры микроклимата помещений к наиболее комфортным, системы отопления стали более инерционными. Однако этот метод регулирования характеризуется таким понятием, как гистерезис элементов системы отопления, т. е. временем, за которое система достигнет требуемого состояния по

заданным критериям. Запаздывание системы может составлять трудности в создании комфортного микроклимата в помещениях зданий при динамично изменяющихся наружных параметрах климата.

Воздействие ветра обуславливается активным движением воздушных масс на поверхности ограждающих конструкций, что усиливает конвекцию и перенос тепла. Этот процесс описывается изменением коэффициента теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, который можно вычислить с помощью уже известных формул [8].

Влияние влажности на режим эксплуатации зданий является сложно оценимым фактором. Диффузия водяного пара наиболее существенна в отопительный период, а влажностный режим ограждений оказывает существенное влияние на теплозащитные характеристики. Установить общую математическую зависимость между теплопроводностью материала и его влажностью, одинаковую для всех строительных материалов, не представляется возможным, так как значительное влияние оказывают структура, форма и расположение пор материала, химико-минералогический состав, поэтому в расчетах используют данные лабораторных испытаний для двух условий эксплуатации (так называемые А и Б). В настоящее время отсутствует нормативный документ по методу определения зависимости коэффициента теплопроводности от влажности конструкций. Исследования сводятся к выявлению эмпирических зависимостей теплопроводности материалов от их влажности [9]. Однако применение этих данных затруднено ввиду большой громоздкости вычислений.

Наружные ограждения по-разному передают тепловые потоки от коротковолновой солнечной радиации. В массивных ограждениях происходит поглощение тепла солнечной радиации поверхностью. Нагретая поверхность возвращает частично тепло в наружную среду, а частично передает через толщу ограждения внутрь помещения. Часть теплоты, которая аккумулируется ограждающими конструкциями, также является важным слагаемым при вычислении общих тепловых потерь здания [10].

Таким образом, факторы влияния на микроклимат помещения можно учесть, но некоторые из них будут являться лишь приближенной к реальности величиной [11].

Согласно СН 4.02.03-2019 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» тепловые потери через ограждающие конструкции рассчитываются с использованием сопротивления теплопередаче

ограждающей конструкции, расчетной температуры воздуха в помещении и расчетной температуры наружного воздуха. С помощью дополнительных вводных коэффициентов (добавочные потери теплоты через ограждающие конструкции в долях от основных потерь) значение теплоты корректируется и является укрупненным показателем.

Однако при эксплуатации системы отопления тепловые потери могут составлять большие или меньшие значения, чем вычисленные по установленной методике расчета [12]. Все это влияет на потребление зданиями тепловой энергии и может привести к её перерасходу. В данной работе в качестве временного параметра будет использоваться отопительный период.

2 Сущность концепции метеопрогностического регулирования и расчет ее энергоэффективности на примере модели здания

В целях энергосбережения предложена концепция метеопрогностического регулирования. Она заключается в использовании информации о погодных условиях не через внешние температурные датчики (так называемая погодозависимая автоматика [6]), а при помощи прогнозных метеоданных, получаемых непосредственно для конкретной географической точки расположения здания через определенный промежуток времени.

Для корректировки расчетных мгновенных теплотерь здания будут использоваться такие факторы, как температура наружного воздуха, ветровое воздействие и инерционность здания, гистерезис элементов системы отопления.

Для расчета была выбрана модель двухэтажного индивидуального жилого дома с уже запроектированной системой водяного отопления теплым полом и радиаторами (рисунок 1). Расчеты по влиянию ветровой нагрузки на тепловые потери помещения включают в себя: учет наветренной, подветренной и боковой сторон здания по отношению к текущему направлению ветра; изменение скорости ветра на разных высотах по отношению к зданию (1 и 2 этаж); совместное действие ветровой нагрузки и изменяющейся температуры на тепловые характеристики ограждающих конструкций. За основу были взяты метеорологические данные за отопительный период 15.10.2021-15.04.2022 [13]. Сбор метеоданных осуществлялся в рамках следующих географических координат (г. Брест, Республика Беларусь): 52.083354, 23.772257. Таким образом, обеспечивается календарная полнота охвата отопительного периода.

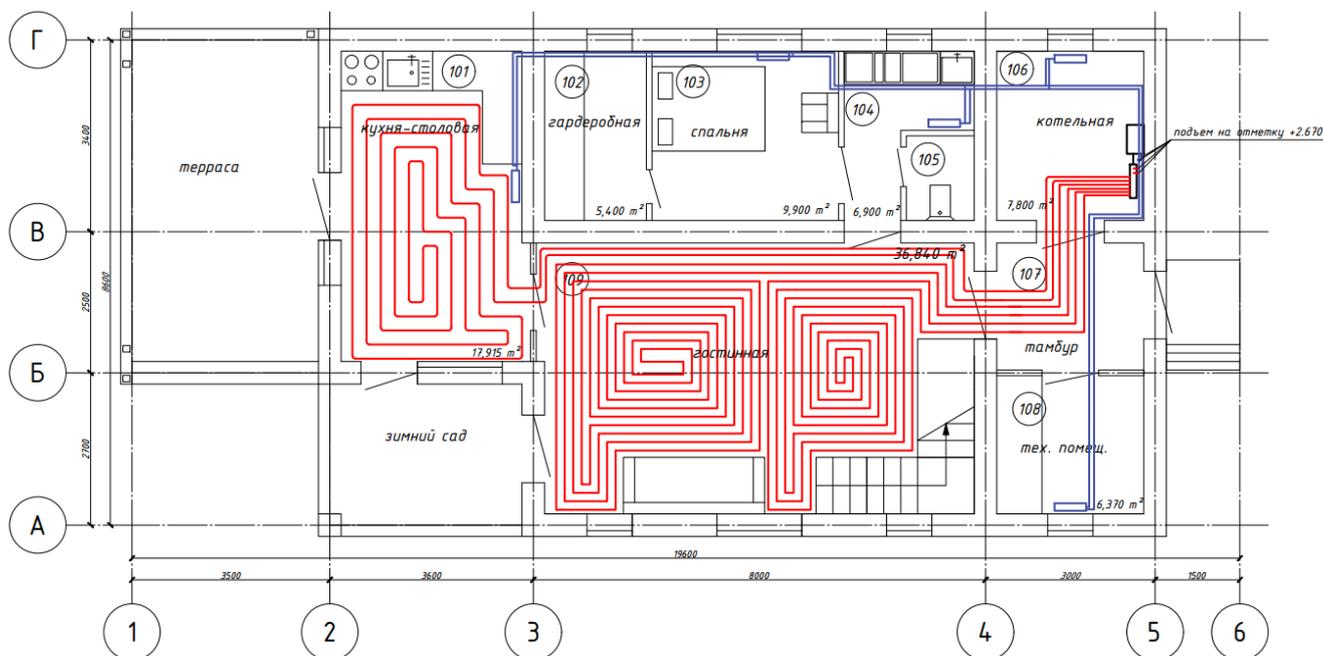


Рисунок 1 – План первого этажа индивидуального жилого дома с нанесением элементов запроектированной системы водяного отопления

После проведения расчетов на основе массива данных, предоставленного ресурсом [13], было выявлено, что в течение отопительного периода с 15.10.2021 по 15.04.2022 здание теряет 21,8 кВт тепла под воздействием ветра. Мгновенные потери теплоты при сравнении

расчетов с учетом действия ветра и без учета действия ветра на теплотери здания практически не отличаются – максимальная разница между такими характеристиками составила 10,43 Вт.

Теплоотдача отопительного прибора должна зависеть от теплопотерь данного помещения в данный период времени. В соответствии с метеопрогностической концепцией, необходимо заблаговременно определить предполагаемые теплопотери помещения и предварительно установить необходимые температуру и расход через отопительный прибор. Для этого необходимо знать, через какое время Δt отопительный прибор перейдет с теплоотдачи Q_1 на теплоотдачу Q_2 .

Для моделирования ситуации симитируем конкретные условия задачи. Например, на начальный этап времени теплопотери помещения 205 составляют $Q_1 = 101,4$ Вт. Спустя 3 часа тепловые потери помещения будут составлять $Q_2 = 108,2$ Вт. Какое время требуется отопительному прибору для изменения теплового потока с Q_1 на Q_2 ? Какие температуры в подающем и обратном трубопроводе должны быть, если расход остается неизменным $G = 34,17$ кг/ч. Поддерживаемая температура в помещении 20 °С. Какой расход необходимо установить на отопительный прибор, если температуры в подающем и обратном трубопроводе останутся неизменными (80/60)?

Размеры установленного отопительного прибора: 7 секций, каждая мощностью $Q_{np} = 180,23$ Вт при температурном напоре 70 °С. Вес одной секции $1,49$ кг. Объем воды $0,37$ л.

Для вычисления изменившегося расхода необходимо использовать формулу

$$G = 0,86 \cdot Q_{np} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 / (t_1 - t_2), \tag{1}$$

где Q_{np} – тепловая нагрузка прибора, Вт;

G – расход теплоносителя, кг/ч;

β_1 и β_2 – коэффициент учета дополнительного теплового потока устанавливаемых отопительных приборов за счет округления сверх расчетной величины и коэффициент учета дополнительных потерь теплоты приборами у наружных ограждений соответственно;

t_1 и t_2 – температура теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе соответственно.

Таким образом получим:

$$G_1 = 0,86 \cdot 101,4 \cdot 1,04 \cdot 1,02 / (80 - 60) = 4,63 \text{ кг/ч};$$

$$G_2 = 0,86 \cdot 108,2 \cdot 1,04 \cdot 1,02 / (80 - 60) = 4,94 \text{ кг/ч}.$$

Для вычисления изменившейся температуры при постоянном расходе необходимо задаться минимальной температурой в обратном трубопроводе. Примем ее равной $t_2 = 35$ °С. Тогда температуру теплоносителя в подающем трубопроводе t_1 вычислим по формуле

$$t_1 = (0,86 \cdot Q_{np} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 / G) + t_2. \tag{2}$$

Пусть t_1' и t_1'' – температуры теплоносителя подающего трубопровода при постоянном расходе с требуемой тепловой нагрузкой на отопительный прибор $101,4$ Вт и $108,2$ Вт соответственно.

$$t_1' = (0,86 \cdot 101,4 \cdot 1,04 \cdot 1,02) / 34,17 + 35 = 37,707 \text{ °};$$

$$t_1'' = (0,86 \cdot 108,2 \cdot 1,04 \cdot 1,02) / 34,17 + 35 = 37,889 \text{ °}.$$

Как видим, разница слишком мала, поэтому данный способ регулирования может подойти только вместе с корреляцией расхода и температуры, а не только температуры.

Таким образом, при изменяющемся расходе можно достичь комфортного регулирования параметрами системы водяного отопления. Однако ввиду наличия инерционности здания и системы отопления в целом можно принять, что время, которое необходимо системе для плавного регулирования, равняется трём часам, что приблизительно соответствует реальным значениям, известным из практики эксплуатации систем водяного отопления. Тогда будем считать, что время запаздывания системы отопления со стандартной погодозависимой автоматикой составляет три часа, а в концепции метеопрогностического регулирования это время сглажено и при идеальных условиях полностью компенсирует тепловые потери в текущий момент времени. Так же стоит задаться среднестатистической погрешностью метеорологического прогноза для конкретной точки приложения в размере 4 %. Таким образом, можно построить график зависимости теплопотерь от времени на основании предыдущих расчетов для той и другой ситуации.

График зависимости влияния ветровой нагрузки на тепловые потери здания за отопительный период представлен на рисунке 2.

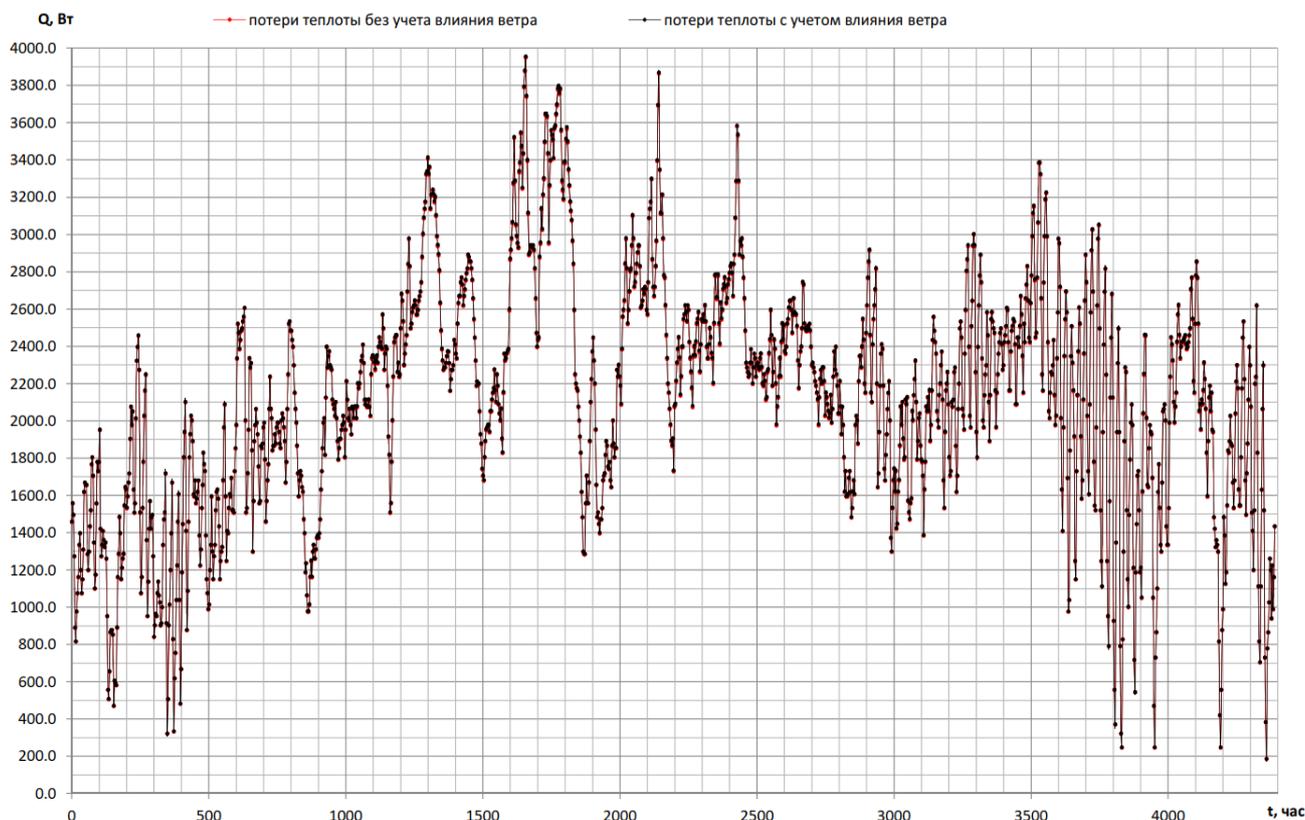


Рисунок 2 – График изменения потерь теплоты зданием с учетом ветрового воздействия и изменяющейся температуры, и изменения потерь теплоты зданием без учета ветрового воздействия, но с учетом изменяющейся температуры

График отклонения тепловых потерь с учетом запаздывания системы отопления в сравнении с теоретическим регулированием па-

раметрами теплоносителя по метеопрогностической концепции представлены на рисунке 3.

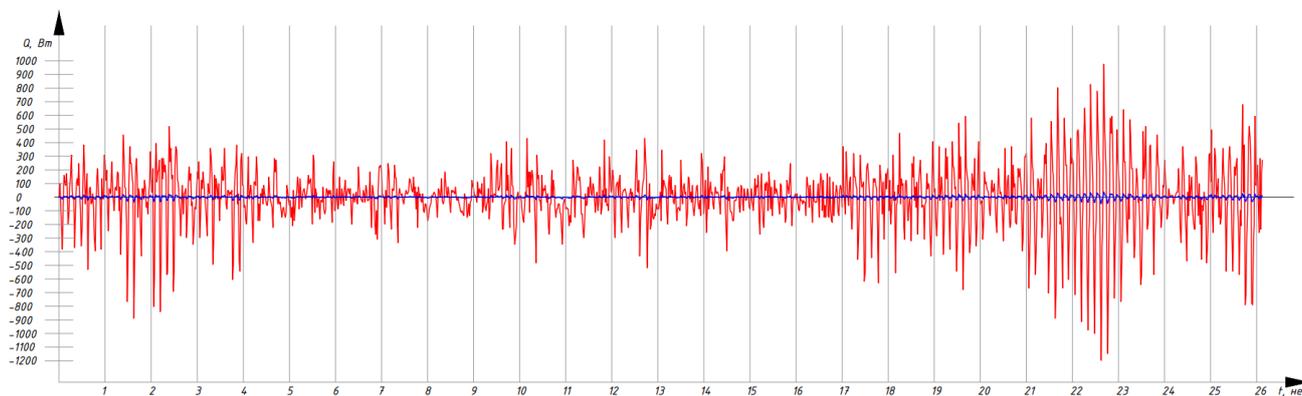


Рисунок 3 – График отклонения тепловых потерь с учетом запаздывания системы отопления в сравнении с теоретическим регулированием параметрами теплоносителя по метеопрогностической концепции

Красной линией обозначена динамика отклонения тепловых потерь от требуемых при регулировании погодозависимой автоматикой, синей линией – динамика отклонения тепловых потерь от требуемых при регулировании по метеорологическому прогнозу (с учетом погрешности прогноза 4 %).

Как видим, отклонение от требуемой компенсации тепловых потерь при применении погодозависимой автоматики значительно выше, чем при использовании метеопрогностического подхода.

Для наиболее экономически и энергетически обоснованных режимов работы систем отопления необходимо создавать такие методы управления этими системами, которые бы учитывали воздействие ветра на тепловые потери зданий через ограждающие конструкции.

Ввиду вышеприведенных исследований возникает необходимость создания такого программного обеспечения, которое бы компенсировало все выявленные недостатки. Разработка данного программного комплекса является реализуемой задачей.

3 Анализ затрат и рентабельности системы метеопрогностического регулирования

Энергосберегающая система водяного отопления с метеопрогностическим регулированием представляет собой инновационное решение, направленное на повышение эффективности систем отопления. Данная система базируется на использовании современных технологий управления и мониторинга, а также интеграции данных о погодных условиях для оптимизации работы отопительного оборудования. Применение метеопрогностического регулирования позволяет учесть изменчивость погодных условий и адаптировать работу системы отопления, что способствует снижению энергопотребления и повышению комфортности обслуживания.

Основными компонентами данной системы являются: датчики температуры, установленные в помещениях и наружной среде для сбора данных о текущем климатическом состоянии; система автоматизированного управления, способная адаптировать работу отопительного оборудования в реальном времени на основе полученной информации.

Система водяного отопления с метеопрогностическим регулированием представляет собой перспективное направление в области современных технологий отопления, способное эффективно реагировать на вызовы современного мира в области энергоснабжения и окружающей среды. Ее внедрение и развитие являются важным шагом на пути к созданию устойчивых и энергоэффективных систем отопления для жилых и коммерческих объектов.

Прежде чем переходить к широкому внедрению таких систем, необходимо провести анализ их затрат и рентабельности.

Оценка затрат включает в себя не только стоимость приобретения и установки необходимого оборудования, такого как датчики температуры и системы управления, но и расходы на разработку и

внедрение программного обеспечения для сбора, анализа и использования погодных данных. Кроме того, необходимо учитывать операционные расходы, связанные с обслуживанием и поддержанием работоспособности системы.

Сравнительный анализ затрат традиционных систем отопления и системы метеопрогностического регулирования позволяет определить экономическую целесообразность перехода на новый подход. Несмотря на то, что начальные затраты на внедрение системы с метеопрогностическим регулированием могут быть выше, чем у традиционных систем, долгосрочные экономические выгоды могут оказаться значительными. Это связано с тем, что оптимизация работы отопительного оборудования в зависимости от прогнозируемых погодных условий позволяет снизить расходы на энергию и операционные издержки.

Кроме того, важно учитывать экологические выгоды использования системы метеопрогностического регулирования. Снижение расходов на энергию влечет за собой уменьшение выбросов парниковых газов и других вредных веществ, что способствует улучшению качества окружающей среды и снижению негативного воздействия на климат.

Оценка рентабельности системы метеопрогностического регулирования должна учитывать как экономические, так и экологические показатели. Эффективность системы может быть определена по сокращению операционных расходов и снижению затрат на энергию в сравнении с традиционными системами отопления. При этом необходимо также учитывать степень воздействия системы на окружающую среду и ее соответствие современным стандартам и требованиям экологической безопасности.

4 Использование искусственного интеллекта в рамках данной задачи

Искусственный интеллект играет ключевую роль в разработке и реализации системы метеопрогностического регулирования. Он позволяет обрабатывать и анализировать данные о погоде и энергопотреблении, выявлять закономерности и оптимизировать работу отопительных систем в реальном времени.

Применение искусственного интеллекта в рамках данной задачи позволяет создать систему, способную адаптироваться к изменяющимся погодным условиям и реагировать на них максимально эффективно. Например, на основе анализа прогнозов погоды система может автоматически регулировать температурные режимы в помещениях, оптимизируя энергопотребление и обеспечивая комфорт для пользователей.

Применение искусственного интеллекта также позволяет создать систему, способную адаптироваться к индивидуальным потребностям и предпочтениям пользователей. Например, система может учитывать предпочтения по температурному режиму в разных помещениях и автоматически регулировать его в соответствии с этими предпочтениями.

На сегодняшний день существует множество различных архитектур нейронных сетей, предназначенных для различных задач от классификации и сегментации данных до экспертных систем, медицинской диагностики и автономных устройств.

Основная цель состоит в том, чтобы на основе имеющихся данных, таких как текущие и прогнозируемые метеоданные, при помощи нейронной сети получать управляющий сигнал для нагревателя. Это позволит поддерживать установленный комфортный уровень температуры в помещении и делать это наиболее эффективным способом, без перерасхода энергоресурсов на нагрев помещения.

От выбора правильной архитектуры нейронной сети зависит, насколько хорошо сеть будет обучаться и работать в дальнейшем [14]. Еще в 1960-х годах американские ученые установили, что многослойный перцептрон с нелинейной функцией активации может являться универсальным аппроксиматором и производить любое отображение входных векторов в выходные. Однако на тот момент не было разработано эффективных алгоритмов обучения многослойных сетей. В 1986 году все же был предложен алгоритм обратного распространения ошибки независимо тремя учеными: Джеффри Хинтоном, Дэвидом Румельхартом и Рональдом Вильямсом. Таким образом, за счет своей универсальности и применимости в рамках данного исследования был выбран многослойный перцептрон в качестве управляющего модуля.

Для эффективного функционирования нейронной сети необходимо обучить ее на некоторых данных. Размер обучающей выборки непосредственно связан с выбранной архитектурой. Так, если привести нейронную сеть к системе уравнений, то основываясь на правиле Крамера, если количество уравнений равняется количеству неизвестных, то существует единственное решение. Если же уравнений больше, чем неизвестных, то может либо существовать бесконечное множество решений, либо решений может не быть вовсе. В случае же нейронных сетей из-за того, что сеть обучается до какой-то определенной степени погрешности, можно утверждать, что решение будет существовать в любом случае, причем не единственное.

Исходя из этих условий, составляется обучающая выборка, причем составляется следующим образом: 70 % выборки используется для обучения сети и 30 % используется для валидации. Так, для входных данных были выбраны следующие параметры: текущая температура на улице, температура на улице через три часа, влажность на улице, скорость ветра, площадь тепловых потерь, текущая температура воздуха в комнате, мощность нагревателя и ожидаемая температура воздуха в помещении. Параметр площади тепловых потерь характеризует, как именно направление ветра будет влиять на тепловые потери наружных стен. Так, исходя из наблюдений, установлено, что если направление ветра сонаправлено с направлением наружной стены, то потеря тепла будет максимальной. Исходя из этого, данный параметр рассчитывается как произведение площади наружной стены и скалярного произведения вектора направления ветра и вектора продольной оси стены. На выходе данной нейронной сети ожидается значение из диапазона [0, 1], характеризующее степень теплоотдачи нагревателем максимальной мощности. Данное значение можно использовать, например, как управляющий сигнал для клапана, установленного на нагревателе.

Исходя из вышеприведенной информации, была спроектирована следующая архитектура нейронной сети:

Входной слой $n = 8$ нейронов.

Первый скрытый слой $m = 30$ нейронов с функцией активации гиперболический тангенс.

Выходной слой $k = 1$ с функцией активации сигмоида.

Исходя из выше представленной архитектуры, рассчитаем количество настраиваемых параметров: весов W и смещений T

$$W=8 \cdot 30 + 30 \cdot 1 = 270.$$

$$T=30 + 1 = 31.$$

Итого получили, что общее число настраиваемых параметров равняется 301 и размер обучающей выборки должен быть не менее 430 образов. Так как нейронная сеть в процессе обучения «запоминает» исходные данные, то для обучения была подготовлена выборка из 860 образов.

Для обучения, на данный момент, существует множество различных алгоритмов. Как наиболее популярный и эффективный был выбран алгоритм адаптивной оценки момента Adam. Значение скорости обучения было выбрано 0.03 на основе наблюдений эффективности обучения. В качестве целевой функции оптимизации была выбрана среднеквадратическая ошибка. Обучение продолжалось до момента, пока ошибка не станет менее чем $5 \cdot 10^{-5}$, что позволяет утверждать, что обученная система в среднем дает точность управления 1 %.

Заключение

Данная работа отражает значительный прогресс в области применения искусственного интеллекта для повышения энергоэффективности и комфортности жилых и коммерческих помещений. Искусственный интеллект в этой системе играет ключевую роль, обрабатывая данные о погоде и энергопотреблении, а также выявляя закономерности и оптимизируя работу отопительных систем в реальном времени.

Архитектура нейронной сети, выбранная для этой системы, основывается на многослойном перцептроне. Такой выбор обусловлен гибкостью данной архитектуры и её способностью адаптироваться к сложным взаимосвязям между входными и выходными данными. Для обучения нейронной сети была подготовлена обучающая выборка из 860 образов, что обеспечило достаточное качество обучения. В процессе обучения применялся алгоритм адаптивной оценки момента Adam с выбранной скоростью обучения и использованием среднеквадратической ошибки как целевой функции оптимизации.

Полученная после обучения система достигла уровня точности управления на уровне 1 %, что гарантирует эффективное и энергоэффективное функционирование отопительной системы. Такой результат позволяет системе адаптироваться к изменяющимся погодным условиям и индивидуальным предпочтениям пользователей, обеспечивая комфортные условия в помещении при минимальном потреблении энергоресурсов.

Таким образом, разработанная система представляет собой важный шаг в направлении улучшения энергоэффективности и комфортности зданий, а также внедрения инновационных решений в области управления отоплением. Её использование может значительно снизить затраты на энергию и содействовать экологической устойчивости, что делает её важным вкладом в область современных технологий и устойчивого развития.

Исследование выполнялось в рамках гранта БРФФИ.

Список цитированных источников

- Северянин, В. С. Метеопрогностическое регулирование температурного режима помещений автоматизированными системами отопления / В. С. Северянин, К. О. Мешик // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2019. – № 2. – С. 74–77.
- Новосельцев, В. Г. Изучение эффективности методов балансировки систем водяного отопления / В. Г. Новосельцев, Д. В. Новосельцева // Вестник Полоцкого государственного университета. – 2021. – № 16. – С. 94–98.
- Navaseltsau, U. Energy efficiency of multi-apartment residential houses with individual heat supply / U. Navaseltsau, D. Navaseltsava, M. Shenogin // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering (MPCPE 2020). – 2020. – № 896. – <https://doi.org/10.1088/1757-899X/896/1/012057>.
- Новосельцев, В. Г. Исследование эксплуатационного энергопотребления в энергоэффективных жилых домах / В. Г. Новосельцев, Д. В. Новосельцева // Проблемы энергетической эффективности в различных отраслях : материалы научного семинара, Брест, 21 марта 2019 г. – Брест : РУПЭ «Брестэнерго», 2019. – С. 35–37.
- Новосельцев, В. Г. Исследование работы систем отопления и горячего водоснабжения энергоэффективных жилых домов Брестской области / В. Г. Новосельцев, Д. В. Новосельцева, И. А. Черников // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2016. – № 2 : Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, геоэкология. – С. 98–102.

6. Кувшинов, Ю. Я. Энергосбережение в системе обеспечения микроклимата зданий / Ю. Я. Кувшинов. – М. : Издательство АСВ, 2010. – 320 с.
 7. Куприянов, В. М. Влияние влаги на теплопроводность стеновых материалов. Состояние вопроса / В. Н. Куприянов, А. М. Юзмухаметов, И. Ш. Сафин // Известия КГАСУ. – 2017. – № 1. – С. 102–110.
 8. Хрусталёв, Б. М. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование: учебное пособие / Б. М. Хрусталёв. – М. : Издательство АСВ, 2008. – 784 с.
 9. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха : СН 4.02.03-2019. – М. : Стройтехнорм, 2019. – 73 с.
 10. Архив погоды в городе Бресте [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pogodaiklimat.ru>. – Дата доступа: 16.04.2022.
 11. Тепло- и массообмен : учебное пособие для вузов по строительным, энергетическим и машиностроительным специальностям : в 2 ч. / Б. М. Хрусталев [и др.] ; под общ. ред. А. П. Несенчука. – Минск : БНТУ, 2007. – Ч. 1. – 607 с.
 12. Сканави, А. Н. Отопление : учебник для вузов / А. Н. Сканави, Л. М. Махов. – М. : Издательство АСВ, 2008. – 576 с.
 13. Покотилов, В. В. Системы водяного отопления / В. В. Покотилов. – Вена, 2008. – 159 с.
 14. Головки, В. А. Нейросетевые технологии обработки данных : учеб. пособие / В. А. Головки, В. В. Краснопрошин. – Минск : БГУ, 2017. – 263 с.
 4. Novosel'cev, V. G. Issledovanie ekspluatatsionnogo energopotrebleniya v energoeffektivnykh zhilykh domakh / V. G. Novosel'cev, D. V. Novosel'ceva // Problemy energeticheskoy effektivnosti v razlichnykh otraslyah : materialy nauchnogo seminara, Brest, 21 marta 2019 g. – Brest : RUPE «Brestenergo», 2019. – S. 35–37.
 5. Novosel'cev, V. G. Issledovanie raboty sistem otopeniya i goryachego vodosnabzheniya energoeffektivnykh zhilykh domov Brestskoy oblasti / V. G. Novosel'cev, D. V. Novosel'ceva, I. A. Chernikov // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2016. – № 2 : Vodohozyajstvennoe stroitel'stvo, teploenergetika, geoekologiya. – С. 98–102.
 6. Kuvshinov, YU. YA. Energoberezhnie v sisteme obespecheniya mikroklimate zdaniy / YU. YA. Kuvshinov. – М. : Izdatel'stvo ASV, 2010. – 320 s.
 7. Kupriyanov, V. M. Vliyaniye vlagi na teploprovodnost' stenovykh materialov. Sostoyaniye voprosa / V. N. Kupriyanov, A. M. Yuzmuhametov, I. Sh. Safin // Izvestiya KGASU. – 2017. – № 1. – S. 102–110.
 8. Hrustal'yov, B. M. Teplosnabzheniye i ventilyatsiya. Kursovoye i diplomnoye proektirovaniye: uchebnoye posobie / B. M. Hrustal'yov. – М. : Izdatel'stvo ASV, 2008. – 784 s.
 9. Otopleniye, ventilyatsiya i konditsionirovaniye vozduha : SN 4.02.03-2019. – М. : Strojtekhnorm, 2019. – 73 s.
 10. Arhiv pogody v gorode Breste [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.pogodaiklimat.ru>. – Data dostupa: 16.04.2022.
 11. Teplo- i massoobmen : uchebnoye posobie dlya vuzov po stroitel'nykh, energeticheskim i mashinostroitel'nykh special'nostyam : v 2 ch. / B. M. Hrustal'ev [i dr.] ; pod obshch. red. A. P. Nesenchuka. – Minsk : BNTU, 2007. – CH. 1. – 607 s.
 12. Skanavi, A. N. Otopleniye : uchebnyk dlya vuzov / A. N. Skanavi, L. M. Mahov. – М. : Izdatel'stvo ASV, 2008. – 576 s.
 13. Pokotilov, V. V. Sistemy vodyanogo otopeniya / V. V. Pokotilov. – Vena, 2008. – 159 s.
 14. Golovko, V. A. Nejrosetevyye tekhnologii obrabotki dannykh : ucheb. posobie / V. A. Golovko, V. V. Krasnoproshin. – Minsk : BGU, 2017. – 263 s.
- References**
1. Severyanin, V. S. Meteoroprognozticheskoye regulirovaniye temperaturnogo rezhima pomeshcheniy avtomatizirovannymi sistemami otopeniya / V. S. Severyanin, K. O. Meshik // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2019. – № 2. – S. 74–77.
 2. Novosel'cev, V. G. Izucheniye effektivnosti metodov balansirovki sistem vodyanogo otopeniya / V. G. Novosel'cev, D. V. Novosel'ceva // Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. – 2021. – № 16. – S. 94–98.
 3. Navaseltsau, U. Energy efficiency of multi-apartment residential houses with individual heat supply / U. Navaseltsau, D. Navaseltlava, M. Shenogin // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering (MPCPE 2020). – 2020. – № 896. – <https://doi.org/10.1088/1757-899X/896/1/012057>.

Материал поступил 14.03.2024, одобрен 20.03.2024, принят к публикации 20.03.2024

ДЕПРЕССИВНЫЕ ТЕРРИТОРИИ В СТРУКТУРЕ Г. ГОМЕЛЯ

А. В. Евстратенко

Кандидат архитектуры, доцент, доцент кафедры «Архитектура и строительство» УО «Белорусский государственный университет транспорта», Гомель, Беларусь, e-mail: angelikaevstratenko@gmail.com

Реферат

В статье проанализировано понятие «депрессивные территории» и приведены пути их образования. Выявлены территории в структуре г. Гомеля, которые могут быть отнесены к депрессивным на современном этапе. Предложены критерии для оценки депрессивных участков и определения методов их возвращения в городскую ткань.

Ключевые слова: депрессивные территории, стагнирующие территории, городская среда, благоустройство, редевелопмент, градостроительный каркас, градостроительные резервы.

DEPRESSED TERRITORIES IN THE STRUCTURE OF GOMEL

A. V. Evstratenko

Abstract

The article analyzes the concept of «depressed territories» and shows the ways of their formation. The territories in the structure of Gomel that can be classified as depressive at the present stage have been identified. Criteria are proposed for assessing depressive areas and determining the methods of their return to the urban fabric.

Keywords: depressed territories, stagnating territories, urban environment, landscaping, redevelopment, urban framework, urban reserves.

Введение

Проблема стагнации городских территорий носит междисциплинарный характер. Для обозначения соответствующего состояния городских территорий исследователями в различных отраслях наук используются термины «деградация», «депрессивность», «упадок», «регресс», «рецессия», «убывающий город» и др. Состояния «сжимающийся город» и «разрастающийся город» также могут являться последствием градостроительной стагнации территорий.

Данная проблема рассматривается в различных отраслях наук. Подавляющая часть изысканий посвящена депрессивным регионам (а не территориям) с точки зрения их социально-экономического упадка и поиска административных и экономических методов реабилитации. Экономисты разделяют депрессивные и отсталые (слаборазвитые) регионы. В первом случае основным критерием для их выявления служат темпы развития, во втором – уровень развития [1, с. 17]. В данном контексте рассматривается серьезное негативное влияние регионов с депрессивным статусом на развитие всей экономики страны. Социально-географические исследования посвящены изучению расселения, миграционных процессов, занятости во взаимосвязи со степенью и эффективностью функционального использования территорий. Группой геолого-градостроительных исследований рассматриваются методы преобразования нарушенных территорий путем формирования искусственных ландшафтов. Решение проблемы упадка городских территорий может быть найдено при учете результатов, полученных в различных областях знаний.

Для дальнейшего исследования будем рассматривать «стагнирующая территория» и «депрессивная территория» как связанные, но не идентичные понятия.

Цель работы состоит в анализе территорий г. Гомеля в аспекте понятий «стагнация» и «депрессивность», определении территорий, которые могут быть отнесены к депрессивным и определении совокупности критериев для выбора методов возвращения данных территорий в городскую ткань. Прежде чем перейти к анализу г. Гомеля, рассмотрим причины и следствия депрессивного состояния городских территорий. Методика исследования заключается в анализе научных работ по данной тематике, натурные обследования территорий, картографический анализ и графоаналитическая систематизация данных.

Понятие стагнирующих и депрессивных территорий

В настоящее время в Беларуси термины «депрессивные» или «стагнирующие» территории применительно к архитектурно-

градостроительной отрасли законодательно не закреплены и используются преимущественно по отношению к экономически отсталым районам. На практике данные понятия широко применимы к обозначению городских территорий, а их возвращение в городскую – важнейшая задача градостроительного развития.

С точки зрения архитектурной науки интересна трактовка, предлагаемая К. Е. Родяшиной: «Депрессивные территории можно определить как территории, не отвечающие социально-экономическим, экологическим, градостроительным условиям развития города, нарушающие целостность его архитектурно-градостроительного облика, препятствующие повышению уровня жизни жителей». При этом тенденции деградационного развития (упадка) носят устойчивый характер [2, с. 106–107].

По нашему мнению, более широкое понятие депрессивности включает в себя понятие стагнации. От стагнации к депрессии – от категории социально-экономического состояния к понятию, содержащему особенности восприятия населением среды жизнедеятельности и закономерные последствия.

Депрессивное состояние, наиболее характерное для зон производственного назначения, также может относиться к территориям жилого, общественно-делового и рекреационного назначения по целому ряду причин, среди которых физический и моральный износ жилого фонда, низкая плотность застройки и ее фрагментарность, перенаселение на фоне пространственной поляризации и нахождение вблизи с уже деградирующими (заброшенными) зонами, отсутствие развитой инфраструктуры, планировочная изолированность, неблагоприятная экологическая обстановка [3, с. 10]. Депрессивными территориями могут считаться нефункционирующие промышленные объекты, пустыри, маргинальные территории, коммунально-складские, транзитные зоны, которые считаются пустыми, а также территории, застройка которых не соответствует этапу развития города и нарушает целостность городского пространства. К примеру, ситуация усадебной застройки в центральной и срединной зонах (учитывается не качество застройки, а разрыв, образуемый застройкой в городской ткани).

Очевидно, что кроме экономического регресса и инвестиционной непривлекательности в качестве следствия следует учитывать и поведенческую динамику, в особенности негативное эмоциональное восприятие среды населением, что отвечает понятию «депрессивность». Следует учитывать недостаточное благоустройство и озеленение, значительное акустическое, цветковое и световое загрязнение

среды, низкую архитектурно-художественную выразительность застройки, крайнюю недостаточность мест приложения труда и досуга. В контексте градостроительного развития рассматриваемое понятие относится к жизнеспособности городов и качества среды обитания.

Развитие города идет маятниковым образом. При достижении определенного этапа зрелости, устанавливаемого главным образом состоянием планировочного каркаса, и освоении новых участков в городе начинается процесс переустройства с реконструкцией территорий. При этом необходимо выявление депрессивных и потенциально депрессивных территорий и выбор обоснованного метода работы с такими участками.

Возникновение депрессивных зон в городе происходит по ряду причин – социально-экономическим, архитектурно-градостроительным и экологическим. Среди социально-экономических причин принято отмечать недостаточное финансирование, инвестиционную непривлекательность территории, недостаток инфраструктуры (транспортной, общественного питания, отдыха), демографический состав жителей, отток населения, ошибочные управленческие решения в отношении развития территории, субъективное присвоение территории завышенного или заниженного статуса. К архитектурно-градостроительным относят физический и моральный износ зданий и территорий, отсутствие благоустройства и низкое качество среды, неблагоприятное «соседство» с уже деградирующими или заброшенными зонами, хаотичность застройки, бессистемная реконструкция территорий, труднодоступность и изолированность. Экологические причины – сложившаяся неблагоприятная экологическая обстановка либо потенциально возможная экологическая деградация, низкий процент озелененных территорий, необратимая или сложнообратимая нарушенность территорий, интенсивный характер урбанизационного воздействия на окружающую среду, отсутствие на практике экоккультуры в ходе строительства, значительное шумовое, цветковое и световое загрязнение среды [3, с. 112–113]. Для выявления и обеспечения обратимости негативных процессов необходимо знать основные характеристики депрессивных зон городов. Индикаторами, указывающими на существование деградационных процессов, кроме экономической эффективности, в первую очередь служат реакции населения, особенно визуального восприятия пространства и качества экологии. Руководствуясь положениями, изложенными А. Г. Гранбергом, определим, что к основным характеристикам депрессивных территорий городов относятся следующие [4]:

- наличие «зон поражения» и отдельных «очагов» возникновения деградационных процессов и устойчивая тенденция к регрессу;
- утрата основной функции (производственной, общественной, в том числе досуговой, торговой и т. д.);
- экономическая отсталость и инвестиционная непривлекательность;
- изолированность, обособленность в структуре города;
- неразвитость или деградация инфраструктуры;
- не благоустроенность, хаотичность, разрозненность территории;
- ухудшающаяся экологическая обстановка;
- низкая архитектурно-художественная выразительность и тяжелое эмоциональное восприятие застройки.

В результате отмечается контрастность (по отношению к прилегающим территориям и к городу в целом) и низкий статус территории и далее, как следствие, – социальная дезадаптация, т. е. городская среда перестает удовлетворять требованиям горожан, происходит демографическая деградация и убыль населения. А городская ткань, являясь фрагментарной, не обеспечивает оптимальное расселение, перемещение и функционирование в городе.

Городские территории могут различаться по степени депрессивного состояния. Основными критериями для их классификации могут являться следующие:

- характер функционального освоения территории и пути освоения территории на предыдущих этапах развития;
- устойчивость отрицательной динамики;
- расположение очага депрессивности в структуре города (в центральной, срединной, периферийной зонах);
- степень поражения очагами депрессивности и масштаб негативного влияния;

– способность к регенерации (за счет повышения инвестиционной привлекательности, иных мер правового, социального, экономического, архитектурно-градостроительного вмешательства) и наличие рисков стагнации в будущем.

Очевидно, что перечисленные позиции взаимосвязаны как в прямом, так и в обратном порядке. К примеру, низкий социально-экономический статус территории ведет к непривлекательности для проживания населения и инвестирования в архитектурно-градостроительные преобразования. И наоборот, градостроительный и демографический регресс становится причиной низкого статуса территории. Формирование депрессивной зоны может быть вызвано возникновением очага как в виде архитектурного, так и территориального объекта. Можно упрощенно описать тип стагнации следующим образом: **О** – стагнация отдельного объекта, **Т** – стагнация отдельной территории, **О→Т** – стагнация территории, вызванная состоянием объектов на ней, **Т→О** – стагнация объекта, вызванная характеристиками территории.

Депрессивные территории в структуре г. Гомеля

Современный г. Гомель пребывает на этапе освоения новых территорий, после которого закономерно наступит этап внутреннего переустройства. В данном случае требуется выявление резервов – территориальных, объемно-функциональных, объемно-пространственных. Наиболее крупными резервами – территориальными и объемно-функциональными – служат депрессивные участки.

В современной практике отсутствуют четко определенные критерии для выделения депрессивных территорий в структуре города и их классификации. В ходе анализа, кроме данных натурального обследования и метода экспертных оценок, использовались сведения из генерального плана, а также исходные данные кадастровой оценки территорий г. Гомеля.

В данном исследовании выбор вышеперечисленных участков основывался на следующих признаках:

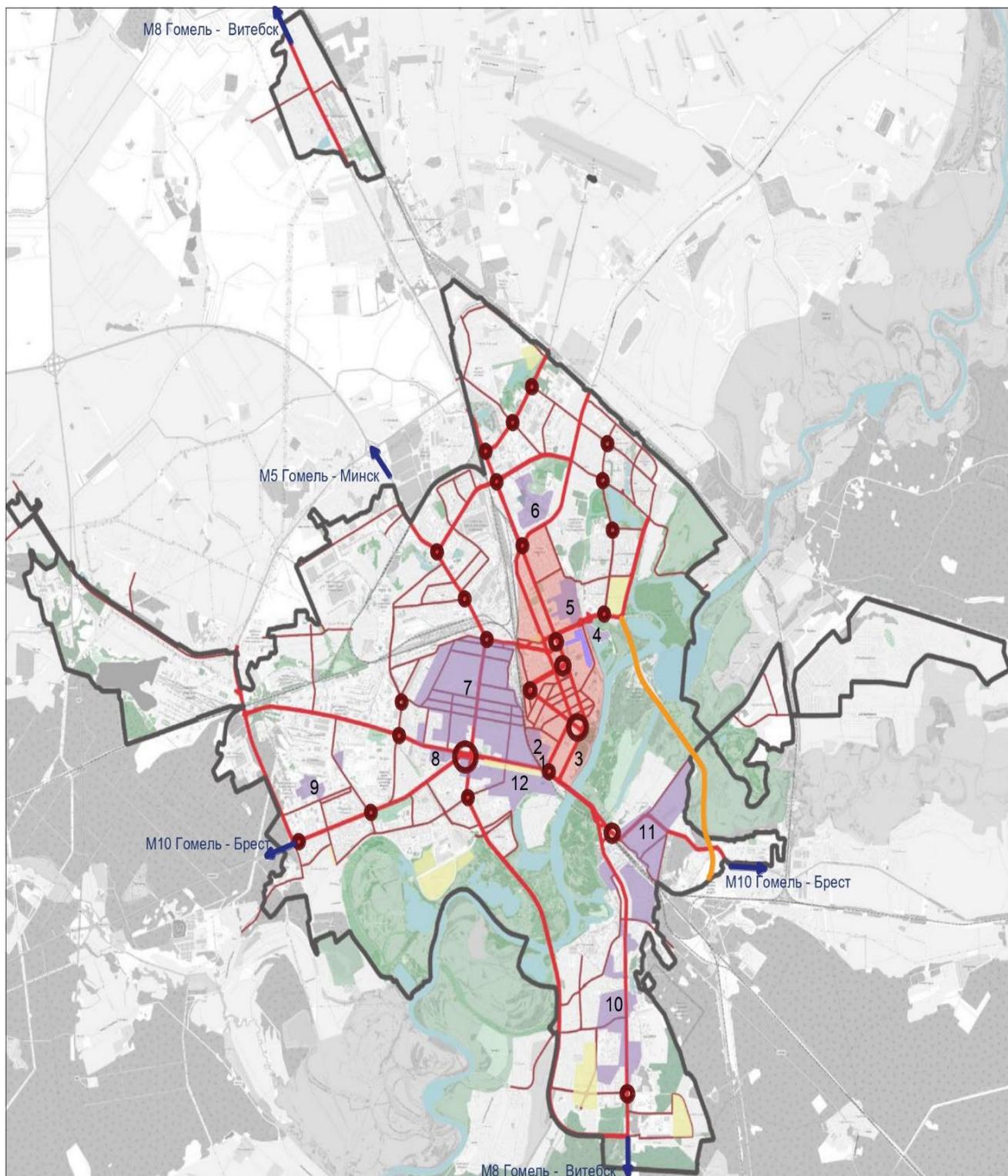
- застройка обеспечивает существенный «разрыв» в городской ткани и препятствует равномерному развитию территории, общественная функция представлена слабо;
- плотность застройки значительно отличается от нормативных значений;
- не обеспечивается эффективное использование территории, присутствуют заброшенные объекты;
- отмечаются неблагоустроенность, низкая архитектурно-художественная выразительность и негативное эмоциональное восприятие застройки.

Современная планировочная модель города строится по продольной оси р. Сож и по урбанизированным осям, представленными основными транспортными направлениями. Согласно Генеральному плану и Схеме развития городского пассажирского транспорта и магистрально-уличной сети г. Гомеля, территориальное развитие города происходит преимущественно за счет территорий, предназначенных для жилищного строительства по компактному-рассредоточенной схеме развития. Наиболее перспективным для развития городской черты названо юго-восточное направление. Прогнозируется рост численности населения и площади территории города и всех видов функциональных зон в его структуре.

В качестве стратегии градостроительного развития значится дальнейшее развитие г. Гомеля как многофункционального центра. Вместе с тем указывается, что отсутствие возможности компактного развития города и рассредоточение городских территорий потребует дополнительных затрат по намыву и подсыпке грунта, дополнительных крупных инженерных сооружений и протяженных инженерных и транспортных коммуникаций, а в основу формирования планировочной структуры положен принцип преемственности как исторически сложившейся, так и заложенной ранее структуры города.

Таким образом, дальнейшее увеличение границ города без оптимизации уже освоенных пространств приведет к новым градостроительным проблемам. В этих условиях необходимо выявление градостроительных резервов для компактного расселения, которыми служат депрессивные территории.

Рассмотрим территории г. Гомеля на предмет наличия депрессивных зон и кратко их охарактеризуем (рисунок 1, таблица 1).



— существующая городская черта, — магистральные улицы и местные автодороги, — строящаяся магистраль «Восточный обход», ○ — узловые элементы градостроительного каркаса — городской центра, — районы новой массовой жилой застройки, — водно-зеленый каркас, — депрессивные территории, 1 — номер территории (таблица 1)
Рисунок 1 – Депрессивные территории в г. Гомеле

Выявленные в соответствии с данными положениями территории служат резервами I порядка. Их переустройство наиболее актуально на современном этапе, поскольку имеются благоприятные локационные характеристики: выгодное размещение в структуре города, вблизи городского центра, крупных транспортно-

пересадочных и транспортно-общественных узлов, близость крупных городских магистралей городского и республиканского значения. Участки, депрессивное состояние которых требует типологических и архитектурно-градостроительных преобразований после освоения резервов I порядка, являются резервами II порядка.

Таблица 1 – Депрессивные территории в структуре г. Гомеля

№ п/п	Объект / территория	Тип стагнации	Характеристики территории		Тип градостроительного резерва
		Причина стагнации	Преимущества	Недостатки	
1	ОАО «Гомельский завод измерительных приборов»	Q Нефункциональное промышленное предприятие	– центральная зона города; – усиливающийся узел градостроительной структуры; – хорошее транспортное сообщение; – благоприятные геологические условия; – наличие централизованных инженерных коммуникаций	– стесненные условия; – недостаточная пропускная способность транспортного узла в часы пик	Объемно-функциональный / территориальный
2	Территория в границах ул. Интернациональной – Моисеенко – Гагарина	Q→T Усадебная застройка	– центральная зона города; – усиливающийся узел градостроительной структуры; – близость крупнейших торговых объектов городского значения; – благоприятные геологические условия; – наличие централизованных инженерных коммуникаций	– наличие обременений; – близость железной дороги	Территориальный
3	Дом Водников (ул. Комиссарова, 2)	Q Аварийное состояние здания	– ядро центра города; – близость к объектам, составляющим историко-культурную ценность; – близость к главной ландшафтно-рекреационной территории города; – благоприятные геологические условия; – наличие централизованных инженерных коммуникаций	– ограничения охранной зоны города; – аварийное состояние здания	Территориальный
4	Территория судостроительного-судоремонтного завода	Q→T Промышленная и коммунально-складская зона	– близость к центральной части города; – близость к крупной ландшафтно-рекреационной территории городского значения; – нахождение в структуре водно-зеленого каркаса; – благоприятные геологические условия; – наличие централизованных инженерных коммуникаций	– плохая транспортная доступность	Территориальный
	Территория в границах ул. Хатаевича – Подгорной – Волотовской	Q→T Усадебная, коммунально-складская, производственная застройка	– центральная зона города; – близость к главной городской магистрали; – благоприятные геологические условия; – наличие централизованных инженерных коммуникаций	– плохая транспортная доступность; – наличие обременений	Территориальный / объемно-функциональный
5	Территория в границах ул. Хатаевича – Советской – Юбилейной и железной дороги	Q→T Усадебная застройка	– центральная зона города; – близость к главной городской магистрали; – благоприятные геологические условия; – наличие централизованных инженерных коммуникаций	– примыкание части территории к железной дороге; – наличие обременений	Территориальный
	Здание бывшей средней школы № 16 (ул. Университетская, 14)	Q/T→O Неиспользуемое здание	– наличие централизованных инженерных коммуникаций	– размещение вне структуры основных пешеходных и транспортных связей	Объемно-функциональный / объемно-пространственный
6	Территория в границах ул. Троллейбусной – Советской – Шилова	Q→T Коммунально-складская и неиспользуемая промышленная застройка	– близость к главной городской магистрали, связывающей с центром и выводящей на трассу М-8 Гомель – Витебск; – хорошая транспортная доступность; – благоприятные геологические условия; – наличие централизованных инженерных коммуникаций	– неблагоустроенная заброшенная территория; – значительный физический износ многих зданий; – хаотичность застройки	Территориальный
	Территория бывшего гомельского пивоваренного завода «Арагаст» (ул. Троллейбусная, 12)				Территориальный / объемно-функциональный

Продолжение таблицы 1

№ п/п	Объект / территория	Тип стагнации	Характеристики территории		Тип градостроительного резерва
		Причина стагнации	Преимущества	Недостатки	
7	Территория в границах ул. Полесской – Минской – Барыкина – Черноморской	О→Т Усадебная застройка	<ul style="list-style-type: none"> – близость к центральной части города; – близость к крупной городской магистрали; – обширная территория; – наличие нескольких транспортно-коммуникационных узлов, обладающих потенциалом для развития; – благоприятные геологические условия 	<ul style="list-style-type: none"> – наличие обременений; – плохая транспортная связность с другими районами города; – частичное наличие централизованных инженерных коммуникаций 	Территориальный
8	Производственные территории по ул. Барыкина	О→Т Неэксплуатируемые бывшие производственные площади	<ul style="list-style-type: none"> – близость к формирующемуся крупному узлу градостроительной структуры; – близость к формирующемуся значимому транспортно-пересадочному узлу; – размещение вдоль крупной городской магистрали, ведущей к городскому центру; – удобное транспортное сообщение с центральной зоной города; – благоприятные геологические условия; – наличие централизованных инженерных коммуникаций 		Территориальный / объемно-функциональный
9	Территории по ул. Лазурной – Борисенко, по ул. Междугородней	О→Т Гаражные массивы, коммунально-складские зоны	<ul style="list-style-type: none"> – отдаленность от центра города; – близость многоэтажной жилой застройки; – размещение крупных торговых объектов городского значения; – наличие централизованных инженерных коммуникаций 	<ul style="list-style-type: none"> – наличие крупных массивов промышленной застройки; – плохая транспортная доступность; – изолированность; – ограниченно благоприятные геологические условия 	Территориальный
10	Территории вдоль ул. Ильича	О→Т Усадебная застройка	<ul style="list-style-type: none"> – размещение вдоль крупной городской магистрали, связывающей с городским центром и выводящей на республиканские трассы М-8 Гомель – Витебск и М-10 Гомель – Брест; – близость к новым крупным районам массовой жилой застройки 	<ul style="list-style-type: none"> – наличие обременений; – ограниченно благоприятные геологические условия; – частичное наличие централизованных инженерных коммуникаций 	Территориальный
11	Территории вдоль ул. Добрушской – Луначарского – Парковой и железной дороги	О→Т Усадебная застройка	<ul style="list-style-type: none"> – близость к центральной зоне города; – размещение вдоль крупной городской магистрали, связывающей с городским центром и выводящей на республиканские трассы М-8 Гомель – Витебск и М-10 Гомель – Брест; – размещение на пути к планируемому району массовой жилой застройки в связи с расширением проектной городской черты; – строящаяся важнейшая для города магистраль «Восточный обход» 	<ul style="list-style-type: none"> – наличие обременений; – неблагоприятные геологические условия; – частичное наличие централизованных инженерных коммуникаций 	Территориальный
12	Территория вдоль ул. Барыкина	О→Т Усадебная застройка	<ul style="list-style-type: none"> – потенциал ядра центральной зоны города; – хорошее транспортное сообщение; – размещение вдоль крупной городской магистрали, ведущей к городскому центру; – формирование новой жилой застройки 	<ul style="list-style-type: none"> – наличие обременений; – ограниченно благоприятные геологические условия; – частичное наличие централизованных инженерных коммуникаций 	Территориальный

Анализ территории г. Гомеля показал, что участки, которым на современном этапе может быть присвоен статус депрессивных, заняты преимущественно усадебной, коммунально-складской, недействующей промышленной застройкой, отдельными неэксплуатируемыми и аварийными зданиями или же не освоены должным образом. К устойчивым территориям относятся в первую очередь общественный городской центр, освоенные ландшафтно-рекреационные территории, а также относительно молодые микрорайоны многоквартирной жилой застройки с развитой инфраструктурой, а также немалая доля давно сложившихся районов вблизи развитых узлов градостроительной структуры. На примере показано, что обозначенные объекты могут являться как причиной, так и следствием регресса и последующей депрессивности. Таким образом, выявленные в ходе анализа территории не соответствуют уровню зрелости города и являются причиной дискретности городской ткани.

В структуре города, по нашему мнению, существуют потенциально депрессивные территории, которые обладают схожими характеристиками с выявленными на рисунке 1, однако исходя из зрелости городской ткани не могут считаться существенно нарушающими ее целостность на современном этапе. К потенциально депрессивным относятся территории, на которых начались деградиационные процессы, препятствующие равномерному развитию пространств и комплексного освоения территории, а также плохо связанные с общественным центром зоны.

Важно отметить, что многие приведенные выше «очаги депрессивности» обладают мощным потенциалом для проведения редевелопмента. Так, например, территория Гомельского завода измерительных приборов и дома Водников (п. 1–2, таблица 1) имеют выгодное расположение – размещаются в центре города, рядом с местами пересечения транспортных и людских потоков (в том числе туристических). Обширные участки, расположенные в центральной зоне и вблизи крупных городских магистралей, заняты усадебной или коммунально-складской застройкой, что ведет к неэффективному использованию городских территорий. Территория в границах улиц Полеской – Минской – Барыкина – Черноморской (п. 7) в новом генеральном плане г. Гомеля включена в состав центральной зоны города, в то время как по своим характеристикам ей не соответствует и является причиной своеобразного разрыва в городской ткани. Новую роль должны получить территории Новобелицкого района г. Гомеля (п. 10, 11), где доля усадебной застройки крайне велика. Критичность ситуации станет еще более очевидной по мере строительства всех участков магистрали «Восточный обход» и освоения новых территорий с включением их в городскую черту. Одним из последствий такой застройки является превышение нормативной плотности сети городского общественного транспорта (1,5–2,5 км / кв. км) [5, с. 30].

Важно отметить, что статистика по миграции в г. Гомеле не демонстрирует истинное состояние городских территорий и их привлекательность у населения, поскольку переселение в большом объеме осуществляется в новостроящиеся жилые районы. А возведение районов массовой жилой застройки без исходных благоприятных условий (в периферийных зонах города, при недостаточной обеспеченности транспортной и общественной инфраструктурой) ведет к быстрому переходу территорий в состояние регресса.

Современными авторами приводится множество терминов, обозначающих методы работы со стагнирующими территориями: адаптация, реконструкция, редевелопмент, реновация, конверсия, ремоделинг, рефункционализация, джентрификация [6, с. 82]. Все они демонстрируют во многом схожие подходы к работе с преобразуемыми территориями. К примеру, возможности ревитализации депрессивных территорий путем обеспечения связности и кластеризации территорий описаны в работе [7]. Анализ зарубежного и отечественного опыта показал, что основными приемами восстановления и развития депрессивных территорий являются следующие:

- реорганизация и перепрофилирования деградирующих производственных территорий под общественные функции;
- интегрирование объекта с уникальной для города функцией;
- реконструкция типовых советских серий объектов жилого фонда в спальных районах (включая надстройки и понижение этажности);
- выведение из жилого фонда первых этажей зданий для формирования общественных объектов и преобразования визуально-эстетического облика первого уровня;

- развитие транспортной сети с возведением новых участков городских дорог и организацией движения общественного транспорта по ним;

- использование подземного пространства;
- увеличение доли природных компонентов в городском ландшафте, использование зеленых насаждений в качестве архитектурных элементов (вертикальное озеленение, озеленение крыш);
- благоустройство территорий, в т. ч. пешеходных зон для осуществления ими функций общественных пространств;
- обеспечение необходимого разнообразия среды, ее индивидуализации путем преобразования урбанизированного и природного ландшафта.

В книге Дж. Форрестера, посвященной имитационному моделированию развития городов, указано, что «поведение города определяется достоинствами его экономики, и характером взаимосвязей между деловой активностью, жилым фондом и населением» [8, с. 25]. Продемонстрировано, что некоторые принимаемые меры, направленные на решение городских проблем, могут обеспечивать ожидаемые краткосрочные улучшения, однако неочевидно существенно усугублять ситуацию в отдаленной перспективе. С помощью разработанной математической модели автору удалось описать закономерности жизненного цикла городов, однако некоторые принятые допущения и специфичность различных градостроительных образований не позволяла сформулировать универсальные рекомендации по преодолению состояния стагнации территорий. Поэтому следует выбирать оптимальное направление работы с территорией исходя из анализа по совокупности критериев. Такая оценка должна включать в себя наиболее полную информацию об анализируемом объекте по следующим признакам: тип, состояние и расположение территории (объекта) для выявления ее особенностей и ограничения форм последующей работы, ее окружение для формирования целостного и эффективного пространства, преимущества территории для их учета и реализации и недостатки для оценки рисков и дополнительных затрат. Методы работы с депрессивными территориями, по нашему мнению, должны определяться результатами оценки по следующим критериям:

1. Размещение в структуре города: ядро центра, центральная зона, срединная зона, периферийная зона.
2. Основная функция: производственная, коммунально-складская, общественная, жилая, смешанная и т. д.
3. Сохранность основной функции: утрачена, неэффективное функционирование (регресс), эффективное функционирование.
4. Вид депрессии: экономическая, архитектурная, ландшафтная, социальная и т. д.
5. Историческая значимость объекта: имеется, отсутствует.
6. Транспортная доступность: хорошая связность с центром и районами, хорошая связность с районами, хорошая связность с центром, изолированность.
7. Транспортно-пешеходная структура: развитая, удовлетворительная, неразвитая (изолированность).
8. Экологическая ситуация: хорошая, удовлетворительная, фрагментально напряженная, неудовлетворительная (в т. ч. имеются опасные техногенные процессы).
9. Уровень благоустройства: хороший, удовлетворительный, неудовлетворительный.
10. Функциональное окружение (доминирующая соседствующая функция): производственная, коммунально-складская, административно-деловая, торговая, жилая и т. д.
11. Наличие планировочных ограничений: близость железной дороги, охранный зона города, природоохранная зона, санитарно-защитная зона и др.
12. Износ зданий и сооружений (уровень и распространение): физический износ, моральный износ, физический и моральный износ, удовлетворительное состояние.
13. Наличие ценных архитектурно-градостроительных ресурсов: историко-культурных ценностей, ландшафтно-рекреационных территорий городского и районного значения, общественно-делового центра, объектов городского и регионального значения и т. д.
14. Связь с общественным центром города: непосредственно общественный центр, хорошая связь с общественным центром, плохая связь с общественным центром.

15. Обеспеченность территории инженерной инфраструктурой: хорошая, удовлетворительная, плохая.

16. Потенциал территории: общественный центр, объект административно-делового назначения, рекреационного назначения, производственного назначения и т. д.

По каждому критерию необходима проработка рейтинговой оценки депрессивной территории и алгоритма определения оптимального метода возвращения депрессивной территории в городскую ткань, что может стать направлением последующих исследований.

Заключение

Таким образом, решая задачу анализа территорий г. Гомеля на предмет наличия очагов депрессивности, автором была совершена попытка анализа понятия «депрессивная» и «стагнирующая» территория и критериев, которые должны определять методы работы при возвращении таких участков в городскую ткань. Наибольшее число «очагов депрессивности», согласно результатам анализа территории г. Гомеля, расположено в бывших и действующих производственных и коммунально-складских зонах города, в отдельных районах усадебной застройки, в прирельсовых зонах.

Список цитированных источников

1. Чернышев, К. А. Трансформация территориальной организации населения депрессивного региона: монография / К. А. Чернышев. – Киров : ФГБОУ ВО «ВятГУ», 2016. – 204 с.
2. Евстратенко, А. В. Понятие «стагнирующие территории» в архитектурно-градостроительной практике / А. В. Евстратенко // Инновационное развитие транспортного и строительного комплексов : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию БелИИЖТа – БелГУТа, Гомель, 16–17 ноября 2023 г. : в 2 ч. / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2023. – Ч. 2. – С. 10–11.
3. Родяшина, К. Е. Депрессивные территории в структуре современного города: понятие, характеристики, классификация / К. Е. Родяшина // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород : БГТУ им. В.Г. Шухова, 2017. – Вып. 8. – С. 106–114.
4. Гранберг, А. Г. Основы региональной экономики: учебник для вузов / А. Г. Гранберг. – М. : Издат. дом ГУ ВШЭ, 2004. – 492 с.
5. Капский, Д. В. Транспорт в планировке городов : учеб.-метод. пособие / Д. В. Капский, Л. А. Лосин. – Минск : БНТУ, 2021. – Ч. 2: Транспортное планирование: проектирование сети городского пассажирского транспорта. – 85 с.
6. Подлесная, Е. О. Адаптация стагнирующих производственных территорий под новые функциональные программы / Е. О. Подлесная // Перспективы науки. – 2020. – № 4 (127). – С. 82–84.
7. Благовидова, Н. Г. Принципы кластеризации депрессивных урбанизированных территорий / Н. Г. Благовидова, Н. В. Юдина, М. Г. Первакова // Техническая эстетика и дизайн-исследования. – 2022. – Т. 4, № 1. – С. 35–45.
8. Форрестер, Дж. Динамика развития города / Дж. Форрестер. – М. : Прогресс, 1974. – 286 с.

References

1. CHernyshev, K. A. Transformaciya territorial'noj organizacii naseleniya depressivnogo regiona: monografiya / K. A. CHernyshev. – Kirov : FGBOU VO «VyatGU», 2016. – 204 s.
2. Evstratenko, A. V. Ponyatie «stagniruyushchie territorii» v arhitekturno-gradostroitel'noj praktike / A. V. Evstratenko // Innovacionnoe razvitie transportnogo i stroitel'nogo kompleksov : materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. 70-letiyu BellIZHTa – BelGUTa, Gomeľ, 16–17 noyabrya 2023 g. : v 2 ch. / M-vo transp. i kommunikacij Resp. Belarus', Bel. zh. d., Belarus. gos. un-t transp. ; pod obshch. red. YU. I. Kulazhenko. – Gomeľ : BelGUT, 2023. – CH. 2. – S. 10–11.
3. Rodyashina, K. E. Depressivnye territorii v strukture sovremennogo goroda: ponyatie, harakteristiki, klassifikaciya / K. E. Rodyashina // Vestnik BGTU im. V.G. SHuhova. – Belgorod : BGTU im. V. G. SHuhova, 2017. – Vyp. 8. – S. 106–114.
4. Granberg, A. G. Osnovy regional'noj ekonomiki: uchebnik dlya vuzov / A. G. Granberg. – M. : Izdat. dom GU VSHE, 2004. – 492 s.
5. Kapskij, D. V. Transport v planirovke gorodov : ucheb.-metod. posobie / D. V. Kapskij, L. A. Losin. – Minsk : BNTU, 2021. – CH. 2: Transportnoe planirovanie: proektirovanie seti gorodskogo passazhirskogo transporta. – 85 s.
6. Podlesnaya, E. O. Adaptaciya stagniruyushchih proizvodstvennyh territorij pod novye funkcional'nye programmy / E. O. Podlesnaya // Perspektivy nauki. – 2020. – № 4 (127). – S. 82–84.
7. Blagovidova, N. G. Principy klasterizacii depressivnyh urbanizirovannyh territorij / N. G. Blagovidova, N. V. YUdina, M. G. Pervakova // Tekhnicheskaya estetika i dizajn-issledovaniya. – 2022. – T. 4, № 1. – S. 35–45.
8. Forrester, Dzh. Dinamika razvitiya goroda / Dzh. Forrester. – M. : Progress, 1974. – 286 s.

Материал поступил 12.04.2024, одобрен 07.05.2024, принят к публикации 11.05.2024

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДОБАВОК ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ НА ОСНОВЕ ФОСФОГИПСА

Н. Ю. Макаревич¹, В. Н. Яглов²

¹ Аспирант кафедры «Инженерная экология», Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, e-mail: selyavi8@mail.ru

² Д. х. н., профессор кафедры «Инженерная экология», Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Реферат

В Республике Беларусь ежегодно в ходе деятельности промышленных предприятий образуется порядка 62 млн т различных отходов. Для эффективного использования всего потенциала природных ресурсов следует стремиться к безотходным технологиям. Переработка нескольких видов промышленных отходов представляют собой альтернативную основу для получения модернизированных составов строительных смесей и изделий.

Для совместной переработки фосфогипса с другими промышленными отходами в композиционное вяжущее были отобраны добавки в виде: гранитной пыли, керамзитной пыли, шлама химводоочистки. Изучены некоторые физико-химические свойства отходов: химический и гранулометрический составы, показатель коэффициента активности и гидравлический коэффициент активности отходов.

Ключевые слова: фосфогипс, гранитные отсеивы, шлам химводоочистки, керамзитная пыль, композиционные смеси, переработка отходов, вяжущее.

PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF ADDITIVES FOR THE PRODUCTION OF COMPOSITE BINDERS BASED ON PHOSPHOGYPSUM

N. Yu. Makarevich, V. N. Yaglov

Abstract

In the Republic of Belarus, about 62 million tons of various wastes are generated annually during the activities of industrial enterprises. In order to effectively use the full potential of natural resources, it is necessary to strive for waste-free technologies. The processing of several types of industrial waste represents an alternative basis for obtaining modernized compositions of building mixes and products.

Additives in the form of granite dust, expanded clay dust, chemical water treatment sludge were selected for the joint processing of phosphogypsum with other industrial waste into a composite binder. Some physico-chemical properties of waste have been studied: chemical and granulometric compositions, activity coefficient index and hydraulic activity coefficient of waste.

Keywords: technogypsum, phosphogypsum, granite screenings, chemical water treatment sludge, expanded clay dust, composite mixtures, waste recycling, binder.

Введение

Важным вектором развития научных направлений является вовлечение в оборот промышленных отходов для создания материалов с улучшенными показателями физико-химических свойств, с использованием базы образующегося и накопившегося некондиционного сырья. Совместная переработка нескольких видов отходов является технической задачей с потенциально высокой перспективой применения в строительной сфере.

Привлечение в строительный сектор альтернативных по физико-химическим характеристикам и ценовой политике сырья в производство композиционных материалов и изделий – приоритетная технологическая задача. Динамичное развитие общества и науки обусловило острую потребность в различных видах строительных материалах для удовлетворения высокого темпа строительства. Некоторые виды природных ресурсов истощаются, а некоторые и вовсе отсутствуют на территории страны, что влечет за собой ряд трудностей.

Для рационального использования природных ресурсов, в том числе и накопленных техногенных отходов, в условиях современного мира решающими являются ресурсосберегающие методы и технологии переработки техногенного сырья. Повсеместное применение смесей на основе гипса в строительстве свидетельствует о высоком спросе на данный вид продукции и интересе его производства для удовлетворения внутреннего рынка, а со временем и с перспективой выхода на внешний.

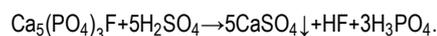
В Республике Беларусь с 1974 г. было выявлено «Бриневское» месторождение (Гомельская обл. Петриковский р-он) природного гипсового минерала. По предварительным данным геологических работ запасы гипса и ангидрида составляет порядка 380 млн т разной категории качества, объединенных в четыре горизонта с толщиной залегания породы от 1–50 м. Занимаемая месторождением площадь порядка 20 кв. км. Добыча ресурса по техническим условиям планируется подземным способом (шахта) производительной мощ-

ностью горнодобывающего комплекса – до 1 млн т/год. Существует ряд сложностей реализации данного проекта в рамках государственной экономики. В настоящее время месторождение «Бриневское» находится в списке объектов концессии Республики Беларусь для привлечения капитала инвесторов [1].

Следовательно, закупка данного сырья производится в других странах, дополнительно прибавляя к цене продукции еще логистические и транспортные услуги. Спрос и потребление продукции из гипса на строительном рынке Республики Беларусь высоки. Поэтому необходимость переработки фосфогипса (ФГ) в композиционные вяжущие с повышенными качественными характеристиками для применения в различных условиях для промышленного и гражданского строительства актуальна на сегодняшний день.

Целесообразно рассмотреть потенциально схожие отходы по структуре и составу при их совместной переработке. В виде основного компонента следует использовать фосфогипс, а в качестве добавок – другие виды некондиционных материалов промышленных комплексов Республики Беларусь. Такой подход применим к возможной переработке фосфогипса в композиционное вяжущее с добавлением шлама химводоочистки для нейтрализации кислотной среды отхода, гранитной или керамзитной пыли для повышения физико-химических свойств композита.

Фосфогипс отход ОАО «Гомельский химический завод» комкающий серо-белый порошок практически аналог природного гипса. Основным отличием является наличие в составе фосфогипса различных примесей, образующихся при сернокислотной переработке горной породы в востребованную продукцию: фосфорная кислота и комплексные удобрения. Процесс сернокислотной обработки описан следующим химическим уравнением [2]:



С конца 1965 года и по настоящее время на территории завода терриконы из фосфогипса достигли в отметку свыше 100 м и объема – более 22 млн т. Данный гипсонакопитель занимает территорию порядка 90 га. Отход практически не используется и не перерабатывается.

Аналогичная экологическая проблема также затрагивает ряд стран: Соединенные Штаты Америки (США), Китайская Народная Республика (КНР), Япония, Тунисская Республика, Украина, Турция, Бельгия, Бразилия, Германия, Англия и другие. По литературным источникам только Япония перерабатывает отход в полном объеме. Германия и Франция имеют успешные практические разработки. В Российской Федерации перерабатывает фосфогипс Воскресенский и Уваровский химические заводы, Кедайнском экспериментальный завод [3].

Так как природные запасы минералов со временем исчерпываются, данный отход привлекает к себе значительное внимание в виде основного составляющего в композиционных смесях. Существует ряд недостатков данного отхода: примеси, кислая среда, содержание редкоземельных элементов (РЗЭ). Учитывая все эти факторы, переработку ФГ следует рассматривать системно:

- 1) извлечение соединений редкоземельных металлов;
- 2) переработка остатка фосфогипса и других видов промышленных отходов Республики Беларусь в композиционное вяжущее.

Извлечение РЗЭ из фосфогипса рассматривается несколькими способами:

- минеральными кислотами;
- конверсионным способом;
- биоготехнологическим выщелачиванием.

Данные процессы имеют ряд недостатков, которые препятствуют их полноценной реализации и масштабного использования, в силу несовершенства и трудоемкости, что отражается на финансовой составляющей и конечном результате. Разработка в данном направлении техпроцессов и предлагаемых методов в настоящее время актуальна.

Рассматривая вторую часть системы переработки: разработка композиционного состава из фосфогипса и других видов отходов, после извлечения РЗЭ с применением кислот (популярное направление исследований данным способом), отход имеет кислую среду, что затрудняет дальнейшую переработку и требует обязательного

этапа нейтрализации до pH = 7–7.5. Для этого процесса предлагается использовать гидроксид кальция или мел.

Промышленные отходы в качестве активных минеральных добавок

Для повышения физико-химических показателей смесей на основе фосфогипса необходимой частью являются активные минеральные добавки, которые при перемешивании в технологическом процессе и взаимодействуя с водой имеют возможность твердеть без обжига. Как правило, добавки в композиционных составах мелкодисперсные, что не требует дополнительных затрат на их помол перед использованием. К таким добавкам можно отнести некоторые виды промышленных отходов, образующихся на территории Республики Беларусь:

- гранитные отсевы (пыль);
- керамзитная пыль;
- шлам химводоочистки (ХВО).

Вышеперечисленные промышленные отходы в данное время в значительных объемах хранятся на отведенных территориях и не перерабатываются, либо используются / перерабатываются в недостаточном объеме от их образования. Для составления композиционных смесей были изучены некоторые физико-химические свойства отходов: химический состав, гранулометрический состав, показатель коэффициента активности и гидравлический коэффициент активности отходов.

Гранитные отсевы и пыль – экологически безопасное сырье, образуются при обработке, транспортировке, дроблении, просеивании, шлифовке, пилении и других технологических операциях с каменными породами (рисунки 1). В Республике Беларусь основным градообразующим предприятием по добыче и переработке гранитных пород является РУПП «Гранит» г. Микашевичи Брестской области.

Взрывным способом производится добыча гранита в открытом карьере. Производительность предприятия порядка 21 млн т строительных материалов в год. Площадь, занимаемая карьером, более 375 га, а глубина 150 м.



а – вид со спутника по данным интернет-ресурса Google Карты (масштаб – 1:1000м);

б – фотография образца гранитной пыли РУПП «Гранит»

Рисунок 1 – Открытый карьер РУПП «Гранит»

За период деятельности осуществляемой в карьере (выпуска щебня разных фракций и кусковых пород для изделий) накопились отходы: гранитные отсевы и пыль – свыше 60 млн т, что позволяет отнести их к разряду многотоннажных. Отход частично используется как заполнитель или добавка [4] в бетоны, в качестве фильтровального компонента и других целях.

Удельная поверхность 2300–2800 см²/г в зависимости от фракции отсева, насыпная плотность – 1,4–1,6 г/см³, не имеет радиационной активности (неопасные отходы). Цвет преимущественно темно-серый, местами в карьере буро-красный с вкраплениями минералов. Объемы

образования отхода (фракция 0–10 мм) порядка 15–25 % от всей взрывной породы в карьере, а также пыль из влажных пылеулавливателей на предприятии и при станочных обработках кусковых пород, превышают темп их использования. Средние химические показатели состава гранитной пыли представлены в таблице 1.

Для определения гранулометрического состава гранитной пыли был взят образец гранитной пыли РУПП «Гранит». Усредненный результат просеянных пяти проб массой по 100 г приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Усредненный химический состав гранитной пыли РУПП «Гранит»

Компоненты	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃ / FeO	MnO	TiO ₂	MgO	SO ₃	P ₂ O ₅
Массовая доля, % мас.	60–63.5	15–15.5	4–4.5	2.5–3.0	2.0–2.5	3.0–4.5	5.0–8.5	0.05–0.2	0.8–1.0	0.4–0.6	0.1–0.15	0.1–0.15

Таблица 2 – Гранулометрический состав гранитной пыли

Фракция частиц, мкм	Выход, %							Σ
	+0,315	+0,2 –0,315	+0,125 –0,2	+0,094 –0,125	+0,063 –0,094	–0,063		
Максимальное, %	2,050	0,850	1,07	0,050	1,015	94,965	100	
Минимальное, %	1,080	0,600	0,43	0,200	1,045	96,645	100	
Среднее из 5 проб, %	1,565	0,725	0,650	0,125	1,030	95,805	100	

По данным гранулометрического состава видно, что преобладающей по массе (более 95 %) является фракция с размером частиц менее 0,063 мкм. Высокое содержание в пыли алюмосиликатов и большой удельной поверхности частиц способны проявлять вяжущие свойства в композиционных составах.

Керамзитная пыль – побочный мелкодисперсный материал при получении керамзитных гранул во время высокотемпературной обработки в печах. Ежегодно образуется порядка 3 тыс. т (рисунок 2), что свидетельствует о крупнотоннажном отходе в Республике Беларусь, учитывая период производительности комплекса. Цвет может быть от насыщенно коричневого до красно-коричневого, насыпная плотность отхода 1200–1400 кг/м³, удельная поверхность – 700–850 м²/кг. Отход относится к 4 классу опасности. Химический состав представлен в таблице 3.



Рисунок 2 – Керамзитная пыль ЗАО «Лидский завод керамзитового гравия»

Таблица 3 – Усредненный химический состав керамзитной пыли ЗАО «Лидский завод керамзитового гравия»

Компоненты	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃ / FeO	MnO	TiO ₂	SO ₃	P ₂ O ₅
Массовая доля, % мас.	58–62	17,5–18	2,0–4,5	2,5–3,0	0,5–0,85	1,8–2,3	7,0–9,8	0,05–0,2	0,8–0,95	0,1–1,2	0,15–0,23

Исследовалось применение керамзитовой пыли в качестве минеральной добавки в цементных вяжущих [5]. Для определения гранулометрического состава керамзитной пыли был использован ситовый способ. Отобрали образцы керамзитной пыли ЗАО «Лидский завод ке-

рамзитового гравия», собранные в сухом виде. Просеивали пять проб весом по 100 г, данные исследования представлены в таблице 4.

Из таблицы 4 можно сделать вывод, что преобладающей фракцией пыли (более 95 %) составляют частицы менее 0,063 мкм.

Таблица 4 – Гранулометрический состав керамзитной пыли ЗАО «Лидский завод керамзитового гравия»

Фракция частиц, мкм	Выход, %							Σ
	+0,315	+0,2 –0,315	+0,125 –0,2	+0,094 –0,125	+0,063 –0,094	–0,063		
Максимальное, %	0,205	0,280	1,095	0,095	1,980	96,345	100	
Минимальное, %	0,405	0,310	1,205	0,115	2,48	95,485	100	
Среднее из 5 проб, %	0,310	0,295	1,15	0,105	2,230	95,915	100	

Шлам химводоочистки – минеральный продукт, образующийся при обезжелезивании/умягчении (известкование, коагуляция) больших объемов воды и подачи пара на тепловых электроцентралях для обеспечения городских массивов и промышленных комплексов тепло- и водоснабжением (рисунок 3). Проблема данного отхода со-

стоит в том, что он накапливается на открытых необорудованных площадках без специальных мер защиты окружающей среды, занимая сельскохозяйственные территории и с удельным экологическим риском возможно изменение химического состава рядом располагающихся водоемов.



а – пруды-шламонакопители на Минской ТЭЦ-4 вид со спутника по данным интернет-ресурса Google Карты (масштаб – 1:100 м); б – фотография шлама химводоочистки Минской ТЭЦ-4 РУП «Минскэнерго»

Рисунок 3 – Минская ТЭЦ-4 РУП «Минскэнерго»

По данным статистического комитета Республики Беларусь за 2022 г. всего было использовано 1270 млн м³ водных ресурсов [6]. Из них 464,4 млн м³ использовались в целях водоснабжения

для ТЭЦ и других предприятий, это свидетельствует о образовании большого количества отходов – порядка 130 тыс. тонн шлама ХВО.

Таблица 5 – Усредненный химический состав шлама химводоочистки Минской ТЭЦ-4 РУП «Минскэнерго»

Компоненты (оксиды)	CaO	SiO ₂	MgO	Fe ₂ O ₃	Следовые соединения оксидов др. металлов
Массовая доля, % мас.	82–87	2.5–3.5	3–5	6–8	1–1,5

Данный вид отхода нетоксичный – 5 класса опасности (неопасные), по физическим параметрам – мелкодисперсный, что является преимуществом при использовании его в качестве минеральной добавки, избегая процесса помола. Усредненный химический состав шлама представлен в таблице 5 и гранулометрический состав шлама химводоочистки Минской ТЭЦ-4 РУП «Минскэнерго» приведен в таблице 6.

Насыпная плотность отхода 650–860 кг/м³, высокая удельная поверхность порядка 750–1250 м²/кг, водородный показатель рН ≈ 9–9,5 не представляют радианной опасности, т. к. следовые тяжелые элементы значительно ниже фоновых и нормированных показателей. Применяют данный шлам при производстве кирпича, битумных смесей, цементных растворов [7]. Преобладает количество Са⁺ в своем составе, поэтому целесообразно применить шлам для создания вяжущих как активную добавку в составе композита.

Таблица 6 – Гранулометрический состав шлама химводоочистки Минской ТЭЦ-4 РУП «Минскэнерго»

Фракция частиц, мкм	Выход, %	+0,315	+0,2 –0,315	+0,125 –0,2	+0,094 –0,125	+0,063 –0,094	–0,063	Σ
Максимальное, %		0,275	0,145	0,120	0,375	0,140	98,945	100
Минимальное, %		0,195	0,105	0,084	0,275	0,110	99,231	100
Среднее из 5 проб, %		0,235	0,125	0,102	0,325	0,125	99,088	100

Из таблицы 6 видно, что преобладающий размер частиц шлама (более 99 %) составляет фракция менее 0,063 мкм.

Для дальнейшей работы с образцами гранитной и керамзитной пыли был определен коэффициент активности по экспресс-методу В. В. Строковой.

Для этого отобрали по три навески каждого образца мельчайшей фракции в коническую колбу и отмеряли 200 грамм 30 %-го гидроксида натрия, тщательно перемешали в течение 10 минут с полным перекрытием воздуха пробкой в колбе. После чего колбу устанавливали на водяную баню (90 °С) на 120 минут. Образовавшийся остаток отфильтровали, несколько раз промывали дистиллированной водой и просушили при температуре 60 °С в течении 2–2,5 часов до

стабильной массы и взвешивали. Для расчета коэффициента активности использовали формулу 1 [8]:

$$K_a = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \%, \quad (1)$$

где m₁ – масса сырья исходной навески, г.; m₂ – масса остатка, после сушки, г.

Для расчета гидравлической активности использовали формулу 2:

$$\Gamma_{амд} = \sqrt{\ln K_a}, \quad (2)$$

где K_a – коэффициент активности минерального отхода, рассчитанный методом Строковой, %.

Таблица 7 – Результаты расчётов по образцам гранитной и керамзитной пыли

Вид отхода: Керамзитная пыль	Коэффициент активности, %	Коэффициент гидравлической активности по формуле 2	Вид отхода: Гранитная пыль	Коэффициент активности, %	Коэффициент гидравлической активности по формуле 2
проба 1	34,8	1,88	проба 1	23	1,77
проба 2	35,7	1,89	проба 2	21	1,74
проба 3	34,0	1,87	проба 3	24,5	1,78
Среднее из 3 проб:	34,8	1,88	Среднее из 3 проб:	22,8	1,76

Из расчета по экспресс-методу определения активности гранитной и керамзитной пыли данные отходы определяются как активные (K_a от 21 до 50 %) и коэффициент гидравлической активности отхода относятся к активным (Γ_{амд} > 1).

Заключение

Разработка модифицированных композитов с использованием процесса прессования фосфогипса с добавлением крупнотоннажных минеральных отходов и различных видов шламов в составе по технологии исключая дорогостоящие операции (обжиг, промывка, фильтрация) в настоящее время весьма актуальна в разрезе экономического и экологического вопросов.

Для достижения повышения физико-химических свойств (нейтрализация, прочность, водостойкость) смесей на основе фосфогипса были определены и отобраны виды отходов: гранитная пыль, керамзитная пыль и шлам химводоочистки, которые практически не перерабатываются и накапливаются в Республике Беларусь.

Основной задачей данного исследования стало определение гранулометрического состава отобранных образцов отходов, рассмотрение химических составов отходов, определение коэффициента активности и гидравлического коэффициента активности.

Критериями отбора данных видов отходов служит их высокое содержание Al₂O₃ и SiO₂ в химических составах гранитной пыли (K_a = 34,8 %, Γ_{амд} = 1,88) и керамзитной пыли (K_a = 24,5 %, Γ_{амд} = 1,76). При взаимодействии с ФГ образуются сложные нерастворимые формы солей, тем самым повышая показатели прочности и гидростойкости композиционного материала. Шлам химводоочистки с рН = 9–9,5 рекомендуется использовать для обязательного этапа нейтрализации водородного показателя исходной кислой среды фосфогипса, в целях замены известного на некондиционный материал.

Данные отходы мелкодисперсные (более 95 % фракции составляет размер частиц менее 0,063 мкм), планируемое использование их в качестве добавок позволит улучшить свойства композиционных материалов, экспериментально регулируя их пропорциональное со-

отношение в составе для достижения улучшенных качественных показателей прессованных изделий.

Исключение высокотемпературных этапов производства как наиболее дорогостоящих операций процесса оптимизирует топливно-энергетические ресурсы. Переработка промышленных отходов в качественный востребованный материал реализует цели устойчивого развития страны и рациональное использование природных ресурсов [9].

Данный подход к переработке нескольких видов отходов в композиционные составы является основой безотходного производства, рационально используя весь природный потенциал полезных ископаемых, решая множество вопросов экономического, потребительского и экологического секторов на уровне государства.

Список цитированных источников

1. Перечень концессионных объектов Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ecportal.gov.by>. – Дата доступа: 12.04.2024.
2. Русина, В. В. Минеральные вяжущие вещества на основе многотоннажных промышленных отходов: учебное пособие / В. В. Русина. – Братск : ГОУ ВПО «БрГУ», 2007. – 38 с.
3. Отходы фосфорной промышленности [Электронный ресурс] // КиберПедия 2017–2024. – Режим доступа: <https://cyberpedia.su/12x85ea.html>. – Дата доступа: 24.03.2024.
4. Смоляков, А. В. Эффективность в цементе и цементном бетоне диспергированной гранитной породы / А. В. Смоляков // Наука и техника. – 2018. – № 4. – С. 297–305.
5. Керамзитовая пыль как активная добавка в минеральные вяжущие – состав и пуццолановые свойства / Л. Рахимов [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – № 19. – С. 57–61.
6. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by>. – Дата доступа: 24.03.2024.
7. Использование шлама химводоочистки теплоэлектростанций в производстве строительных материалов и изделий / А. В. Каклюгин [и др.] // Молодой исследователь Дона. – 2020. – № 4 (25). – С. 28–33.
8. Экспресс-метод определения активности кремнеземного сырья для получения, гранулированного наноструктурирующего заполнителя / В. В. Строкова [и др.] // Строительные материалы. – № 1. – 2013. – С. 38–39.
9. Цели устойчивого развития [Электронный ресурс] // Организация Объединенных Наций в Беларуси. – Режим доступа: <http://un.by/oon/globalnaya-povestka/tseli-ustojchivogo-razvitiya>. – Дата доступа: 22.03.2024.

References

1. Perechen' koncessionnyh ob'ektov Respubliki Belarus' [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://ecportal.gov.by>. – Data dostupa: 12.04.2024.
2. Rusina, V. V. Mineral'nye vyazhushchie veshchestva na osnove mnogotonnaznyh promyshlennyh othodov: uchebnoe posobie / V. V. Rusina. – Bratsk : GOU VPO «BrGU», 2007. – 38 s.
3. Othody fosfornoj promyshlennosti [Elektronnyj resurs] // KiberPediya 2017–2024. – Rezhim dostupa: <https://cyberpedia.su/12x85ea.html>. – Data dostupa: 24.03.2024.
4. Smolyakov, A. V. Effektivnost' v cemente i cementnom betone dispergirovannoj granitnoj porody / A. V. Smolyakov // Nauka i tekhnika. – 2018. – № 4. – S. 297–305.
5. Keramzitovaya pyl' kak aktivnaya dobavka v mineral'nye vyazhushchie – sostav i puccolanovye svoystva / L. Rahimov [i dr.] // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. – 2013. – № 19. – S. 57–61.
6. Nacional'nyj statisticheskij komitet Respubliki Belarus' [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.belstat.gov.by>. – Data dostupa: 24.03.2024.
7. Ispolzovanie shlama himvodoochistki teploelectrostancij v proizvodstve stroitel'nyh materialov i izdelij / A. V. Kaklyugin [i dr.] // Molodoy issledovatel' Dona. – 2020. – № 4 (25). – S. 28–33.
8. Ekspress-metod opredeleniya aktivnosti kremnezemnogo syr'ya dlya polucheniya, granulirovannogo nanostrukturiruyushchego zapolnitelya / V. V. Strokovaya [i dr.] // Stroitel'nye materialy. – № 1. – 2013. – S. 38–39.
9. Celi ustojchivogo razvitiya [Elektronnyj resurs] // Organizaciya Ob"edinennyh Nacij v Belarusi. – Rezhim dostupa: <http://un.by/oon/globalnaya-povestka/tseli-ustojchivogo-razvitiya>. – Data dostupa: 22.03.2024.

Материал поступил 15.04.2024, одобрен 08.05.2024, принят к публикации 18.05.2024

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ТЕПЛОВОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ ФАСАДОВ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ ТИПОВЫХ СЕРИЙ

Н. В. Черноиван¹, В. Г. Новосельцев²

¹ К. т. н., доцент, доцент кафедры прикладной механики УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: chernoivan@inbox.ru

² К. т. н., доцент, заведующий кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: vgnovoseltsev@yandex.ru

Реферат

Оценка технического состояния наружного стенового ограждения эксплуатируемых крупнопанельных жилых зданий серии 1-464А и их модификаций показала, что остаточная прочность конструкций в полтора раза превышает проектную, т. е. они могут эксплуатироваться еще не менее 20...25 лет при условии обеспечения надежной герметизации стыков между панелями.

В публикации подробно излагается эффективная технология производства работ по тепловой реабилитации фасадов эксплуатируемых крупнопанельных жилых зданий с применением теплоизоляционных облицовочных фасадных панелей заводского изготовления, обеспечивающая надежную герметизацию межпанельных стыков и исключение появления «мостиков холода» на утепленном фасаде зданий.

Ключевые слова: керамзитобетонные стеновые панели, эксплуатационные дефекты, теплоизоляционная облицовочная фасадная панель, межпанельный стык типа «фолдинг».

PROPOSALS FOR THERMAL REHABILITATION OF FACADES OF OPERATED LARGE-PANEL RESIDENTIAL BUILDINGS OF STANDARD SERIES

N. V. Chernoiivan, V. G. Novoseltsev

Abstract

An assessment of the technical condition of the external wall fencing of the operated large-panel residential buildings of the 1-464A series and their modifications showed that the residual strength of the structures is one and a half times higher than the design, i. e. they can be operated for at least another 20...25 years, provided reliable sealing of the joints between the panels is ensured.

The publication describes in detail the effective technology of work on thermal rehabilitation of facades of operated large-panel residential buildings with the use of factory-made thermal insulation cladding facade panels, which ensures reliable sealing of inter-panel joints and the appearance of "cold bridges" on the insulated facade of buildings.

Keywords: expanded clay concrete wall panels, operational defects, thermal insulation cladding facade panel, inter-panel joint of the "folding" type.

Введение

Сегодня в Республике Беларусь эксплуатируется свыше тысячи крупнопанельных домов серии 1-464А и ее модификаций [1], построенных по нормативам, действующим до 1997 года, когда сопротивление теплопередаче наружных стен не превышало $R = 1,0 \text{ м}^2 \times \text{°C/Вт}$. Первоначально предполагалось построить дома этих серий и их модификаций как временные рассчитанные на 40...50 лет службы. На основании проведенных исследований фасадных панелей эксплуатируемых зданий этой серии, а также при выполнении поверочных расчетов при перепланировках первых этажей, сделаны заключения, что их остаточная прочность в полтора раза превышает проектную. По оценкам специалистов, при проведении работ по тепловой реабилитации фасадов эти здания простоят еще 15...20 лет до первого вероятного отказа [2, 3].

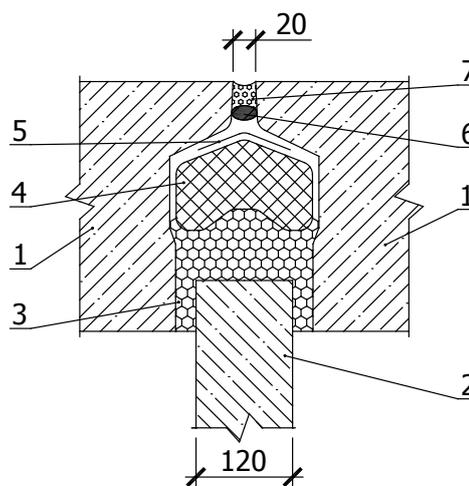
Рассматриваемые здания представляют собой пятиэтажные дома бескаркасной системы с несущими продольными и поперечными стенами (шаг 2,6 и 3,2 м). Наружные стены – трехслойные керамзитобетонные панели толщиной 350 мм. Поверочный теплотехнический расчет ограждающих стеновых панелей из керамзитобетона толщиной 350 мм, выполненный с учетом действующих нормативных документов [4], показал, что термическое сопротивление конструкции $0,94 \text{ м}^2 \times \text{°C/Вт}$ [5]. Следует отметить, что сегодня приведенное сопротивление теплопередаче стенового ограждения зданий класса А для населенных пунктов, расположенных в южных регионах Республики Беларусь (г. Брест) – $3,84 \text{ м}^2 \times \text{°C/Вт}$, т. е. более чем в четыре раза выше фактического значения.

На данный момент эксплуатации у крупнопанельных жилых зданий с керамзитобетонными фасадными панелями основным дефектом является низкая теплоизоляция наружных стен в целом. Установлено, что существенное влияние на снижение теплотехнических характеристик фасадов панельных зданий оказывают:

– увлажнение и морозное разрушение внутреннего слоя керамзитобетона;

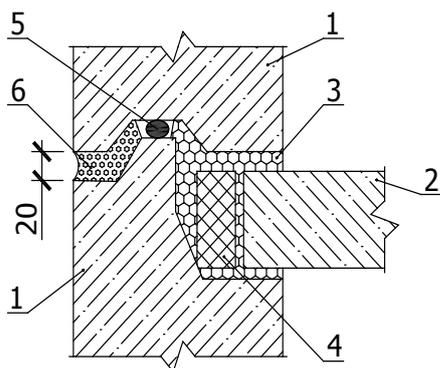
– промерзание и протекание межпанельных швов, обусловленное потерей материалами герметика и теплоизоляции, установленными в межпанельных швах, эксплуатационных характеристик, заявленных производителем.

Конструктивные решения вертикальных и горизонтальных стыков наружных стеновых панелей межпанельных швов, используемые в серии 1-464А, представлены на рисунках 1 и 2.



1 – керамзитобетонная фасадная панель; 2 – внутренняя стеновая панель; 3 – монолитный участок стыка; 4 – теплоизоляционный вкладыш; 5 – полоса рубероида; 6 – герметизирующая прокладка; 7 – цементный раствор

Рисунок 1 – Вертикальный стык наружных стеновых панелей



1 – керамзитобетонная фасадная панель; 2 – плита междуэтажного перекрытия; 3 – монолитный участок стыка; 4 – теплоизоляционный вкладыш; 5 – герметизирующая прокладка; 7 – цементный раствор

Рисунок 2 – Горизонтальный стык наружных стеновых панелей

Согласно принятой терминологии конструктивные схемы наружных стыков, примененные в крупнопанельных зданиях, классифицируются как стыки открытого типа.

Сегодня для обеспечения эксплуатационной эффективности таких стыков вместо герметизирующей прокладки (гернит или поризол) используют герметизирующую ленту из алюминиевого сплава, а также выполняют слив из алюминиевого листа в местах пересечения вертикальных и горизонтальных стыков. Однако в период массового строительства крупнопанельных зданий в 70..80 годах прошлого века из-за высокой стоимости алюминиевых материалов они не применялись.

Обследование технического состояния стыков эксплуатируемых жилых панельных зданий показало, что утеплитель в местах сопряжения панелей полностью потерял свои эксплуатационные характеристики [2]. Как следствие, все швы являются зонами промерзания, ведущие за собой нарушение температурно-влажностного режима помещений [6].

Попадание влаги и холодного воздуха внутрь панелей ведет также к появлению трещин и отслоению лещадок в наружном бетонном слое, а, следовательно, к разрушению наружного слоя панелей фасадов здания. Особой проблемой наружных стеновых панелей являются температурные деформации, проявляющиеся наличием многочисленных вертикальных трещин в наружном слое [6, 7, 8].

Учитывая, что техническое состояние межпанельных швов является основным фактором, влияющим на эксплуатационную эффективность стенового ограждения в целом, действующие нормативные материалы по эксплуатации панельных домов предусматривают необходимость периодического осмотра и ремонта межпанельных швов [9].

В системе технического обслуживания зданий и сооружений массово применяются несколько методов утепления и герметизации открытых межпанельных швов. Однако, учитывая, что производители материалов, применяемых для герметизации межпанельных швов, гарантируют сохранение их эксплуатационных характеристик на срок 8...10 лет, а технологический процесс ремонта межпанельных стыков открытого типа достаточно трудоемкий, то решению этой проблемы уделяется большое внимание [10].

В системе обслуживания зданий и сооружений разработано несколько методов утепления и герметизации межпанельных швов. Наиболее эффективна технология «Теплый шов», включающая в себя использование таких теплоизоляционных материалов, как «Вилатерм-СП» – пенополиуретановый утеплитель, герметик «Макрофлекс», солнцезащитная мастика «Оксипласт». Для исключения появления «мостиков холода», при утеплении швов установлен достаточно жесткий технологический регламент проведения работ, что сдерживает массовое применение этого метода утепления межпанельных швов.

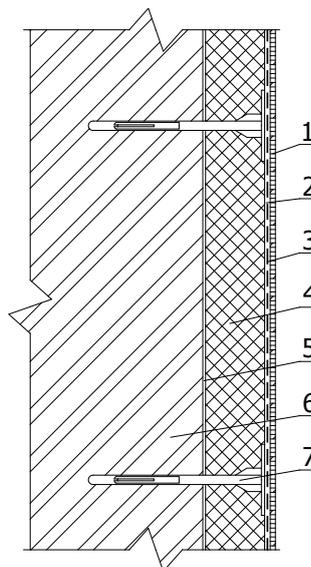
Следует отметить, что при отсутствии утепления шва снаружи, в зоне расположения ребер жесткости панелей, многие специалисты, выполнив тепловизионную съемку, делают вывод о недостаточности утепления стыка, не учитывая его конструктивную особенность. В результате чего утепление стыка, как бы его не выполняли качественно, является недостаточным и весь процесс перерастает в утепление всей стеновой панели.

Учитывая, что остаточная прочность жилых зданий серии 1-464А и ее модификаций в полтора раза превышает проектную, высокую трудоемкость ремонта межпанельных стыков, общую недостаточную теплоизоляцию и наличие большого количества трещин в наружных стеновых панелях, разработка эффективного конструктивно-технологического решения тепловой реабилитации фасадов эксплуатируемых крупнопанельных зданий со стеновыми панелями из керамзитобетона является актуальной задачей.

Предлагаемое решение тепловой реабилитации фасадов эксплуатируемых крупнопанельных зданий

Анализ публикаций по данной проблеме позволяет сделать следующее заключение. На сегодня для утепления фасадов эксплуатируемых крупнопанельных зданий в странах СНГ рекомендуют применять следующие системы: «легкая штукатурная» и «вентилируемый фасад».

Легкая штукатурная система является основным конструктивным решением в Республике Беларусь, массово применяемым при утеплении фасадов вновь возводимых и эксплуатируемых зданий (рисунок 3).



1 – декоративно-защитный слой; 2 – армированный слой;
3 – армирующий материал; 4 – теплоизоляционный слой;
5 – клеевой слой; 6 – утепляемая стена;

7 – дюбель-анкер для крепления плит утепления

Рисунок 3 – Конструктивное решение легкой штукатурной системы

Технологический процесс по устройству легких штукатурных систем достаточно трудоемкий, так как включает значительное количество ручных строительных процессов.

Подготовительные:

- установка строительных лесов;
- демонтаж с фасада всех элементов, ограничивающих доступ к утепляемым поверхностям стен;
- подготовка подосновы, включающая: удаление с утепляемых поверхностей стен отслаивающихся слоев штукатурки, ремонт разрушенных участков кладки, выравнивание поверхности оштукатуриванием.

Основной технологический процесс включает в себя следующие операции:

- приклеивание плитного утеплителя с установкой, при необходимости, опорных профилей;
- дополнительное крепление плитного утеплителя анкерными устройствами (при необходимости);
- устройство армированного слоя;
- устройство декоративно-защитного слоя.

В настоящее время в Республике Беларусь для утепления наружных стен применяют конструкцию вентилируемого фасада «РУСЭКСП», разработанную компанией «Атлас Москва». В этой конструкции применяются телескопические кронштейны, позволяющие изменять длину кронштейна от 0 до 110 мм и вынести облицовку на 450 мм от утепляемой стены, что позволяет при утеплении фасадов зданий, в которых стена выполнена с существенными отклонениями от вертикали, обходиться одним типоразмером кронштейнов.

Конструкция кронштейна позволяет менять угол его установки относительно вертикальной направляющей. Подвижность кляммера для крепления облицовочных плит относительно направляющей не требует строго выдерживать расстояние между осями направляющих, что значительно снижает требования к точности установки кронштейнов и, соответственно, уменьшает затраты при монтаже.

Конструкция утепления фасадов «вентилируемый фасад» предусматривает применение металлических конструктивных элементов, закрепляемых в стене: вертикальных направляющих, несущих телескопических кронштейнов, кляммеров рядовых и др. (рисунок 4).

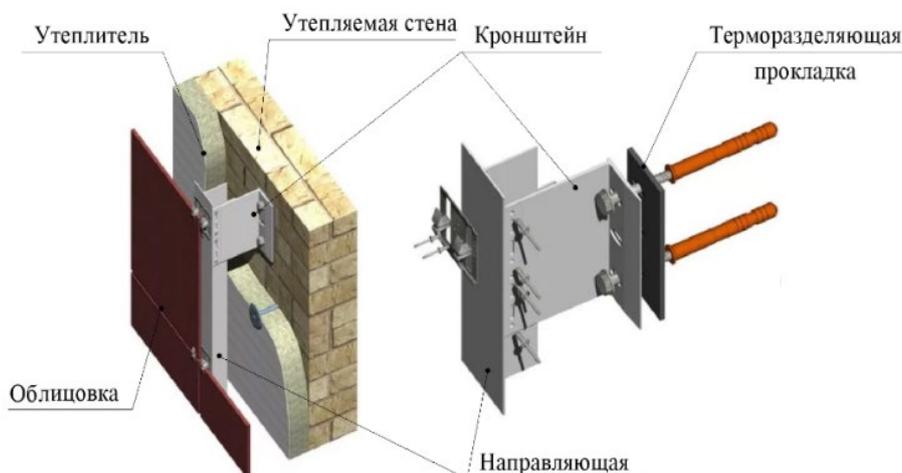


Рисунок 4 – Конструктивное решение системы утепления «Вентилируемый фасад»

Технологический процесс по устройству системы утепления «Вентилируемый фасад» является также достаточно трудоемким, так как включает в основном немеханизированные операции.

Подготовительные операции:

- установка строительных лесов;
- демонтаж с фасада всех элементов, ограничивающих доступ к утепляемым поверхностям стен.

Основной технологический процесс состоит из следующих операций:

- разметка мест установки опорных столиков-кронштейнов;
- установка опорных элементов (кронштейнов) в проектное положение;
- закрепление плит теплоизоляции к поверхности стены;
- установка гидротетрозащитной мембраны и монтаж вертикальных направляющих;
- крепление облицовки к вертикальным направляющим.

Следует отметить, что массового применения для утепления фасадов эксплуатируемых крупнопанельных жилых зданий типовых серий ни одна из этих систем в Республике Беларусь не нашла. Основные причины: высокая трудоемкость производства работ; большой расход металла (дорогостоящая нержавеющая сталь), и, как следствие этого, высокая стоимость 1 м² утепляемой поверхности [11, 12, 13].

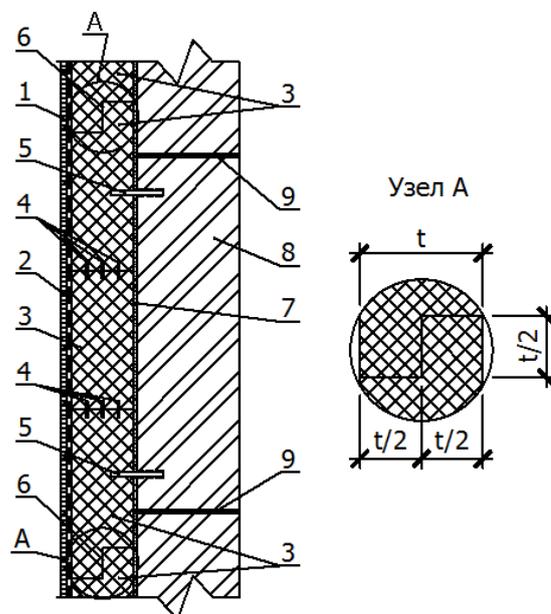
Предлагается для снижения трудоемкости производства работ по тепловой реабилитации фасадов эксплуатируемых крупнопанельных зданий применить теплоизоляционную облицовочную фасадную панель заводского изготовления (рисунок 5).

Предлагаемая конструкция состоит из плитных теплоизоляционных материалов, соединенных в заводских условиях с помощью стеклопластиковых штифтов в облицовочную панель размерами, перекрывающими стыки на фасаде здания, что обеспечивает полную теплоизоляцию и герметизацию вертикальных и горизонтальных стыков на фасаде утепляемых эксплуатируемых крупнопанельных зданий без их дополнительного ремонта. Устройство на наружной поверхности фасадной панели в заводских условиях декоративно-защитного и окрасочного слоев, а также применение стыка типа «фолдинг» между теплоизоляционными фасадными панелями позволяет существенно снизить трудоемкость производства работ и исключить появление «мостиков холода» на утепленной поверхности в процессе эксплуатации.

Применение рекомендуемой теплоизоляционной облицовочной фасадной панели заводского изготовления для восстановления теплотехнических характеристик фасадов эксплуатируемых крупнопанельных зданий позволяет практически полностью исключить все трудоемкие ручные технологические операции. Наличие в фасадных панелях стеклопластиковых анкеров-фиксаторов позволяет существенно сни-

зить трудоемкость их установки в проектное положение, так как позволяет исключить из технологического процесса установку строительных лесов по периметру утепляемого здания. Устройство вертикальных и горизонтальных стыков между теплоизоляционными фасадными панелями типа «фолдинг» позволяет полностью исключить ручные операции по выполнению защитного слоя стыков теплоизоляционных облицовочных панелей, а также обеспечить необходимую прочность соединения теплоизоляционной фасадной панели с утепляемой конструкцией без устройства дополнительного крепления.

Установка и закрепление теплоизоляционных фасадных панелей в проектное положение осуществляется в следующей технологической последовательности.



- 1 – декоративно-защитный и окрасочный слой;
- 2 – армирующий слой;
- 3 – теплоизоляционная облицовочная фасадная панель;
- 4 – стеклопластиковый штифт;
- 5 – стеклопластиковый установочный анкер-фиксатор;
- 6 – стык «фолдинг»;
- 7 – полимерный клеевой состав;
- 8 – утепляемая поверхность;
- 9 – стык между стеновыми панелями

Рисунок 5 – Рекомендуемое конструктивное решение утепления фасадов крупнопанельных зданий

На первом этапе на утепляемом фасаде размечают места размещения установочных анкеров-фиксаторов и сверлят под них отверстия (шпурь). Крепление теплоизоляционных облицовочных фасадных панелей к утепляемому стеновому ограждению выполняется на полимерном клеевом составе, без применения дополнительных крепежных элементов (дюбелей-анкеров), в полном соответствии с технологией, рекомендуемой в [14]. Также, согласно [12]: «До закрепления теплоизоляционной облицовочной плиты в проектное положение на соединяемые поверхности (пазы) стыков типа фолдинг с помощью валика (кисти) наносят слой фасадного клея-герметика СЕММИХ, который применяется в широком диапазоне температур (в том числе при отрицательных температурах) и быстро отверждается под влиянием влаги из воздуха».

Заключение

Предлагаемая технология восстановления теплотехнических характеристик фасадов эксплуатируемых крупнопанельных жилых зданий с применением теплоизоляционных облицовочных фасадных панелей заводского изготовления обеспечивает полную теплоизоляцию и герметизацию вертикальных и горизонтальных стыков на фасадах крупнопанельных зданий на весь период эксплуатации утепленных зданий. Применение в швах фасадных панелей стыка типа «фолдинг» позволяет полностью исключить появление «мостиков холода» на фасадах утепленных крупнопанельных зданий. Высокая технологичность производства работ (закрепление на клею конструкций заводского изготовления) обеспечивает существенное снижение трудоемкости подготовительных работ и основных технологических процессов, и как следствие – стоимости 1 м² утепляемой поверхности.

Список цитированных источников

- Серия 1-464А. Панельные жилые дома. PhotoBuildings. Архитектурная фотобаза [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://photobuildings.com/projects/163/>. – Дата доступа: 21.01.2024.
- Грязнов, М. В. Решение проблем эксплуатации крупнопанельных жилых зданий / М. В. Грязнов, И. М. Титанов, А. С. Свинцова // Новый университет. Серия: Технические науки. – 2016. – № 1(47). – С. 57–62.
- Техническая эксплуатация и ремонт зданий и сооружений: учеб. пособие / С. И. Рощина [и др.]; Владимирский государственный университет. – Владимир : Изд-во Владимирского государственного университета, 2009. – 200 с.
- Строительная теплотехника: СП 2.04.01-2020. – Введ. 20.01.2021. – Минск : М-во архит. и строит. Республики Беларусь, 2020. – 76 с.
- Андреев, М. К. Утепление фасадов при реновации жилых зданий типовых серий / М. К. Андреев, О. С. Гаманова // Инженерные исследования. – 2023. – № 2. – С. 19–26.
- Мавлюбердинов, А. Р. К вопросу решения проблем эксплуатации панельных зданий / А. Р. Мавлюбердинов, Р. Р. Богданов, Л. А. Сулейманова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2023. – № 11. – С. 46–53.
- Данель, В. В. Решение проблемы вертикальных стыков наружных стеновых панелей / В. В. Данель // Жилищное строительство. – 2014. – № 3. – С. 44–45.
- Варламова, Л. А. Герметизация крупнопанельных жилых домов / Л. А. Варламова, М. В. Рыноква // Теория и практика современной науки: материалы Междунар. (заочной) науч.-практ. конф., Минск, 8 июня 2017 г. / НИЦ «Мир науки»; ред.: А. И. Вострцов. – Минск, 2017. – С. 20–26.
- Указания по герметизации стыков при монтаже строительных конструкций: СН 420-71. – Введ. 01.10.1971. – М. : Госстрой СССР, 1971. – 17 с.
- Ткаченко, Т. В. Герметизация межпанельных швов в стеновых панелях / Т. В. Ткаченко // Наука, образование, общество: тенденции и перспективы развития: сборник материалов Международной научно-практической конференции, Кемерово, 15 октября 2017 года / Центр научного развития «Большая книга»; ред.: А. А. Коротких. – Кемерово, 2017. – С. 126–131.
- Пилипенко, В. М. К вопросу создания и эксплуатации легких штукатурных систем зданий / В. М. Пилипенко, В. Н. Черноиван, Н. В. Черноиван // Архитектура и строительство. – 2012. – № 1. – С. 62–67.
- Черноиван, В. Н. Тепловая реабилитация фасадов эксплуатируемых панельных зданий / В. Н. Черноиван, Н. В. Черноиван // Наука и техника. – 2022. – Т. 21, № 6. – С. 511–516.
- Попова, Е. Е. Повышение энергоэффективности домов с помощью навесных вентилируемых фасадов / Е. Е. Попова, А. Е. Городилова, М. И. КукOLEV // Ростовский научный журнал. – 2017. – № 12. – С. 367–378.
- Технологическая карта на устройство легкой штукатурной системы «Илмакс»: ТК-100289293.1211-2020. – Введ. 03.08.2020. – Минск : ОАО «Стройкомплекс», 2020. – 174 с.

References

- Seriya 1-464A. Panel'nye zhilye doma. PhotoBuildings. Arhitekturnaya fotobaza [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://photobuildings.com/projects/163/>. – Data dostupa: 21.01.2024.
- Gryaznov, M. V. Reshenie problem ekspluatatsii krupnopanelynykh zhilykh zdaniy / M. V. Gryaznov, I. M. Titanov, A. S. Svincova // Novyj universitet. Seriya: Tekhnicheskie nauki. – 2016. – № 1(47). – S. 57–62.
- Tekhnicheskaya ekspluatatsiya i remont zdaniy i sooruzhenij : ucheb. posobie / S. I. Roshchina [i dr.] ; Vladimirsij gosudarstvennyj universitet. – Vladimir : Izd-vo Vladimirsikogo gosudarstvennogo universiteta, 2009. – 200 s.
- Stroitel'naya teplotekhnika : SP 2.04.01-2020. – Vved. 20.01.2021. – Minsk : M-vo arhit. i stroit. Respubliki Belarus', 2020. – 76 s.
- Andreev, M. K. Uteplenie fasadov pri renovatsii zhilykh zdaniy tipovykh serij / M. K. Andreev, O. S. Gamanova // Inzhenernye issledovaniya. – 2023. – № 2. – S. 19–26.
- Mavlyuberdinov, A. R. K voprosu resheniya problem ekspluatatsii panel'nykh zdaniy / A. R. Mavlyuberdinov, R. R. Bogdanov, L. A. Sulejmanova // Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova. – 2023. – № 11. – S. 46–53.
- Danel', V. V. Reshenie problemy vertikal'nykh stykov naruzhnykh stenovyykh panelej / V. V. Danel' // Zhilishchnoe stroitel'stvo. – 2014. – № 3. – S. 44–45.
- Varlamova, L. A. Germetizatsiya krupnopanelynykh zhilykh domov / L. A. Varlamova, M. V. Rynkova // Teoriya i praktika sovremennoj nauki : materialy Mezhdunarodnoj (zaochnoj) nauchno-prakticheskoy konferencii, Minsk, 8 iyunya 2017 g. / NIC «Mir nauki»; red.: A. I. Vostrecov. – Minsk, 2017. – S. 20–26.
- Ukazaniya po germetizatsii stykov pri montazhe stroitel'nykh konstrukcij : SN 420-71. – Vved. 01.10.1971. – Moskva : Gosstroj SSSR, 1971. – 17 s.
- Tkachenko, T. V. Germetizatsiya mezhpantylynykh shvov v stenovyykh panelyakh / T. V. Tkachenko // Nauka, obrazovanie, obshchestvo: tendencii i perspektivy razvitiya : sbornik materialov Mezhdunarodnoj nauch.-prakt. konf., Kemerovo, 15 oktyabrya 2017 goda / Centr nauchnogo razvitiya «Bol'shaya kniga»; red.: A. A. Korotkih. – Kemerovo, 2017. – S. 126–131.
- Pilipenko, V. M. K voprosu sozdaniya i ekspluatatsii legkikh shtukaturnyykh sistem zdaniy / V. M. Pilipenko, V. N. Chernov, N. V. Chernov // Arhitektura i stroitel'stvo. – 2012. – № 1. – S. 62–67.
- Chernov, V. N. Teplovaya reabilitatsiya fasadov ekspluatiruemykh panel'nykh zdaniy / V. N. Chernov, N. V. Chernov // Nauka i tekhnika. – 2022. – T. 21, № 6. – S. 511–516.
- Popova, E. E. Povyshenie energoeffektivnosti domov s pomoshch'yu naveshnykh ventiliruemykh fasadov / E. E. Popova, A. E. Gorodilova, M. I. Kukolev // Rostovskij nauchnyj zhurnal. – 2017. – № 12. – S. 367–378.
- Tekhnologicheskaya karta na ustrojstvo legkoj shtukaturnoj sistemy «Ilmaks»: TK-100289293.1211-2020. – Vved. 03.08.2020. – Minsk : ОАО «Strojkompleks», 2020. – 174 s.

Материал поступил 03.05.2024, одобрен 19.05.2024, принят к публикации 24.05.2024

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД ВЫБОРА СПОСОБА ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ КРУПНОПАНЕЛЬНОГО ДОМОСТРОЕНИЯ

В. Ю. Гуринович¹, П. И. Юхневский², С. Н. Леонович³

¹ Магистр технических наук, старший преподаватель кафедры «Строительные материалы и технология строительства», Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, e-mail: gurinovich@bntu.by

² Д. т. н., профессор кафедры «Строительные материалы и технология строительства», Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, e-mail: yuhnevsky@bntu.by

³ Д. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Строительные материалы и технология строительства», Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, e-mail: sleonovich@bntu.by

Реферат

Повышение эффективности жилищного строительства в индустриальном исполнении находится в прямой зависимости от технологического уровня производственной базы. Определена актуальность внедрения инновационных подходов и организационно-технологических решений производства изделий на базе линий с гибкой технологией. Приведен сравнительный анализ технологических линий с гибкой технологией. Определено, что основным критерием выбора способа производства является достижение максимальной эффективности организации производства с учетом индивидуальных особенностей предприятий. Выполнен анализ способов производства на отечественных предприятиях. Зафиксирован несистемный подход выбора способа производства при реконструкции и модернизации предприятий. Разработана модель системного подхода выбора способа производства, которая обосновывает актуальность принятия решений на основе анализа и синтеза параметров технологического проектирования и эксплуатации производства.

Ключевые слова: индустриальное домостроение, предприятие индустриального домостроения, реконструкция, производство сборных железобетонных конструкций, организация производства сборных железобетонных конструкций, гибкая технология производства, линия циркуляции паллет, стендовая технологическая линия.

SYSTEM APPROACH TO CHOOSING A PRODUCTION METHOD FOR PRECAST REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

V. Yu. Gurinovich, P. I. Yuhnevskiy, S. N. Leonovich

Abstract

Improving the efficiency of prefabricated construction is in direct dependence on the technological level of the production base. The relevance of the introduction of innovative approaches and organizational and technological solutions for the production of products on the basis of lines with flexible technology is determined. The comparative analysis of technological lines with flexible technology is given. It is determined that the main criterion for choosing a production method is to achieve maximum efficiency of production organization taking into account individual characteristics of enterprises. The analysis of production methods at domestic enterprises is carried out. The non-system approach to the choice of production method in the reconstruction and modernization of enterprises is fixed. The model of the system approach to the choice of production method is developed, which substantiates the relevance of decision-making on the basis of analysis and synthesis of parameters of technological design and operation of production.

Keywords: prefabricated construction, precast construction plants, reconstruction, production of prefabricated reinforced concrete structures, organization of prefabricated reinforced concrete structures production, flexible production technology, pallet circulation line, bench technological line.

Введение

Повышение эффективности производственной базы индустриального домостроения является одной из наиболее острых проблем улучшения экономических показателей жилищного строительства. Теоретический анализ литературы показал, что в основе передовых организационно-технологических решений управления производством широкой номенклатуры изделий должны быть заложены принципы гибкой технологии [1–7].

Исследованиям совершенствования технологии и организации индустриального домостроения посвящены работы Ю. Б. Монфреда [8], А. М. Холкина [9], С. В. Николаева [10], К. А. Климкина [11], А. Н. Бастрыкина [12], Б. В. Гусева [13] и др. Однако, несмотря на значительный вклад приведенных работ, пока не определены рациональные подходы планирования, организации и управления производством с гибкой технологией.

Гибкую технологию производства можно охарактеризовать как организационно-технологический подход обеспечения изменения и расширения комплекта выпускаемой номенклатуры изделий или перехода на новую серию без капитальных затрат и остановки производства.

На современном этапе развития индустриального домостроения гибкая технология производства реализуется на базе стендовых линий, линий циркуляции паллет и кассетных установок со съемной бортоснасткой.

В отечественной практике для обеспечения гибкой технологией в индивидуальных формах были разработаны подходы разделения номенклатуры изделий на неизменяемую и изменяемую группы, создания специальных постов для переоснастки формовочного оборудования без остановки поточных линий, организации механизированных и автоматизированных складов бортоснастки, связанных с постами переоснастки и пр. [14]. Тем не менее, эти решения в полной мере не позволяли обеспечивать выпуск продукции соответствующего качества и гибко реагировать на потребность строительных организаций при возведении разнотипных домов.

Для решения задачи снижения металлоемкости производства при организации выпуска широкой номенклатуры изделий С. В. Николаевым [10] предлагалось решение комплексной переналаживаемой формы, конструкция которой позволяла бы выпускать всю номенклатуру изделий. Однако данная концепция не была практически реализована на предприятиях индустриального домостроения.

Развитие этой концепции было продолжено С. И. Полтавцевым [15] при исследованиях перспективных способов производства на основе унифицированных поддонов со сменной бортоснасткой. Однако и этот подход не был реализован, несмотря на его широкое применение в зарубежной практике.

При всей сложности гибкой технологии производства переход предприятий на такую форму практически решен за счет современных систем бортоснастки с магнитным креплением к палубе форм и поддонов. Исходя из вышесказанного, основным проблемным вопросом видится обоснование выбора способа производства на основе системного подхода с учетом индивидуальных особенностей технологических линий, которые определяют их эффективность на стадии эксплуатации и которые следует учитывать на стадии технологического проектирования для повышения эффективности производства.

Производственные линии с гибкой технологией

Производственный потенциал предприятий определяется долей технологических линий с высоким уровнем автоматизации и механизации процессов для выпуска широкой номенклатуры изделий. Прежде всего вышеперечисленным критериям соответствуют линии циркуляции паллет и стандовые линии с гибкой технологией производства.

Стандовый способ производства в отечественной практике индустриального домостроения применялся сугубо в модификациях кассетных установок для вертикального формования плоских изделий или стационарных установок для формования объемных элементов (шахт лифтов, вентблоков, блок-комнат и т. п.). Производство широкой номенклатуры изделий на длинных или коротких стандах не практиковалось ввиду низких показателей съема продукции с 1 м² производственной площади, высокой трудоемкости и крайне низкого уровня механизации и автоматизации производства. При этом рациональной областью применения стандовых линий считалось производство однотипных большепролетных и крупногабаритных конструкций, предварительно напряженных конструкций (подкрановые балки, фермы и т. п.).

Ограничения применения стандового способа связаны и с отсутствием в отечественной практике современных подходов, соответствующего технологического оборудования и оснастки для производства мелкосерийной продукции.

Гибкая технология на базе стандовой технологии реализуется на длинных или индивидуальных формовочных поддонах, стационарно размещенных в пролетах цеха. Конструктивно формовочные поддоны представляют собой 2-ярусную жесткую конструкцию (рисунок 1). На верхнем ярусе выполняется формование изделий, на нижнем ярусе расположены регистры тепловой обработки. Конфигурация формируемого изделия, оконные и технологические проемы определяются разделительными бортами и вкладышами, крепление которых к поверхности станда осуществляется магнитами.

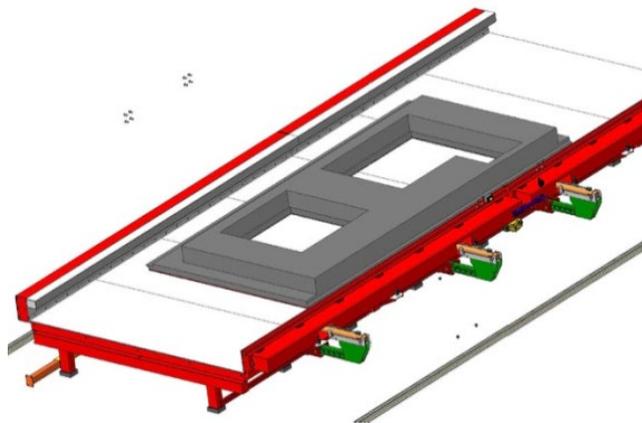


Рисунок 1 – Общий вид формовочного поддона стандовой производственной линии

Протяженность длинных стандовых линий устанавливается производственной программой выпуска изделий, а ширина – габаритами изделий. Размеры индивидуальных формовочных поддонов определяются габаритами изделий с учетом возможности одновременного формования нескольких изделий по длине, а их количество проектной производственной мощностью выпуска соответствующего типа изделий. Компановочные решения стандовой линии представлены на рисунке 2.

Проведен теоретический анализ и натурные исследования особенностей организации работы стандовых линий. Установлено, что одним из важнейших преимуществ стандовых производственных линий является возможность увеличения производительности, прежде всего за счет резервов дооснащения линий дополнительным оборудованием и трудовыми ресурсами в соответствии с планируемым ростом объемов выпуска продукции. Таким образом, стандовые линии позволяют организовать отдельные производственные участки в пределах одной линии при параллельной организации работ на этих участках.

При этом стандовые линии следует рассматривать как универсальную технологию, позволяющую организовать выпуск разнотипной продукции как по назначению, так и габаритам с ограничением по высоте бортоснастки.

В основу принципа работы линий циркуляции паллет заложен конвейерный способ производства (рисунок 3).

Характерной чертой данных производственных линий является возможность перемещения поддонов (паллет) между постами в поперечном и продольном направлениях в автоматическом режиме транспортной системой с замкнутым рабочим циклом. Обозначенная транспортная система позволяет организовать реверсивное перемещение паллет и проектировать многоветвевые линии для параллелизации производственных потоков. Такая свободная циркуляция паллет повышает надежность производства и снижает потери рабочего времени. Неполадки в одном месте цикла не приводят к остановке всей линии. Но обеспечение таких проектных решений требует большей универсальности, в том числе для систем управления производственным процессом.

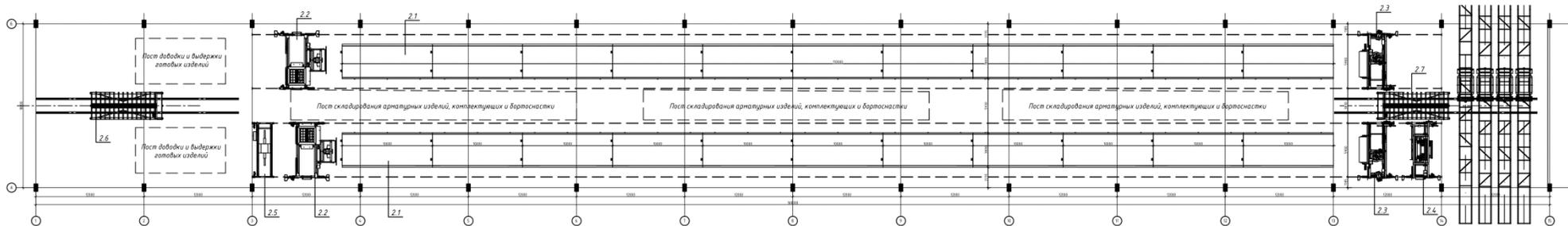
Дифференцирование линии на посты выполняется на основании директивного ритма, который определяется производственной программой предприятий.

Определено, что основным преимуществом линий циркуляции паллет является автоматизация и роботизация технологических процессов, в том числе армирования изделий. Опалубочные работы на специализированных постах могут автоматически устанавливаться продольные и поперечные элементы бортоснастки в соответствии с конфигурацией изделия. Увеличение производительности и снижение трудоемкости производства достигается за счет комплектации автоматическими линиями чистки и смазки бортоснастки, установками автоматической чистки и смазки паллет, конвейерами транспортировки между постами магнитов, деталей опалубки и т. п. Также обеспечена возможность автоматического нанесения контура изделий, проемов и мест установки закладных деталей.

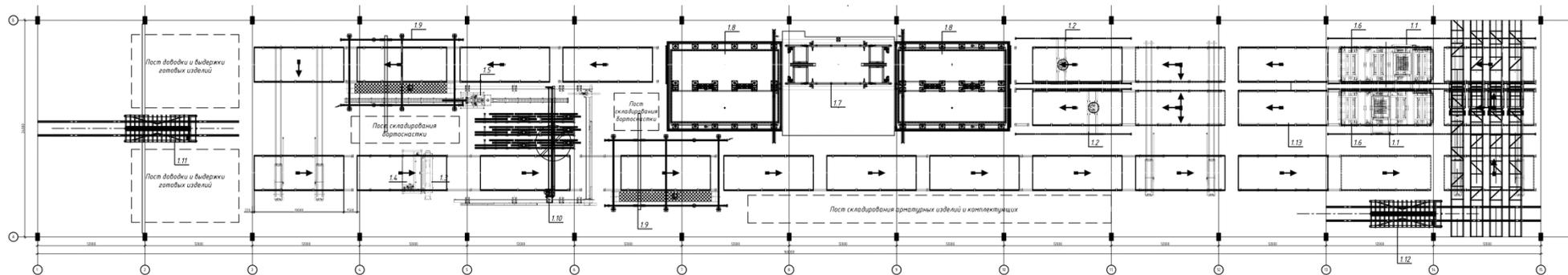
Тем не менее, приводя в сравнение стандовые производственные линии, следует отметить меньшую универсальность линий циркуляции паллет. Это обусловлено ограничениями габаритов выпускаемых изделий размерами ячеек камеры тепловлажностной обработки, что сокращает номенклатуру выпускаемых изделий. Также следует отметить зависимость эффективности производственных линий от ритмичности организации работ на постах и загрузки камер тепловлажностной обработки.

Анализ методических подходов выбора способа производства

Предпринята попытка систематизировать аспекты выбора способа производства при реконструкции и модернизации производственных баз индустриального домостроения на предприятиях Республики Беларусь (таблица 1). Графическое отображение данных приведено на рисунке 4.



2.1 – плоский стенд в комплекте с системой тепловой обработки и уплотнения бетонной смеси; 2.2 – бетоноукладчик в комплекте с виброрейкой; 2.3 – лопастной заглаживатель; 2.4 – комбинированная установка для чистки, смазки стендов и укрытия тентом; 2.5 – плоттер; 2.6, 2.7 – тележка самоходная
Рисунок 2 – Компоновочные решения стандовых линий производства плит перекрытия



1.1 – бетоноукладчик в комплекте с виброрейкой; 1.2 – лопастной заглаживатель; 1.3 – установка смазки паллет; 1.4 – установка чистки паллет; 1.5 – установка чистки и смазки бортооснастки; 1.6 – станция уплотнения бетонной смеси; 1.7 – подъемник обслуживания камер тепловой обработки; 1.8 – камера тепловой обработки; 1.9 – кран балка для распалубки и установки бортооснастки; 1.10 – робот опалубочный; 1.11, 1.12 – тележка самоходная; 1.13 – паллета
Рисунок 3 – компоновочные решения линий производства плит перекрытия

Таблица 1 – Способы организации производства основных типов изделий

Наименование организаций	Проектная мощность, тыс. кв. м.	Тип изделий / Тип технологической линии		
		Наружные стеновые панели	Внутренние стеновые панели	Плиты перекрытия
КУП «Брестжилстрой»	150	линия циркуляции паллет, стендовая	кассетная, индивидуальные стенды	линия циркуляции паллет
КУП «Ганцевичский завод КПД»	70	стендовая	кассетная	стендовая
ГП «Витебский ДСК»	240	стендовая	кассетная, стендовая	конвейерная
ОАО «Трест № 16», г. Новополоцк	100	стендовая	кассетная	стендовая
ОАО «Гомельский ДСК»	200	линия циркуляции паллет	кассетная, линия циркуляции паллет	линия циркуляции паллет
ОАО «Светлогорский ДСК»	50	стендовая	кассетная	стендовая
ОАО «Мозырский ДСК»	70	стендовая	кассетная	стендовая
ОАО «Гродножилстрой»	250	линия циркуляции паллет	кассетная	конвейерная
РУП «Могилевский ДСК»	150	линия циркуляции паллет	кассетная	линия циркуляции паллет
ОАО «Бобруйский завод КПД»	150	линия циркуляции паллет	кассетная	конвейерная
КУП «ЗЭПК»	55	стендовая	кассетная	стендовая
КПД-1 ОАО «МАПИД»	280	конвейерная	кассетная	конвейерная
СУ-246 ОАО «МАПИД»	200	конвейерная	кассетная, конвейерная	линия циркуляции паллет, конвейерная
ПУ КПД-1 ОАО «МАПИД»	150	конвейерная	кассетная, конвейерная	конвейерная
ООО «Современные бетонные конструкции»	180	линия циркуляции паллет	линия циркуляции паллет	линия циркуляции паллет
ОАО «Солигорский ДСК»	150	линия циркуляции паллет	кассетная	линия циркуляции паллет
ОАО «Борисовжилстрой»	200	линия циркуляции паллет	линия циркуляции паллет	линия циркуляции паллет



Рисунок 4 – Распределение способов производства основных типов изделий на предприятиях индустриального домостроения

На основании данных таблицы 1 можно полагать, что критериями выбора способа производства служили объемы финансирования программы реконструкции и проектная мощность предприятия. Так, для предприятий проектной мощностью более 150 тыс. м² жилья в год приоритет отдавался линиям циркуляции паллет за исключением ГП «Витебский ДСК», а на предприятиях с проектной мощностью до 150 тыс. м² жилья в год были внедрены стендовые производственные линии. Данный факт подтверждает несистемный подход принятия решений при выборе способа производства с точки зрения учета параметров, определяющих эффективность производства.

Таким образом, подтверждена актуальность разработки модели системного подхода выбора способа производства с учетом производственной программы предприятий и параметров, определяющих эффективность производства.

Системный подход выбора способа производства

Теоретический анализ литературы показал, что для обеспечения эффективности перехода предприятий индустриального домостроения на новый технологический уровень требуется детальное изучение и систематизация опыта разработки, применения инновационных решений организации и управления производством на этапе строительно-монтажных работ и ввода в эксплуатацию [13, 15–17].

Как показывает опыт принятия решений при выборе способов производства отдельный подход не содействует созданию высокотехнологичных предприятий, а локальный эффект, достигнутый от решения ряда задач на отдельной стадии, не всегда отвечает эффективности производства в целом [10].

На основании вышеизложенного предложена модель системного подхода выбора способа производства, которая обеспечивает взаимосвязь стадий проектирования и организации производства через потоки информации, отражающие отдельные решения организации эффективного производства (рисунок 5). В основе метода принят многофакторный анализ с учетом производственной мощности, трудоемкости, производственной площади, номенклатуры изделий и приведенной стоимости линий.

Как показано на рисунке 5, на стадии технологического проектирования прорабатываются решения наиболее рентабельного производства на базе эффективных способов организации производства и оптимальных решений компоновки производственных линий. При этом на стадии эксплуатации апробируются в производственных условиях принятая организационная структура и способы производства с достигнутыми режимами работы оборудования, уровнем складских запасов и графиками работы.



Рисунок 5 – Модель системного подхода выбора способа производства

Отсюда следует, что принятие решений на стадии технологического проектирования должно основываться на данных и опыте эксплуатации производств, в том числе имеющихся ресурсов. В свою очередь, решения на стадии эксплуатации должны базироваться на данных и решениях, принятых на стадии проектирования. То есть, информационные потоки организации производства должны быть замкнуты и взаимосвязаны.

С позиции системного подхода установление взаимосвязи между двумя стадиями организации производства является важнейшей задачей развития и освоения производственных мощностей предприятий и, как следствие, повышения эффективности всего индустриального строительного комплекса.

Заключение

Установлено, что основным решением производства постоянно растущей и изменяющейся номенклатуры изделий с заданными качественными показателями становится внедрение современных производственных линий и оборудования с гибкой технологией.

Проведенный теоретический анализ и натурные исследования особенностей организации работы станочных линий и линий циркуляции паллет определили их основные преимущества и недостатки. Станочные линии следует рассматривать как универсальную технологию, позволяющую организовать выпуск разнотипной продукции как по назначению, так и габаритам с ограничением по высоте бортонастки. Но данные линии характеризуются более высокими показателями трудоемкости производства. Линии циркуляции паллет отличаются высоким уровнем автоматизации и роботизации технологических процессов, что определяет их преимущество по показателям трудоемкости и производительности. Тем не менее, более высокая стоимость оборудования делает данные линии менее эффективными с экономической точки зрения.

Переход предприятий индустриального домостроения на гибкую технологию производства требует разработки критериев выбора способа производства, производственной линии и соответствующего технологического оборудования с учетом обеспечения максимальной эффективности организации производства, индивидуальных особенностей предприятий и требований к уровню организации производства.

Установлено распределение способов производства основных типов изделий на предприятиях индустриального домостроения. Доля линий циркуляции паллет и станочных линий составляет 31 % и 24 % соответственно. Предпринята попытка систематизировать аспекты выбора способа производства при переходе предприятий на гибкую технологию производства. Результаты анализа определили несистемный подход принятия решений с точки зрения учета параметров, определяющих эффективность производства.

Определено, что основным критерием выбора способа производства и технологической линии является достижение максимальной эффективности организации производства с учетом индивидуальных особенностей предприятий. Основываясь на данном утверждении, приведена модель системного подхода выбора способа производства, которая обосновывает актуальность принятия решений на основе анализа и синтеза параметров технологического проектирования и эксплуатации производства.

Список цитированных источников

1. Wang, Z. Framework for modeling operational uncertainty to optimize offsite production scheduling of precast components / Z. Wang, H. Hu, J. Gong // Automation in Construction. – 2018. – Vol. 86. – P. 69–80. – <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.10.026>.
2. Wang, Z. RFID enabled knowledge-based precast construction supply chain, computer-aided civil and infrastructure, Engineering / Z. Wang, H. Hu, W. Zhou // Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering. – 2017. – Vol. 32, Iss. 6. – P. 499–514. – <https://doi.org/10.1111/mice.12254>.
3. Optimization of Flow Shop Scheduling in Precast Concrete Component Production via Mixed-Integer Linear Programming / Z. Liu [et al.] // Advances in Civil Engineering. – 2021. – Vol. 2021. – 14 p. – <https://doi.org/10.1155/2021/6637248>.
4. Liu, Z. Integrated scheduling of ready-mixed concrete production and delivery / Z. Liu, Y. Zhang, M. Li // Automation in Construction. – 2014. – Vol. 48. – P. 31–43. – <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.08.004>.
5. Li, X. Lean precast production system based on the CONWIP method / X. Li, Z. Li, G. Wu // KSCE Journal of Civil Engineering. – 2018. – Vol. 22. – P. 2167–2177. – <https://doi.org/10.1007/s12205-017-2009-4>.

6. Research on Lean Planning and Optimization for Precast Component Production Based on Discrete Event Simulation / Z. Yuan [et al.] // *Advances in Civil Engineering*. – 2020. – Vol. 2020, Iss. 1. – P. 1–14. – <https://doi.org/10.1155/2020/8814914>.
7. Algorithms for in-situ production layout of composite precast concrete members / W. Hong [et al.] // *Automation in Construction*. – 2014. – Vol. 41. – P. 50–59. – <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.02.005>.
8. Монфред, Ю. Б. Организация, планирование и управление предприятиями стройиндустрии: учебник для вузов по специальности «Производство строительных изделий и конструкций» / Ю. Б. Монфред, Б. В. Прыкин. – М. : Стройиздат, 1989. – 506 с.
9. Холкин, А. М. Методические вопросы совершенствования оперативно-производственного планирования в крупнопанельном домостроении : дис. ... канд. экон. наук : 08.00.24 / А. М. Холкин. – Л., 1985. – 175 с.
10. Николаев, С. В. Оптимизация проектных и производственных решений технологии производства изделий крупнопанельного домостроения : дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.08 / С. В. Николаев. – М., 1981. – 399 с.
11. Климин, К. А. Методические основы оценки использования производственных мощностей домостроительных предприятий в условиях инвестиционного спада : дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / К. А. Климин. – Хабаровск, 1998. – 143 с.
12. Бастрыкин, А. Н. Организация промышленных предприятий строительной индустрии : учебник / А. Н. Бастрыкин. – М. : Высш. школа, 1975. – 248 с.
13. Гусев, Б. В. Автоматизированные технологические линии по производству сборного железобетона / Б. В. Гусев. – Ижевск : Издательский дом «КИТ», 2015. – 70 с.
14. Технология строительного производства и охрана труда: учеб. пособие для вузов / А. П. Коршунова [и др.] ; под общ. ред. Г. Н. Фомина. – М. : Архитектура-С, 2007. – 375 с.
15. Граник, Ю. Г. Реконструкция и техническое перевооружение предприятий полносборного домостроения / Ю. Г. Граник, С. И. Полтавцев. – М. : Стройиздат, 1989. – 271 с.
16. Ищенко, А. С. Особенности формирования выбора организационно-технологических решений реконструкции действующих промышленных предприятий / А. С. Ищенко, В. И. Доненко, М. П. Марченко // *Вестник Приднестровской государственной академии строительства и архитектуры*. – 2019. – № 5. – С. 257–258.
17. Джалилов, Ф. Ф. Разработка методов формирования организационно-технологических решений по реконструкции действующих предприятий : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.08 / Ф. Ф. Джалилов. – М., 1996. – 356 с.
3. Optimization of Flow Shop Scheduling in Precast Concrete Component Production via Mixed-Integer Linear Programming / Z. Liu [et al.] // *Advances in Civil Engineering*. – 2021. – Vol. 2021. – 14 p. – <https://doi.org/10.1155/2021/6637248>.
4. Liu, Z. Integrated scheduling of ready-mixed concrete production and delivery / Z. Liu, Y. Zhang, M. Li // *Automation in Construction*. – 2014. – Vol. 48. – P. 31–43. – <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.08.004>.
5. Li, X. Lean precast production system based on the CONWIP method / X. Li, Z. Li, G. Wu // *KSCE Journal of Civil Engineering*. – 2018. – Vol. 22. – P. 2167–2177. – <https://doi.org/10.1007/s12205-017-2009-4>.
6. Research on Lean Planning and Optimization for Precast Component Production Based on Discrete Event Simulation / Z. Yuan [et al.] // *Advances in Civil Engineering*. – 2020. – Vol. 2020, Iss. 1. – P. 1–14. – <https://doi.org/10.1155/2020/8814914>.
7. Algorithms for in-situ production layout of composite precast concrete members / W. Hong [et al.] // *Automation in Construction*. – 2014. – Vol. 41. – P. 50–59. – <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.02.005>.
8. Monfred, YU. B. Organizaciya, planirovanie i upravlenie predpriyatiyami strojindustrii: uchebnik dlya vuzov po special'nosti «Proizvodstvo stroitel'nyh izdelij i konstrukcij» / YU. B. Monfred, B. V. Prynkin. – M. : Strojizdat, 1989. – 506 s.
9. Holkin, A. M. Metodicheskie voprosy sovershenstvovaniya operativno-proizvodstvennogo planirovaniya v krupnpanel'nom domostroenii : dis. ... kand. ekon. nauk : 08.00.24 / A. M. Holkin. – L., 1985. – 175 s.
10. Nikolaev, S. V. Optimizaciya proektnyh i proizvodstvennyh reshenij v usloviyah investicionnogo spada : dis. ... d-ra tekhn. nauk : 05.23.08 / S. V. Nikolaev. – M., 1981. – 399 s.
11. Klimkin, K. A. Metodicheskie osnovy ocenki ispol'zovaniya proizvodstvennyh moshchnostej domostroitel'nyh predpriyatij v usloviyah investicionnogo spada : dis. ... kand. ekon. nauk : 08.00.05 / K. A. Klimkin. – Habarovsk, 1998. – 143 s.
12. Bastyrykin, A. N. Organizaciya promyshlennyh predpriyatij stroitel'noj industrii : uchebnik / A. N. Bastyrykin. – M. : Vyssh. shkola, 1975. – 248 s.
13. Gusev, B. V. Avtomatizirovannyye tekhnologicheskie linii po proizvodstvu sbornogo zhelezobetona / B. V. Gusev. – Izhevsk : Izdatel'skiy dom «KIT», 2015. – 70 s.
14. Tekhnologiya stroitel'nogo proizvodstva i ohrana truda: ucheb. posobie dlya vuzov / A. P. Korshunova [i dr.] ; pod obshch. red. G. N. Fomina. – M. : Arhitektura-S, 2007. – 375 s.
15. Granik, YU. G. Rekonstrukciya i tekhnicheskoe perevooruzhenie predpriyatij polosbornogo domostroeniya / YU. G. Granik, S. I. Poltavcev. – M. : Strojizdat, 1989. – 271 s.
16. Ishchenko, A. S. Osobennosti formirovaniya vybora organizacionno-tekhnologicheskikh reshenij rekonstrukcii dejstvuyushchih promyshlennyh predpriyatij / A. S. Ishchenko, V. I. Donenko, M. P. Marchenko // *Vestnik Pridneprovskoy gosudarstvennoy akademii stroitel'stva i arhitektury*. – 2019. – № 5. – S. 257–258.
17. Dzhallilov, F. F. Razrabotka metodov formirovaniya organizacionno-tekhnologicheskikh reshenij po rekonstrukcii dejstvuyushchih predpriyatij : dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.23.08 / F. F. Dzhallilov. – M., 1996. – 356 s.

References

1. Wang, Z. Framework for modeling operational uncertainty to optimize offsite production scheduling of precast components / Z. Wang, H. Hu, J. Gong // *Automation in Construction*. – 2018. – Vol. 86. – P. 69–80. – <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.10.026>.
2. Wang, Z. RFID enabled knowledge-based precast construction supply chain, computer-aided civil and infrastructure, Engineering / Z. Wang, H. Hu, W. Zhou // *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. – 2017. – Vol. 32, Iss. 6. – P. 499–514. – <https://doi.org/10.1111/mice.12254>.

Материал поступил 23.04.2024, одобрен 04.06.2024, принят к публикации 04.06.2024

ФОРМАТЫ МЕТОДА КОЭФФИЦИЕНТОВ НАДЕЖНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ

В. В. Тур¹, В. В. Надольский²

¹ Д. т. н., профессор, заведующий кафедрой технологии бетона и строительных материалов, УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: profturnvic@gmail.com

² К. т. н., доцент, доцент кафедры технологии строительного производства УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь; доцент кафедры строительных конструкций, Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, e-mail: nadolskiv@gmail.com

Реферат

В международных нормативных документах появляются требования, относящиеся к нелинейному конечно-элементному анализу конструкций и конструктивных систем, а главное – к обеспечению требуемого уровня надежности при выполнении такого анализа. Внесение в нормативные документы требований, относящихся к нелинейному анализу конструкций, связано как с возросшим интересом к данной проблеме при переходе на новые методы проектирования, так и новыми возможностями в связи с развитием компьютерной техники и программного обеспечения различного уровня, что создает возможности для такого проектирования. Учитывая то, что это направление является новым и не сформированным, вследствие чего возникает ряд терминологических и методологических нестыковок в научной литературе, в данной статье критически проанализированы подходы к обеспечению надежности при выполнении нелинейного анализа (не акцентируя внимания на реализации собственно нелинейной модели сопротивления), включенные в проекты нормативных документов prEN1990 и prEN1992. На основании аналитического обзора исследований представлены описание и критический анализ форматов записи метода коэффициентов надежности для железобетонных конструкций, проектируемых на основе нелинейных конечно-элементных моделей.

Систематизированы форматы записи метода коэффициентов надежности в зависимости (i) от того, на каком этапе происходит учет неопределенности базисных переменных и переход к расчетным значениям, (ii) от того, как вводятся изменчивости базисных переменных и погрешности модели, (iii) от того являются ли значения частных коэффициентов фиксированными или «регулируемыми». Сформированы две основные задачи, сдерживающие применение нелинейных конечно-элементных моделей в повседневном проектировании. Первая связана с методами оценки коэффициента вариации несущей способности конструкции. Вторая связана с отсутствием статистических параметров погрешности конечно-элементных моделей.

Ключевые слова: формат метода коэффициентов надежности, нелинейные модели несущей способности, метод конечных элементов, железобетонные конструкции, вероятностный метод, коэффициенты надежности, неопределенности, Еврокод.

FORMATS OF THE METHOD OF RELIABILITY FACTORS IN THE DESIGN OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES BASED ON COMPUTER MODELS

V. V. Tur, V. V. Nadolski

Abstract

In international regulatory documents, there are requirements related to the nonlinear finite element analysis of structures and structural systems, and most importantly to ensuring the required safety format when performing such an analysis. The introduction of requirements related to the nonlinear analysis of structures into regulatory documents is due both to the increased interest in this problem during the transition to new design methods, and new opportunities due to the development of computer technology and software at various levels, which creates opportunities for such design. Considering that this direction is new and not formed, which causes a number of terminological and methodological inconsistencies in the scientific literature, this article critically analyzes approaches to ensuring the required safety format when performing nonlinear analysis (without focusing on the implementation of the nonlinear resistance model proper) included in the draft regulatory documents prEN1990 and prEN1992. Based on an analytical review of the research, a description and critical analysis of the safety formats of reinforced concrete structures designed on the basis of nonlinear finite element models are presented.

The safety formats are systematized depending (i) on how the uncertainty of the basic variables is taken into account, (ii) on how the variability of the basic variables and model uncertainty are introduced, (iii) on whether the values of the partial factors are fixed or adjustable. Two main tasks have been formed that restrain the use of nonlinear finite element models in everyday design. The first is related to the methods of estimating the coefficient of variation of the load-bearing capacity. The second is related to the absence or lack of knowledge of the statistical parameters of the uncertainty of finite element models.

Keywords: safety format, nonlinear load-bearing capacity models, finite element method, reinforced concrete structures, probabilistic method, reliability factors, uncertainties, Eurocode.

Введение

В соответствии со сложившейся многолетней практикой, классический подход к проектированию конструкций представляют как процедуру, состоящую из двух отдельных независимых этапов. На первом этапе, опираясь на правила строительной механики с применением соответствующей расчетной модели, определяют *линейно-упругую реакцию* (отклик) конструкции, вызванную внешними воздействиями. Эту реакцию конструкции определяют как «эффекты воздействий» E , а их расчетные значения определяют как «расчетные эффекты воздействий» E_d . Линейно-упругий анализ выполняют с использованием средних значений жесткостных характе-

ристик, намереваясь получить наиболее реалистичное распределение эффектов воздействий. На втором этапе вычисляют максимальное (предельное) сопротивление R_d , применяя расчетные модели для сечений (при проверках «прочности») или элементов (при проверках «устойчивости»). Каждое критическое сечение или элемент затем проверяют, используя детерминистические неравенства вида $E_d \leq R_d$.

Следует учитывать, что проверку критических сечений конструкций во многих случаях выполняют с применением «локальных» *нелинейных* моделей. При этом, в соответствии с требованиями метода коэффициентов надежности, проверку сечений выполняют с применением расчетных значений прочностей материалов, консер-

вативных нелинейных моделей (например, метода предельных усилий и т. д.), базирующихся на довольно осторожных допущениях и ограничениях, главным образом для обеспечения целевого уровня надежности. Так, например, при разработке СНБ 5.03.01 «Бетонные и железобетонные конструкции», как и некоторых из промежуточных версий Eurocode 2, для того чтобы снять противоречие при применении в одном критерии результатов, полученных из линейно-упругого анализа при определении эффектов воздействий и глубоко нелинейной моделью локального сопротивления для критических сечений, были введены ограничения для относительных деформаций растянутой арматуры: $\varepsilon_{sy} \leq \varepsilon_s \leq 10 \text{ ‰}$. Применение данного ограничения приводит к тому, что из полной нелинейной реакции элемента учитывается только ограниченная часть, что дает возможность выполнять проверки предельных состояний, составляя неравенства не в терминах деформаций, а традиционно в терминах усилий.

Принятая форма линеаризации позволяет несколько сгладить названные противоречия (несоответствия) в сторону безопасного подхода. Вместе с тем, такой подход не позволяет адекватно оценить поведение конструкции или конструктивной системы в тех случаях, когда вывод основывается на её полной *нелинейной реакции* (например, при прямом оценивании максимальной несущей способности или проверках конструктивных систем в особых расчетных ситуациях). Поэтому, как отмечалось ранее, для получения более реалистичного описания поведения (отклика) конструкции под приложенными воздействиями все более широко пытаются применять на практике компьютерное моделирование (например, нелинейный анализ посредством метода конечных элементов) [1–6].

Среди новых разделов, внесенных в проекты норм prEN1990¹ и prEN1992², появляются требования, относящиеся к нелинейному конечно-элементному анализу конструкций и конструктивных систем, а главное – к обеспечению надежности при выполнении такого анализа. Внесение в нормативные документы требований, относящихся к нелинейному анализу конструкций, связано как с возросшим интересом к данной проблеме при переходе на новые методы проектирования [7–9], так и новыми возможностями в связи с развитием компьютерной техники и программного обеспечения различного уровня, что создает возможности для такого проектирования.

Внесению нового раздела в prEN1992 предшествовали несколько крупных грантов, организованных Международной федерацией по железобетону fib и Техническим комитетом CEN/TC250 Конструкционные Еврокоды, результаты которых можно найти в работах [10–15]. Учитывая то, что это направление является новым и не сформированным, вследствие чего возникает ряд терминологических и методологических нестыковок в научной литературе, в данной статье критически проанализированы подходы к обеспечению надежности при выполнении нелинейного анализа (не акцентируя внимания на реализации собственно нелинейной модели сопротивления), включенные в проекты нормативных документов prEN1990 и prEN1992. Кроме того, выполнена систематизация возможных форматов записи метода коэффициентов надежности и рассмотрены некоторые новые подходы.

Материалы и методы

В соответствии с приложением F к prEN1992 в общем случае расчетное значение сопротивления R_d предложено определять с применением следующих методов, отличающихся уровнем применения вероятностно-статистического подхода:

- 1) вероятностного метода (full probabilistic method);
- 2) метод частных коэффициентов (partial factor method);
- 3) метод глобального коэффициента (global factor method).

Вероятностный метод

Нелинейную конечно-элементную модель применяют для получения реакции конструкции для текущего набора значений базисных

переменных, сгенерированных (выбранных) из соответствующих функций распределения (например, свойств материалов, геометрических размеров, граничных условий, ошибок (неопределенностей) моделирования и т. д.), с применением, например, метода Monte-Carlo или LHS (Latin Hypercube Sampling) [16–18]. В этом случае расчетное значение сопротивления определяют как квантиль сгенерированной выборки значений сопротивления [19, 20].

Как показано в ряде публикаций [11, 13, 15, 21] и подтверждается собственным опытом практического применения вероятностного метода, данный способ проверки надежности (безопасности) является сложным для реализации и может быть использован как при проектировании новых, так и оцениваются существующих конструкций только в тех случаях, когда повышенная трудоемкость расчетных операций экономически оправдана.

Метод частных коэффициентов надежности

В рамках формата частных коэффициентов расчетное значение сопротивления определяется посредством нелинейной численной модели, подставляя расчетные значения прочности материалов (бетона f_{cd} и арматуры f_{yd}) и номинальные значения геометрических параметров a_{nom} . Выражение для расчетного сопротивления в рамках этого подхода имеет вид:

$$R_d = R\{f_{cd}, f_{yd}, a_{nom}\} / \gamma_{Rd}, \quad (1)$$

где γ_{Rd} – частичный коэффициент надежности, учитывающий неопределенность модели.

Недостаток этого подхода заключен в том, что нелинейный анализ в этом случае выполняется с крайне низкими значениями базисных переменных модели сопротивления. В силу этого в расчете используют нереально низкие значения прочностных характеристик материалов (квантили порядка 0,1 %). При выполнении нелинейного анализа статически неопределимых конструкций (систем) применение таких заниженных прочностных характеристик материалов приводит к нереальному перераспределению эффектов воздействий и непредсказуемым формам разрушения. По этой причине не рекомендуется основывать выводы только на этом подходе. Кроме того, для конструкций, поведение которых под нагрузкой зависит от эффектов второго порядка, заниженные прочностные параметры материалов могут давать сверхконсервативные и неэкономичные результаты. Так, авторы работы [22] отмечают, что «*применение т. н. «расчетных» диаграмм деформирования материалов (с расчетными значениями прочностей и относительных деформаций в параметрических точках) ведет к существенному искажению матрицы жесткостей конечно-элементной модели в процессе реализации итерационной процедуры нелинейного анализа*».

Метод глобального коэффициента надежности

В общем случае суть метода глобального сопротивления заключается в том, что расчетные значения сопротивления R_d получают путем деления величины сопротивления, рассчитанного при рационально выбранных репрезентативных значениях базисных переменных X_{rep} , на глобальный коэффициент сопротивления³ γ_r^* и коэффициент, учитывающий погрешности расчетной модели сопротивления⁴ γ_{Rd} :

$$R_d = R\{X_{rep}\} / (\gamma_r^* \gamma_{Rd}). \quad (2)$$

В постановке prEN1992 в качестве репрезентативных значений приняты средние значения для прочностных характеристик материалов f_{cm} , f_{ym} и номинальные значения для геометрических размеров a_{nom} , тогда уравнение (2) имеет вид:

$$R_d = R\{f_{cm}, f_{ym}, a_{nom}\} / (\gamma_r^* \gamma_{Rd}). \quad (3)$$

¹ prEN 1990. Eurocode – Basis of structural design. Brussels: CEN. Draft 09.2021.

² prEN 1992-1-1. Eurocode 2 – Design of concrete structures. Part 1-1: general rules and rules for buildings. CEN. Draft 11.2021.

³ γ_r^* is the global resistance factor for the uncertainties of materials properties and geometry prEN1992-1-1.

⁴ γ_{Rd} is the partial safety factor accounting for the model uncertainty prEN1992-1-1.

Глобальный коэффициент сопротивления γ_r^* определяют согласно prEN1992 подобно тому, как это сделано в fib MC 2010, из выражения:

$$\gamma_r^* = \exp(\alpha_R \beta V_r^*), \quad (4)$$

где V_r^* – коэффициент вариации сопротивления, который в общем случае получают на основе симуляций Monte-Carlo;

α_R – коэффициент чувствительности для сопротивления;

β – целевой индекс надежности.

Основная сложность реализации предложенного метода заключается в вычислении коэффициента вариации V_r^* , что послужило стимулом для развития метода глобального коэффициента, на с упрощенной процедурой оценки коэффициента вариации [23, 24].

Метод глобального коэффициента с упрощенной процедурой оценки коэффициента вариации

В prEN1992, вслед за рекомендацией fib MC 2010, принят упрощенный подход, основа которого положена в работах [10]. В рамках данного подхода, который получил в международной практике название ECOV (Estimation of Coefficient Of Variation), коэффициент вариации сопротивления V_r^* оценивают с использованием результатов двух отдельных нелинейных расчетов согласно выражению:

$$V_r^* = \ln [R\{f_{cm}, f_{ym}, a_{nom}\} / R\{f_{ck}, f_{yk}, a_{nom}\}] / 1.65. \quad (5)$$

Как отмечается в [12, 15], краеугольным камнем этого метода является определение среднего R_m и характеристического R_k сопротивлений из двух отдельных нелинейных расчетов (анализов), при определении которых используют в одном случае – средние, а в другом – характеристические значения базисных переменных как входных параметров для свойств материалов.

Отмечая преимущества данного подхода, утверждается, что он является общим и позволяет обеспечить любой требуемый уровень надежности, изменяя значение целевого индекса надежности β_{tag} [12, 15]. С другой стороны, подчеркивается, что для описания сопротивления может быть принята любая, а не только логнормальная (LN) функция распределения вероятностей. При этом, в данном подходе результат оценивания или уровень надежности не зависит от формы разрушения конструкции и чувствительность к случайным вариациям всех входных параметров материалов включается автоматически. В качестве «легкого недостатка» рассматривается только необходимость выполнения двух отдельных нелинейных расчетов.

Безусловно, что при первом рассмотрении предложенный подход выглядит вполне убедительным и, главное, простым в практической реализации. Казалось бы, достаточно два раза выполнить нелинейный анализ и обеспечить при этом требуемый (произвольный) уровень надежности. Однако при ближайшем рассмотрении возникают серьезные сомнения относительно корректности математической точности приведенных зависимостей. Это связано, главным образом, с тем, что не только в целом ряде статей, посвященных данному формату [10–15], но и в нормативных документах fibMC2010 и prEN1992 (что не позволяет говорить о редакционных неточностях) утверждается или, по крайней мере, предполагается при выводе формулы (5), что сопротивление R_k , вычисленное при подстановке в нелинейную функцию сопротивления *характеристических* значений прочностных характеристик (f_{ck}, f_{yk}, \dots), будет соответствовать 5 % квантили [25]. Но здесь имеет место серьезное несоответствие, на которое следует обратить внимание: принимая в качестве входных параметров в нелинейной модели сопротивления характеристические значения прочностей материалов (как 5 % – квантили), результирующее сопротивление R_k **не является** 5 % – квантилью, что, очевидно, не дает права использовать в формуле (5) значение статистики 1,65. Скорее всего, это будет неизвестная квантиль другого порядка, и в общем виде запись формулы (5) должна быть представлена в следующем виде [12]:

$$V_r^* = \ln [R\{f_{cm}, f_{ym}, a_{nom}\} / R\{f_{ck}, f_{yk}, a_{nom}\}] / c, \quad (6)$$

где c – коэффициент, соответствующий квантили значения $R\{f_{ck}, f_{yk}, a_{nom}\}$.

Но проблема в том, что указать заранее значение коэффициента «с» **невозможно**. Для каждой отдельной расчетной модели, для каждой отдельной расчетной процедуры, применяемой при нелинейном анализе, будут иметь место различные квантили, соответствующие сопротивлению, вычисленному при характеристических значениях прочностей материалов, что ещё больше увеличивает неопределенность нелинейного анализа.

Метод глобального коэффициента надежности с модификацией прочности материалов

В соответствии с EN 1992-2⁵ при выполнении нелинейных расчетов было предложено применять некоторые модифицированные прочности материалов, при этом выражение для расчетного сопротивления в рамках этого подхода имеет вид:

$$R_d = R\{f_{cmd}, f_{ym}, a_{nom}\} / \gamma_{GL}, \quad (7)$$

где f_{cmd} – пониженное значение прочности бетона на сжатие, принимаемое равным $0.85 f_{ck}$, при этом f_{ck} – характеристическое (5 % квантиль) значение прочности бетона на сжатие;

f_{ym} – среднее значение прочности (предела текучести) арматуры на растяжения, принимаемое равным $1.1 f_{yk}$, при этом f_{yk} – характеристическое (5 % квантиль) значение предела текучести арматуры;

$\gamma_{GL} = 1,27$ – глобальный коэффициент надежности.

По сравнению с форматом записи метода коэффициентов надежности, принятом при расчете сечений согласно EN1992-1-1, формат записи согласно EN1992-2 считается серьезным улучшением при выполнении нелинейных анализов железобетонных конструкций. Утверждается [10], что при введении дополнительного коэффициента сопротивления γ_{GL} нет необходимости учитывать неопределенности только снижением прочностных характеристик материалов. Это позволяет использовать более реалистичные параметры материалов в нелинейном анализе, что дает возможность моделирования более реалистичной реакции конструктивной системы. Однако при этих «условных» плюсах трудно согласиться с тем, что задание в расчетной модели сопротивления прочности бетона $f_{cmd} = 0.85 f_{ck}$ (!) всё более приближает нас к реальной работе конструкции.

Результаты исследования

В практике проектирования широкое распространение получил метод коэффициентов надежности, на котором и будут сосредоточены дальнейший анализ и обобщение возможных форматов. В последнее время в научной литературе появляются большое разнообразие названий метода коэффициентов надежности, например, «adjusted partial factors method», «global partial factor», «global resistance factor», «global safety format» [26–28]. Разнообразие таких названий иногда ставит в тупик даже опытного специалиста. Но с методологической точки зрения эти методы являются близкими, скорее меняется их формат записи, но не сам метод. Методы проверок предельных состояний целесообразнее разделять только исходя из метода (способа) учета неопределенности базисных переменных и целевых уровней надежности, а не от формата записи того или иного метода [29–31].

Во-первых, формат записи метода коэффициентов надежности можно выделить в зависимости от того, на каком этапе происходит учет неопределенности базисных переменных и переход к расчетным значениям:

– подстановка **расчетных значений базисных переменных** в модель сопротивления и/или модель эффектов воздействий. Это один из основных форматов реализации метода коэффициентов надежности, принятых в нормах и получивший название метода частных коэффициентов. Данный формат наиболее распространен для железобетонных конструкций. Согласно этому формату записи, учет неопределенностей и изменчивостей, возникающих из-за различных причин, происходит с помощью расчетных значений, присвоенных базисным переменным. Расчетные значения базисных пере-

⁵ EN 1992-2. Eurocode 2 – Design of concrete structures. Part 2: concrete bridges. CEN. Brussels. 2005.

менных, полученные из характеристических значений и частных коэффициентов, должны быть введены в модели. Предельная нагрузка, полученная при анализе путем ввода расчетных значений базисных переменных в модель сопротивления, является расчетным сопротивлением, т. е.

$$R_d = R_{Xd}, \quad (8)$$

где R_{Xd} – значение сопротивления, вычисленное при расчетных значениях базисных переменных;

– подстановка **характеристических значений базисных переменных** в модель сопротивления. Этот формат записи наиболее распространен для стальных конструкций. В рамках этого формата в расчетные модели сопротивления подставляют характеристические значения базисных переменных, а затем общая изменчивость базисных переменных и модели сопротивления учитывается «глобальным» частным коэффициентом. Расчетное значение сопротивления определяется как

$$R_d = R_{Xk} / \gamma_{R, Xk \rightarrow d}, \quad (9)$$

где R_{Xk} – значение сопротивления, вычисленное на основе численных модели при характеристических значениях базисных переменных;

$\gamma_{R, Xk \rightarrow d}$ – коэффициент надежности для модели сопротивления при переходе от характеристических значений базисных переменных к расчетному значению сопротивления, учитывающий неопределенности присущие всем базисным переменным, входящим в модель сопротивления, в том числе и неопределенность самой модели сопротивления;

– подстановка **средних значений базисных переменных** в модель сопротивления. Согласно этому формату, который также включен в Еврокод 2⁶ и *fib Model Code 2020*⁷, влияние различных неопределенностей интегрированы в расчетное значение сопротивления посредством «глобального»⁸ частного коэффициента [32]. При анализе должны быть введены **средние** значения базисных переменных, полученные из характеристических значений или каким-то другим способом, например, из номинальных. Тогда расчетное значение сопротивления определяется как

$$R_d = R_{Xmean} / \gamma_{R, Xmean \rightarrow d}, \quad (10)$$

где R_{Xmean} – значение сопротивления, вычисленное на основе численной модели при средних значениях базисных переменных;

$\gamma_{R, Xmean \rightarrow d}$ – коэффициент надежности для модели сопротивления при переходе от средних значений базисных переменных к расчетному значению сопротивления, учитывающий неопределенности присущие всем базисным переменным, входящим в модель сопротивления, в том числе и неопределенность модели сопротивления.

Во-вторых, формат метода коэффициентов надежности можно выделить в зависимости от того, как вводятся изменчивости базисных переменных и погрешности модели [32]:

– интегрально, когда все неопределенности объединяются в одно значение коэффициента, например:

$$R_d = R_{Xmean} / \gamma_{R, Xmean \rightarrow d}; \quad (11)$$

– раздельно (дифференцированно):

$$R_d = R_{Xmean} / (\gamma_{r, Xmean \rightarrow d} \gamma_{Rd}), \quad (12)$$

где $\gamma_{r, Xmean \rightarrow d}$ – коэффициент надежности, учитывающий неопределенности, вносимые базисными переменными, входящими в модель сопротивления;

γ_{Rd} – коэффициент надежности, учитывающий неопределенность модели сопротивления.

В-третьих, формат метода коэффициентов надежности можно выделить в зависимости от того, являются ли значения частных коэффициентов фиксированными или «регулируемыми» [33–35]:

– с **фиксированными** значениями. Этот формат общепринятый в нормативных документах, т. е. значения частных коэффициентов определены одним из возможных методов и предписаны в нормах в виде фиксированных значений;

– с **регулируемыми** (модифицированными) значениями частных коэффициентов. Метод называется с «регулируемыми» значениями частных коэффициентов⁹, потому что не содержит фиксированных значений частных коэффициентов, а позволяет упрощенно учитывать изменчивость базисных переменных и целевой уровень надежности. Расчетное значение определяется как квантиль распределения, при этом квантиль устанавливается на основании коэффициентов чувствительности и индекса надежности. Так, для произведения двух независимых логнормально распределённых случайных величин используют следующее выражение:

$$R_d = \mu_r \times \mu_{\theta r} \times \exp(-\alpha_r \times \beta \times V_R), \quad (13)$$

где μ_r – среднее значение сопротивления;

$\mu_{\theta r}$ – среднее значение неопределенности модели, т. е. отношения фактического (экспериментального) значения сопротивления к значению, определенному по расчетной зависимости (модели сопротивления);

V_R – коэффициент вариации значения сопротивления с учетом неопределенности модели;

α_r – коэффициент чувствительности для сопротивления согласно теории надежности 1-го порядка (FORM);

β – целевое значение индекса надежности.

Заключение

В рамках статьи систематизированы результаты исследований форматов записи метода коэффициентов надежности и выполнена их классификация в зависимости (i) от того, на каком этапе происходит учет неопределенности базисных переменных и переход к расчетным значениям, (ii) от того, как вводятся изменчивости базисных переменных и погрешности модели, (iii) от того являются ли значения частных коэффициентов фиксированными или «регулируемыми». Оценивая сложившуюся ситуацию в проектировании, можно сделать следующие заключения:

– в рамках стандартной (традиционной) проектной процедуры эффекты воздействий определяют в назначенных критических сечениях из линейно-упругого анализа. Результаты расчетов, полученные с применением линейно-упругих моделей, представляют собой, по сути, некоторое возможное распределение эффектов воздействий, формально удовлетворяющих условиям равновесия, но не отражают реального распределения усилий, особенно при расчете статически неопределимых конструкций, например для железобетонных конструкций, работающих с трещинами или для стальных с пластическим деформациями;

– в формате записи метода частных коэффициентов надежности, применяемого в традиционном проектировании, проверки предельных состояний несущей способности осуществляют в локальных сечениях, тогда как общий уровень надежности конструкции в целом не проверяют. Подход метода частных коэффициентов в определенной мере может быть оправдан тем, что в локальных сечениях могут иметь место некоторые достаточно низкие значения прочностных характеристик для бетона, которые необходимо отразить в расчетном сечении;

– при выполнении нелинейных расчетов взаимодействуют практически все локальные сечения. Поэтому резонно следующее

⁹ В англоязычной литературе получил название «**adjusted partial factors method**». Хотя метод преподносится как новый, но он относится к методу назначения расчетных значений на основании квантиля, т. н. статистический метод назначения расчетного значения. К одному из «регулируемых» методов частных коэффициентов относят формат, предложенный в работах Cervenka V. [10], получивший название метод ECOV.

⁶ EN 1992-1-1. Eurocode 2 - Design of Concrete Structures. Part 1-1. General rules and rules for buildings. CEN. Brussels. 2004.

⁷ fib Bulletin 65, *fib Model Code 2020*, Draft. 2021.

⁸ В англоязычной формулировке используется термин «глобальный» частный коэффициент (**global partial factor**), обозначение γ_{GL} соответствует принятому в *fib Model Code 2020*.

утверждение А. В. Перельмутера: «гипотеза о том, что все без исключения микрообъемы материала имеют наихудшие параметры качества, вряд ли должна использоваться. Её реализация, по-видимому, имеет исчезающе малую вероятность. При построении диаграммы деформирования « σ - ε », которая используется в процессе физического нелинейного расчета, следует исходить из увеличенных (по сравнению с контролем прочности) значений прочностного параметра». Здесь следует добавить, что эти повышенные значения должны довольно адекватно отражать поведение материала под нагрузкой и позволять получать близкие к реальным значения элементов в матрице жесткостей;

– нелинейный анализ, основанный на применении диаграмм деформирования « σ - ε », отражающих фактическое поведение материалов под нагрузкой, дает возможность смоделировать нелинейное поведение конструкции, близкое к реальному. Однако нелинейный анализ требует разработки методов надежности, учитывающих интегральное поведение системы.

Аналитический обзор литературы показал, что на сегодня не найдено решение для научно обоснованного назначения формата проверки надежности (безопасности) железобетонных конструкций, проектируемых на основе нелинейных конечно-элементных моделей. Обобщенно можно констатировать две основные проблемы, которые существуют и требуют дальнейших исследований:

– первая связана с методами оценки коэффициента вариации несущей способности конструкции. Одно из широко распространенных предложений оценки коэффициента посредством симуляционных методов не нашло широкого применения из-за сложности нелинейного анализа, что не позволяет создать большие массивы данных. Второе предложение на основе метода Cervenka V. обладает существенной математической неточностью, которая представлена в статье;

– вторая связана с отсутствием статистических параметров погрешности конечно-элементных моделей.

Также следует отметить, что большинство исследований сфокусированы на обеспечении надежности для изолированных конструктивных элементов. Однако в конструктивных системах необходимо проводить четкое различие между локальным отказом (отказами) и глобальным отказом. Локальный отказ может быть определен на основе превышения локальных пределов для материалов, например, прочности и предельных деформаций, или механизмов, например, сопротивления и предельной деформируемости. Глобальный режим отказа может быть определен на основе механического следствия (одновременных) локальных механизмов отказа, либо на основе превышения намеренно выбранной феноменологической меры общей емкости конструктивной системы. Тщательное исследование поведения материала, элемента или системы на всех этапах деформирования должно обеспечить механическое объяснение взаимосвязи между наблюдаемым локальным механизмом (механизмами) отказа и глобальным режимом отказа. Последовательность локальных механизмов отказа, приводящих к глобальному режиму отказа, должна быть тщательно исследована. При анализе систем важным является вопрос, на который следует ответить при анализе: будут ли отказы коррелируемые (взаимосвязаны) или нет. Для случая (почти) коррелированных одновременных механизмов отказа глобальный коэффициент надежности совпадает с глобальным коэффициентом надежности для одного механизма отказа. В случае (почти) некоррелированных механизмов одновременного отказа глобальный коэффициент отличается в зависимости от того, расположены ли они последовательно или параллельно.

Список цитированных источников

1. Shear resistance evaluation of prestressed concrete bridge beams: fib Model Code 2010 guidelines for level IV approximations / B. Belletti [et al.] // *Structural Concrete*. – 2013. – Vol. 14 (3). – P. 242–249. – <https://doi.org/10.1002/suco.201200046>.
2. Schlune, H. Safety formats for nonlinear analysis tested on concrete beams subjected to shear forces and bending moments / H. Schlune, M. Plos, K. Gylltoft // *Engineering Structures*. – 2011. – Vol. 33. – P. 2350–2356. – <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2011.04.008>.
3. Olalusi, O. B. Model uncertainties and bias in shear strength predictions of slender stirrup reinforced concrete beams / O. B. Olalusi, C. Viljoen // *Structural Concrete*. – 2019. – Vol. 21. – P. 316–332. – <https://doi.org/10.1002/suco.201800273>.
4. Non-linear material modelling strategy for conventional and high-performance concrete assisted by testing / N. Pressmair [et al.] // *Cement and Concrete Research*. – 2022. – Vol. 161. – Paper 106933. – <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2022.106933>.
5. Рахмонов, А. Д. Компьютерное моделирование для исследования напряженно-деформированного состояния балок с комбинированным армированием / А. Д. Рахмонов, Н. П. Соловьев, В. М. Поздеев // *Вестник МГСУ*. – 2014. – № 1. – С. 187–195.
6. Сафаров, А. Р. Реализация численной модели бетона CSCM применительно к отечественным классам бетонов / А. Р. Сафаров, В. Б. Дорожинский, В. И. Андреев // *Вестник МГСУ*. – 2023. – Т. 18. – № 4. – С. 545–555. – <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2023.4.545-555>.
7. Тур, В. В. Концепция проектирования строительных конструкций на основе численных моделей сопротивления / В. В. Тур, В. В. Надольский // *Строительство и реконструкция*. – 2022. – № 6(104). – С. 78–90. – <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2022-104-6-78-90>.
8. Non-linear finite element analyses applicable for the design of large reinforced concrete structures / M. Engen [et al.] // *European Journal of Environmental and Civil Engineering*. – 2017. – Vol. 23. – P. 1381–1403. – <https://doi.org/10.1080/19648189.2017.1348993>.
9. Тамразян, А. Г. Анализ надежности железобетонной плиты с корродированной арматурой / А. Г. Тамразян, Т. А. Мацевич // *Строительство и реконструкция*. – 2022. – № 1(99). – С. 89–98. – <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2022-99-1-89-98>.
10. Cervenka, V. Reliability – based non-linear analysis according to fib Model Code 2010 / V. Cervenka // *Structures Concrete, Journal of fib*. – 2013. – Vol. 14. – P. 19–28. – <https://doi.org/10.1002/suco.201200022>.
11. Allaix, D. L. Global safety format for non-linear analysis of reinforced concrete structures / D. L. Allaix, V. I. Carbone, G. Mancini // *Structural Concrete*. – 2013. – Vol. 14(1). – P. 29–42. – <https://doi.org/10.1002/suco.201200017>.
12. Shlune, H. Safety format for non-linear analysis of concrete structures / H. Shlune, K. Gylltoft, M. Plos // *Magazine of Concrete Research*. – 2012. – Vol. 64(7). – P. 563–74.
13. Sykora, M. Safety format for non-linear analysis in the model code – verification of reliability level / M. Sykora, M. Holicky // *Proceeding of fib symposium on concrete engineering for excellence and efficiency*. – 2011. – P. 943–946.
14. Cervenka, V. Global safety formats in fib Model Code 2010 for design of concrete structures / V. Cervenka // *Proceedings of the 11th Probabilistic Workshop, Brno*, – 2013. – ID: 215762212.
15. Partial safety factor for resistance model uncertainties in 2D non-linear finite element analysis of reinforced concrete structures / P. Castaldo [et al.] // *Engineering Structures*. – 2018. – Vol. 176. – P. 746–762. – <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.09.041>.
16. Olsson, A. On Latin hypercube sampling for structural reliability analysis / A. Olsson, G. Sandberg, O. Dahlblom // *Structural Safety*. – 2003. – Vol. 25(1). – P. 47–68.
17. Vořechovsk, M. Correlation control in small-sample Monte Carlo type simulations I: a simulated annealing approach / M. Vořechovsk, D. Novak // *Probabilistic Engineering Mechanics*. – 2009. – Vol. 24 (3). – P. 452–462.
18. Харченко, А. О. Использование вероятностных методов оценки надежности технических объектов на примере технологических и автомобильных систем / А. О. Харченко, А. А. Харченко, Е. А. Владецкая // *Мир транспорта и технологических машин*. – 2019. – № 4 (67). – С. 3–10.
19. Лизогуб, А. А. Вероятностный подход к оценке живучести конструктивных систем из сборного и монолитного железобетона / А. А. Лизогуб, А. В. Тур, В. В. Тур // *Строительство и реконструкция*. – 2023. – № 4(108). – С. 93–105. – <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2023-108>.

20. Sattler, F. Probabilistic and semi-probabilistic analyses of bridge structures – multi-level modelling based assessment of existing structures / F. Sattler, A. Strauss // Proceedings of the 1st conference of the European association on quality control of bridges and structures. – 2021. – Vol. 110. – P. 962–970. – <https://doi.org/10.1007/978-3-030-91877-4>.
21. Stochastic modelling and assessment of long-span precast prestressed concrete elements failing in shear / O. Slowik [et al.] // Engineering Structures. – 2021. – Vol. 228. – Paper 111500. – <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111500>.
22. Перельмутер, А. В. Готовы ли мы перейти к нелинейному анализу при проектировании? / А. В. Перельмутер, В. В. Тур // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2017. – Vol. 13. – P. 86–102.
23. Надольский, В. В. Коэффициенты надежности для нелинейных моделей несущей способности балок с гибкой стенкой / В. В. Надольский // Вестник МГСУ. – 2023. – Т. 18. – № 6. – С. 852–863. – <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2023.6.852-863>.
24. Novak, L. Estimation of coefficient of variation for structural analysis: the correlation interval approach / L. Novak, D. Novak // Structural Safety. – 2021. – Vol. 92. – Paper 102101. – <https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2021.102101>.
25. Соловьев, С. А. Метод вероятностного анализа надежности элементов конструкций на основе граничных функций распределения / С. А. Соловьев, А. А. Соловьева // Вестник МГСУ. – 2023. – № 18(10). – С. 1545–1555. – <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2023.10.1545-1555>.
26. Castaldo, P. Safety formats for non-linear finite element analysis of reinforced concrete structures: discussion, comparison and proposals / P. Castaldo, D. Gino, G. Mancini // Engineering Structures. – 2019. – Vol. 193. – P. 136–153. – <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.136-153>.
27. Aleatory uncertainties with global resistance safety factors for non-linear analyses of slender reinforced concrete columns / P. Castaldo [et al.] // Engineering Structures. – 2022. – Vol. 255. – Paper 113920. – <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.113920>.
28. Тур, В. В. Калибровка значений частных коэффициентов для проверок предельных состояний несущей способности стальных конструкций для условий Республики Беларусь. Часть 2 / В. В. Тур, В. В. Надольский // Строительство и реконструкция. – 2016. – № 5(67). – С. 69–75.
29. Bakeer, T. General partial safety factor theory for the assessment of the reliability of nonlinear structural systems / T. Bakeer // Reliability Engineering & System Safety. – 2023. – Vol. 234. – Paper 109150. – <https://doi.org/10.1016/j.res.2023.109150>.
30. Comparison of advanced semi-probabilistic methods for design and assessment of concrete structures / L. Novak [et al.] // Structural Concrete. – 2022. – Vol. 24. – P. 771–787. – <https://doi.org/10.1002/suco.202200179>.
31. Уткин, В. С. Расчет несущих элементов конструкций по заданному значению надежности при неполной статистической информации / В. С. Уткин, С. А. Соловьев, О. В. Ярыгина // Строительство и реконструкция. – 2020. – № 1(87). – С. 81–91. – <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2020-87-1-81-91>.
32. Надольский, В. В. Оценка расчетного значения несущей способности стальных элементов, проектируемых на основе численных моделей / В. В. Надольский // Вестник МГСУ. – 2023. – Т. 18. – Вып. 3. – С. 367–378. – <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2023.3.367-378>.
33. Caspeele, R. Validation of the harmonized partial factor method for design and assessment of concrete structures as proposed for fib model code 2020 / R. Caspeele, Den Hendre K. Van // Structural Concrete. – 2023. – Vol. 24. – P. 4368–4376. – <https://doi.org/10.1002/suco.202201109>.
34. Partial factor methods for existing structures according to fib Bulletin 80: Assessment of an existing prestressed concrete bridge / D. Gino [et al.] // Structural Concrete. – 2020. – Vol. 21. – P. 15–31. – <https://doi.org/10.1002/suco.201900231>.
35. Slobbe, A. Reliability-based calibration of design code formulas: Application to shear resistance formulas for reinforced concrete members without shear reinforcement / A. Slobbe, A. Rózsás, Y. Yang // Structural Concrete. – 2023. – Vol. 24. – P. 2979–3001. – <https://doi.org/10.1002/suco.202200583>.

References

1. Shear resistance evaluation of prestressed concrete bridge beams: fib Model Code 2010 guidelines for level IV approximations / B. Belletti [et al.] // Structural Concrete. – 2013. – Vol. 14(3). – P. 242–249. – <https://doi.org/10.1002/suco.201200046>.
2. Schlune, H. Safety formats for nonlinear analysis tested on concrete beams subjected to shear forces and bending moments / H. Schlune, M. Plos, K. Gylltoft // Engineering Structures. – 2011. – Vol. 33. – P. 2350–2356. – <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2011.04.008>.
3. Olalusi, O. B. Model uncertainties and bias in shear strength predictions of slender stirrup reinforced concrete beams / O. B. Olalusi, C. Viljoen // Structural Concrete. – 2019. – Vol. 21. – P. 316–332. – <https://doi.org/10.1002/suco.201800273>.
4. Non-linear material modelling strategy for conventional and high-performance concrete assisted by testing / N. Pressmair [et al.] // Cement and Concrete Research. – 2022. – Vol. 161. – Paper 106933. – <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2022.106933>.
5. Rahmonov, A. D. Komp'yuternoe modelirovanie dlya issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya balok s kombinirovannym armirovaniem / A. D. Rahmonov, N. P. Solov'ev, V. M. Pozdeev // Vestnik MGSU. – 2014. – № 1. – S. 187–195.
6. Safarov, A. R. Realizatsiya chislennoy modeli betona CSCM primeritel'no k otechestvennym klassam betonov / A. R. Safarov, V. B. Dorozhinskij, V. I. Andreev // Vestnik MGSU. – 2023. – Т. 18. – № 4. – S. 545–555. – <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2023.4.545-555>.
7. Тур, В. В. Концепция проектирования строител'ных конструкций на основе численных моделей сопотв'ления / В. В. Тур, В. В. Надольский // Строител'stvo i rekonstruktsiya. – 2022. – № 6(104). – S. 78–90. – <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2022-104-6-78-90>.
8. Non-linear finite element analyses applicable for the design of large reinforced concrete structures / M. Engen [et al.] // European Journal of Environmental and Civil Engineering. – 2017. – Vol. 23. – P. 1381–1403. – <https://doi.org/10.1080/19648189.2017.1348993>.
9. Tamrazyan, A. G. Analiz nadezhnosti zhelezobetonnoj plity s korrodirovannoj armaturoj / A. G. Tamrazyan, T. A. Maceevich // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. – 2022. – № 1(99). – S. 89–98. – <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2022-99-1-89-98>.
10. Cervenka, V. Reliability – based non-linear analysis according to fib Model Code 2010 / V. Cervenka // Structures Concrete, Journal of fib. – 2013. – Vol. 14. – R. 19–28. – <https://doi.org/10.1002/suco.201200022>.
11. Allaix, D. L. Global safety format for non-linear analysis of reinforced concrete structures / D. L. Allaix, V. I. Carbone, G. Mancini // Structural Concrete. – 2013. – Vol. 14(1). – P. 29–42. – <https://doi.org/10.1002/suco.201200017>.
12. Shlune, H. Safety format for non-linear analysis of concrete structures / H. Shlune, K. Gylltoft, M. Plos // Magazine of Concrete Research. – 2012. – Vol. 64(7). – P. 563–74.
13. Sykora, M. Safety format for non-linear analysis in the model code – verification of reliability level / M. Sykora, M. Holicky // Proceeding of fib symposium on concrete engineering for excellence and efficiency. – 2011. – P. 943–946.
14. Cervenka, V. Global safety formats in fib Model Code 2010 for design of concrete structures / V. Cervenka // Proceedings of the 11th Probabilistic Workshop, Brno, – 2013. – ID: 215762212.
15. Partial safety factor for resistance model uncertainties in 2D non-linear finite element analysis of reinforced concrete structures / P. Castaldo [et al.] // Engineering Structures. – 2018. – Vol. 176. – P. 746–762. – <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.09.041>.
16. Olsson, A. On Latin hypercube sampling for structural reliability analysis / A. Olsson, G. Sandberg, O. Dahlblom // Structural Safety. – 2003. – Vol. 25(1). – P. 47–68.
17. Vořechovsk, M. Correlation control in small-sample Monte Carlo type simulations I: a simulated annealing approach / M. Vořechovsk, D. Novak // Probabilistic Engineering Mechanics. – 2009. – Vol. 24(3). – P. 452–462.
18. Harchenko, A. O. Ispol'zovanie veroyatnostnyh metodov ocenki nadezhnosti tekhnicheskikh ob'ektov na primere tekhnologicheskikh i avtomobil'nyh sistem / A. O. Harchenko, A. A. Harchenko, E. A. Vladeckaya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. – 2019. – № 4(67). – S. 3–10.

19. Lizogub, A. A. Veroyatnostnyj podhod k ocenke zhivuchesti konstruktivnyh sistem iz sbornogo i monolitnogo zhelezobetona / A. A. Lizogub, A. V. Tur, V. V. Tur // Stroitel'stvo i rekonstrukciya. – 2023. – № 4 (108). – S. 93–105. – <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2023-108>.
20. Sattler, F. Probabilistic and semi-probabilistic analyses of bridge structures – multi-level modelling based assessment of existing structures / F. Sattler, A. Strauss // Proceedings of the 1st conference of the European association on quality control of bridges and structures. – 2021. – Vol. 110. – P. 962–970. – <https://doi.org/10.1007/978-3-030-91877-4>.
21. Stochastic modelling and assessment of long-span precast prestressed concrete elements failing in shear / O. Slowik [et al.] // Engineering Structures. – 2021. – Vol. 228. – Paper 111500. – <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111500>.
22. Pereł'muter, A. V. Gotovy li my perejti k nelinejnomu analizu pri proektirovanii? / A. V. Pereł'muter, V. V. Tur // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2017. – Vol. 13. – P. 86–102.
23. Nadol'skij, V. V. Koefficienty nadezhnosti dlya nelinejnyh modelej nesushchej sposobnosti balok s gibkoj stenkoj / V. V. Nadol'skij // Vestnik MGSU. – 2023. – T. 18. – № 6. – S. 852–863. – <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2023.6.852-863>.
24. Novak, L. Estimation of coefficient of variation for structural analysis: the correlation interval approach / L. Novak, D. Novak // Structural Safety. – 2021. – Vol. 92. – Paper 102101. – <https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2021.102101>.
25. Solov'ev, S. A. Metod veroyatnostnogo analiza nadezhnosti elementov konstrukcij na osnove granichnyh funkcij raspredeleniya / S. A. Solov'ev, A. A. Solov'eva // Vestnik MGSU. – 2023. – № 18(10). – S. 1545–1555. – <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2023.10.1545-1555>.
26. Castaldo, P. Safety formats for non-linear finite element analysis of reinforced concrete structures: discussion, comparison and proposals / P. Castaldo, D. Gino, G. Mancini // Engineering Structures. – 2019. – Vol. 193. – P. 136–153. – <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.136-153>.
27. Aleatory uncertainties with global resistance safety factors for non-linear analyses of slender reinforced concrete columns / P. Castaldo [et al.] // Engineering Structures. – 2022. – Vol. 255. – Paper 113920. – <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.113920>.
28. Tur, V. V. Kalibrovka znachenij chastnyh koefficientov dlya proverok predel'nyh sostojanij nesushchej sposobnosti stal'nyh konstrukcij dlya uslovij Respubliki Belarus'. CHast' 2 / V. V. Tur, V. V. Nadol'skij // Stroitel'stvo i rekonstrukciya. – 2016. – № 5 (67). – S. 69–75.
29. Bakeer, T. General partial safety factor theory for the assessment of the reliability of nonlinear structural systems / T. Bakeer // Reliability Engineering & System Safety. – 2023. – Vol. 234. – Paper 109150. – <https://doi.org/10.1016/j.ress.2023.109150>.
30. Comparison of advanced semi-probabilistic methods for design and assessment of concrete structures / L. Novak [et al.] // Structural Concrete. – 2022. – Vol. 24. – P. 771–787. – <https://doi.org/10.1002/suco.202200179>.
31. Utkin, V. S. Raschet nesushchih elementov konstrukcij po zadannomu znacheniyu nadezhnosti pri nepolnoj statisticheskoj informacii / V. S. Utkin, S. A. Solov'ev, O. V. YArgina // Stroitel'stvo i rekonstrukciya. – 2020. – № 1(87). – S. 81–91. – <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2020-87-1-81-91>.
32. Nadol'skij, V. V. Ocenka raschetnogo znacheniya nesushchej sposobnosti stal'nyh elementov, proektiruemyh na osnove chislennyh modelej / V. V. Nadol'skij // Vestnik MGSU. – 2023. – T. 18. – Vyp. 3. – S. 367–378. – <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2023.3.367-378>.
33. Caspeele, R. Validation of the harmonized partial factor method for design and assessment of concrete structures as proposed for fib model code 2020 / R. Caspeele, Den Hende K. Van // Structural Concrete. – 2023. – Vol. 24. – P. 4368–4376. – <https://doi.org/10.1002/suco.202201109>.
34. Partial factor methods for existing structures according to fib Bulletin 80: Assessment of an existing prestressed concrete bridge / D. Gino [et al.] // Structural Concrete. – 2020. – Vol. 21. – P. 15–31. – <https://doi.org/10.1002/suco.201900231>.
35. Slobbe, A. Reliability-based calibration of design code formulas: Application to shear resistance formulas for reinforced concrete members without shear reinforcement / A. Slobbe, A. Rózsás, Y. Yang // Structural Concrete. – 2023. – Vol. 24. – P. 2979–3001. – <https://doi.org/10.1002/suco.202200583>.

Материал поступил 07.06.2024, одобрен 24.06.2024, принят к публикации 27.06.2024

СОПРОТИВЛЕНИЕ СЖАТОГО ВИНТА ПОТЕРЕ УСТОЙЧИВОСТИ, УСТАНОВЛЕННОГО ПОПЕРЕК ВОЛОКОН ДРЕВЕСИНЫ

А. Я. Найчук¹, Е. В. Маркечко², К. К. Глушко³, Юнь Сюй⁴¹ Д. т. н., доцент, профессор кафедры строительных конструкций УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: atnya@yandex.ru² Магистр технических наук, старший преподаватель кафедры строительных конструкций УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: bk-2112@mail.ru³ К. т. н., доцент кафедры архитектуры УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: konstantin.glushko@bk.ru⁴ К. т. н., доцент, Школа гражданского строительства и коммуникаций Северо-Китайского университета водных ресурсов и электроэнергетики, Чжэнчжоу, Китайская Народная Республика, e-mail: хууи@ncwu.edu.cn

Реферат

Приводятся результаты исследования устойчивости сжатого стального винта, установленного поперек волокон древесины элемента конструкции, а также выполнен их анализ, позволивший разработать модель сопротивления сжатого винта потере устойчивости с учетом изменения упругих свойств материала винта и ползучести древесины. На основании разработанной модели сопротивления предложен алгоритм определения расчетного значения несущей способности сжатого винта, установленного поперек волокон древесины элемента конструкции.

Ключевые слова: винт, древесина, прочность, расчетная длина, нагрузка, критическое значение нагрузки, устойчивость, несущая способность, ползучесть.

THE BUCKLING LOAD OF SCREWS WHICH ARE EMBEDDED IN THE TIMBER PERPENDICULAR TO THE GRAIN

A. Ya. Naichuk, E. V. Markechko, K. K. Hlushko, Yun Xu

Abstract

Investigation results of the screw stability when screw is embedded in the timber perpendicular to the grain are presented. They were analyzed. As a result of analysis resistance model of the buckling load of screws which are embedded in the timber perpendicular to the grain was obtained. This resistance model is taking into account changes in elastic properties of screw material and creep properties of timber element. Algorithm to calculate of design buckling capacity of screw which is embedded in the timber perpendicular to the grain is based on resistance model.

Keywords: screw, timber, strength, effective length, load, critical load, stability, load capacity, creep.

Введение

Как было отмечено в [1–3], винты, испытывающие действие сжимающих усилий используют, в основном, в качестве усиления опорных площадок несущих деревянных конструкций с целью повышения их сопротивления при сжатии древесины поперек волокон. Согласно [4–7], предельное состояние таких опорных площадок может наступить в результате истощения прочности материала винта при его сжатии, среза древесины по цилиндрической поверхности диаметром, равным диаметру наружной резьбы d и разрушения винта в результате потери устойчивости в массиве древесины. Используемые при проверках предельных состояний модели сопротивления винта сжатию и продавливанию в массиве древесины достаточно полно проработаны и приведены в качестве расчетных в ряде нормативных документов [4–5, 8], чего нельзя сказать о моделях сопротивления сжатого винта потере устойчивости, установленного поперек волокон древесины. Из целого ряда моделей сопротивления сжатого винта потере устойчивости, установленного в массиве древесины, наибольшего внимания заслуживает модель, предложенная в [2]. Вместе с тем, модель [2] имеет ряд ограничений и недостатков, которые были отмечены в работах [6–7]. Задачей данных исследований являлась разработка расчетной модели по определению несущей способности винта, исходя из условия обеспечения его устойчивости в массиве древесины.

Методика и результаты проведения исследований

Одним из условий обеспечения несущей способности сжатого винта, установленного поперек волокон в древесине элемента конструкции, является соблюдения условия по обеспечению его сопротивления $N_{cl,R}$ потере устойчивости. В случае, когда потеря устойчивости сжатого винта происходит в упругой области, сопротивление $N_{cl,R}$

может быть определено по формуле (1), а если в упруго-пластической – по формуле (2) [9]. Учитывая данную особенность и изменение упругих характеристик материала винта в зависимости от уровня напряжений в поперечном сечении, были определены предельные значения гибкости λ_{pr} с использованием формулы (3) [10].

$$N_{cl,R} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{\min}}{(\mu \cdot l_{ef})^2}, \quad (1)$$

$$N_{cl,R} = \frac{\pi^2 \cdot E_k \cdot I_{\min}}{(\mu \cdot l_{ef})^2}, \quad (2)$$

$$\lambda_{pr} = \pi \sqrt{\frac{E}{f_{pr}}}, \quad (3)$$

где E – модуль упругости материала винта, МПа;

E_k – касательный модуль упругости материала винта, МПа;

f_{pr} – предел пропорциональности материала винта, МПа.

При изготовлении винтов используют углеродистые и нержавеющие стали с пределом текучести $f_y = 1000$ МПа и 500 МПа соответственно [11]. Значение предела пропорциональности f_{pr} для указанных сталей составляет 900 МПа и 450 МПа соответственно. Исходя из приведенных значений f_{pr} и модуля упругости $E = 210000$ МПа [10], предельные значения гибкости будут составлять $\lambda_{pr} = 51$ и 68. При гибкости винта $\lambda > \lambda_{pr}$ сопротивление потере устойчивости определяют с использованием формулы (1), а при $\lambda < \lambda_{pr}$ – с использованием формулы (2). Следует отметить, что формула (1) является частным случаем формулы (2). При определении сопротивления $N_{cl,R}$ винта потере устойчивости первоначально были

рассчитаны значения гибкости λ винтов для различных длин анкеровки l_{ef} , диаметра d и плотности ρ_k древесины (класса прочности). Для вычисления расчетной длины винта L_{cr} значения коэффициента μ определяли по формулам (4) – (6), которые получены в результате аппроксимации графических зависимостей коэффициента расчетной длины μ от R , приведенных в [6]. Следует отметить, что формулы (4) – (6) справедливы для $300 \leq R \leq 100000$.

Значения коэффициента μ расчетной длины в зависимости от его граничных условий определяется по формулам:

– при шарнирно-подвижном закреплении головки винта и треугольном распределении продольного усилия по его длине

$$\mu_1 = 3,2152 \cdot R^{-0,253} ; \tag{4}$$

– при скользящей заделке головки винта и треугольном распределении продольного усилия по его длине

$$\mu_2 = 1,6459 \cdot R^{-0,233} ; \tag{5}$$

– при скользящей заделке или шарнирно-подвижном закреплении головки винта и прямоугольной форме эпюры распределения продольной силы по его длине

$$\mu_1 = \mu_2 = 1,8461 \cdot R^{-0,237} . \tag{6}$$

В таблицах 1–3 приведены значения гибкости λ для винтов диаметрами $6 \text{ мм} \leq d \leq 20 \text{ мм}$ и длине анкеровки $10d \leq l_{ef} \leq 30d$, определенные по формуле (7). При определении гибкости λ винта значения плотности древесины принимались в интервале от 290 кг/м^3 до 460 кг/м^3 , что соответствовало минимальному и максимальному классам прочности пиломатериалов [12] и клееной древесины [13].

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i_{\min}} = \frac{\mu \cdot l_{ef}}{\left(\frac{0,7 \cdot d}{4} \right)} . \tag{7}$$

Таблица 1 – Значение гибкости λ винта при шарнирно-подвижном закреплении его головки и треугольном распределении продольного усилия по длине

Диаметр винта, d , мм	Плотность древесины, ρ_k , кг/м ³	Длина анкеровки, l_{ef} , мм	Параметр, R	Коэффициент, μ	Расчетная длина винта, L_{cr} , мм	Гибкость винта, λ
6	290	60	304,6	0,76	45,4	43,2
	350		367,6	0,72	43,3	41,2
	460		483,2	0,67	40,4	38,5
	290	120	4873,5	0,37	45,0	42,9
	350		5881,9	0,36	42,9	40,9
	460		7730,4	0,34	40,1	38,1
	290	180	24672,3	0,25	44,8	42,7
	350		29776,9	0,24	42,7	40,7
	460		39135,4	0,22	39,9	38,0
12	290	120	388,8	0,71	85,3	40,6
	350		469,2	0,68	81,4	38,8
	460		616,7	0,63	75,9	36,2
	290	240	6220,2	0,35	84,6	40,3
	350		7507,1	0,34	80,7	38,4
	460		9866,5	0,32	75,3	35,9
	290	360	31489,6	0,23	84,2	40,1
	350		38004,7	0,22	80,3	38,2
	460		49949,1	0,21	74,9	35,7
20	290	200	501,0	0,68	133,4	38,1
	350		604,6	0,64	127,2	36,3
	460		794,7	0,59	118,7	33,9
	290	400	8015,7	0,33	132,3	37,8
	350		9674,1	0,32	126,2	36,0
	460		12714,6	0,29	117,7	33,6
	290	600	40579,4	0,22	131,7	37,6
	350		48975,2	0,21	125,5	35,9
	460		64367,4	0,20	117,2	33,5

Таблица 2 – Значение гибкости λ винта при скользящей заделке его головки и треугольном распределении продольного усилия по его длине

Диаметр винта, d , мм	Плотность древесины, ρ_k , кг/м ³	Длина анкеровки, l_{ef} , мм	Параметр, R	Коэффициент, μ	Расчетная длина винта, L_{cr} , мм	Гибкость винта, λ
6	290	60	304,6	0,43	26,1	24,8
	350		367,6	0,42	24,9	23,7
	460		483,2	0,39	23,4	22,3
	290	120	4873,5	0,23	27,3	26,0
	350		5881,9	0,22	26,1	24,9
	460		7730,4	0,20	24,5	23,4
	290	180	24672,3	0,16	28,1	26,7
	350		29776,9	0,15	26,9	25,6
	460		39135,4	0,14	25,2	24,0
12	290	120	388,8	0,41	49,2	23,4
	350	469,2	0,39	47,1	22,4	

Продолжение таблицы 2

Диаметр винта, d, мм	Плотность древесины, ρ_k , кг/м ³	Длина анкеровки, l_{ef} , мм	Параметр, R	Коэффициент, μ	Расчетная длина винта, L_{cr} , мм	Гибкость винта, λ
	460	240	616,7	0,37	44,2	21,1
	290		6220,2	0,22	51,6	24,6
	350		7507,1	0,21	49,4	23,5
	460	360	9866,5	0,19	46,3	22,1
	290		31489,6	0,15	53,0	25,3
	350		38004,7	0,14	50,8	24,2
20	460	200	49949,1	0,13	47,61	22,7
	290		501,0	0,39	77,3	22,1
	350		604,6	0,37	74,0	21,1
	460	400	794,7	0,35	69,5	19,8
	290		8015,7	0,20	81,1	23,2
	350		9674,1	0,19	77,6	22,2
	460	600	12714,6	0,18	72,8	20,8
	290		40579,4	0,14	83,3	23,8
	350		48975,2	0,13	79,8	22,8
	460		64367,4	0,12	74,8	21,4

Таблица 3 – Значение гибкости λ винта при шарнирно-подвижном закреплении или скользящей заделке его головки и прямоугольном распределении продольного усилия длине

Диаметр винта, d, мм	Плотность древесины, ρ_k , кг/м ³	Длина анкеровки, l_{ef} , мм	Параметр, R	Коэффициент μ	Расчетная длина винта, L_{cr} , мм	Гибкость винта, λ	
6	290	60	304,6	0,48	28,5	27,2	
	350		367,6	0,45	27,3	26,0	
	460		483,2	0,43	25,6	24,4	
	290	120	4873,5	0,25	29,6	28,2	
	350		5881,9	0,24	28,3	26,9	
	460		7730,4	0,22	26,5	25,3	
	12	290	180	24672,3	0,17	30,2	28,8
		350		29776,9	0,16	28,9	27,5
		460		39135,4	0,15	27,1	25,8
290		120	388,8	0,45	53,89	25,7	
350			469,2	0,43	51,5	24,5	
460			616,6	0,40	48,3	23,0	
20	290	240	6220,2	0,23	55,8	26,6	
	350		7507,1	0,22	53,4	25,4	
	460		9866,5	0,21	50,1	23,8	
	290	360	31489,6	0,16	57,0	27,2	
	350		38004,7	0,15	54,5	26,0	
	460		49949,1	0,14	51,1	24,3	
20	290	200	501,0	0,42	84,5	24,2	
	350		604,6	0,40	80,9	23,1	
	460		794,7	0,38	75,8	21,7	
	290	400	8015,7	0,212	87,6	25,0	
	350		9674,1	0,21	83,8	23,9	
	460		12714,6	0,20	78,6	22,4	
	290	600	40579,4	0,15	89,5	25,6	
	350		48975,2	0,14	85,6	24,5	
	460		64367,4	0,13	80,2	22,9	

Анализируя значения λ , приведенные в таблицах 1–3, можно отметить, что:

– для винтов при одних и тех же значениях l_{ef}/d и ρ_k с увеличением их диаметра d гибкость λ уменьшается независимо от условий закрепления головки;

– при постоянном диаметре d и длине анкеровки l_{ef} винта с увеличением плотности ρ_k древесины его гибкость λ уменьшается;

– для винтов с шарнирно-подвижным закреплением головки и треугольным распределением продольного усилия по его длине при одних и тех же параметрах l_{ef} , d и ρ_k гибкость λ в среднем в 1,7 раза выше, чем при скользящей заделке;

– независимо от схемы закрепления головки винта, формы эпюры распределения продольного усилия по его длине для $l_{ef}/d \geq 10d$ гибкость винтов λ меньше предельной λ_{pr} , т. е. сопротивления $N_{cl,R}$ винта потере устойчивости должно определяться с учетом упруго-пластического деформирования его материала.

Для определения характеристического значения сопротивления $N_{cl,Rk}$ винта потере устойчивости, работающего в упруго-пластической области деформирования, можно воспользоваться формулой (2) или же правилами п. 6.3.1 [10]. Поскольку расчетная формула (6.47) в [10] базируется на методах статистической обработки экспериментальных данных, то для определения сопротивления $N_{cl,R}$ винта потере устой-

чивости воспользуемся данным методом [10], разработанным для центрально-сжатых элементов постоянного сечения. Исходя из формулы (6.47), в [10] характеристическое значения сопротивления $N_{cl,Rk}$ винта потере устойчивости может быть определено по формуле

$$N_{cl,Rk} = \chi \cdot A \cdot f_y, \quad (8)$$

где χ – понижающий коэффициент для соответствующей кривой потери устойчивости, определяемый согласно [10] по формуле (9);

A – площадь нетто поперечного сечения винта, мм²;

γ_{M1} – частный коэффициент свойств материала винта, принимаемый равным 1,1 [10].

Согласно [10] значение понижающего коэффициента χ определяется для соответствующей условной гибкости по формуле

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 + \bar{\lambda}^2}} \text{ при } \chi \leq 1, \quad (9)$$

где Φ – коэффициент, значение которого согласно [10] определяют по формуле (10);

$\bar{\lambda}$ – условная гибкость, значение которой согласно [10] определяют по формуле (11)

$$\Phi = 0,5 \cdot \left[1 + 0,49 \cdot \left(\bar{\lambda} - 0,2 \right) + \bar{\lambda}^2 \right], \quad (10)$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \cdot \frac{1}{\lambda_1}, \quad (11)$$

где f_y – предел пластического течения материала винта, МПа;

A – площадь поперечного сечения винта, значение которой для винта с резьбой будет равно $A = \pi \cdot (0,7d)^2/4$;

N_{cr} – критическая сила для соответствующей формы потери устойчивости в упругой стадии, вычисленная с использованием характеристик поперечного сечения брутто;

L_{cr} – расчетная длина винта, значение которой равно $L_{cr} = \mu \cdot l_{ef}$;

i – радиус инерции поперечного сечения винта, значение которого для винта с резьбой равно $i = (0,7d)/4$;

λ_1 – гибкость винта, значение которой определяют формуле

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}}. \quad (12)$$

Следует отметить, что при $\bar{\lambda} \leq 0,2$, согласно [10] $\Phi = 1$.

С учетом предложенного подхода были выполнены расчеты по определению характеристического значения сопротивления $N_{cl,Rk}$ сжатого стального винта потере устойчивости, установленного поперек волокон древесины в элементе конструкции с использованием формул (8) – (12) при $f_{y,k} = 1000$ МПа, а также сопоставление полученных значений с данными, приведенными в работе [2]. Результаты вычислений $N_{cl,Rk}$ для соответствующих геометрических параметров винтов, условий закрепления их головки, распределения продольного усилия по их длине и плотности древесины приведены в таблицах 4–6.

Следует отметить, что при вычислении значений $N_{cl,Rk}$ условную гибкость $\bar{\lambda}$ определяли двумя методами:

– метод 1, основанный на результатах наших исследований, т. е. с использованием коэффициента расчетной длины μ , значения которого определяли по формулам (4) – (6);

– метод 2, основанный на результатах исследований [2], т. е. с использованием значений $N_{ki,k} = N_{cr}$, приведенных в работе [2].

Таблица 4 – Характеристическое значение сопротивления $N_{cl,Rk}$ винта потере устойчивости при шарнирно-подвижном закреплении его головки и треугольном распределении продольного усилия по длине

Диаметр винта, d, мм	Плотность древесины, ρ_k , кг/м ³	Длина анкеровки, l_{ef} , мм	Гибкость винта, λ_1	Параметры, определенные по методу 1			Сопротивление $N_{cl,Rk}$, Н, определенное по методу 2
				Условная гибкость, $\bar{\lambda}$	Значение коэффициента χ	Сопротивление $N_{cl,Rk}$, Н	
6	290	60	43,2	0,95	0,57	7888	7936
	350		41,2	0,91	0,60	8259	8301
	460		38,5	0,84	0,63	8778	8813
	290	120	42,9	0,94	0,57	7953	7936
	350		40,9	0,90	0,60	8323	8301
	460		38,1	0,84	0,64	8838	8813
	290	180	42,7	0,94	0,58	7992	7936
	350		40,7	0,89	0,60	8360	8301
	460		38,0	0,83	0,64	8874	8813
12	290	120	40,6	0,89	0,60	33468	33633
	350		38,8	0,85	0,63	34894	350356
	460		36,2	0,79	0,67	36868	36979
	290	240	40,3	0,89	0,61	33721	33633
	350		38,4	0,84	0,63	35138	35036
	460		35,9	0,79	0,67	37097	36979
	290	360	40,1	0,88	0,61	33868	33633
	350		38,2	0,84	0,64	35280	35036
	460		35,7	0,78	0,67	37230	36979
20	290	200	38,1	0,84	0,64	98274	–
	350		36,3	0,80	0,66	102028	–
	460		33,9	0,75	0,70	107178	–
	290	400	37,8	0,83	0,64	98942	–
	350		36,0	0,79	0,67	102668	–
	460		33,6	0,74	0,70	107772	–
	290	600	37,6	0,83	0,64	99331	–
	350		35,9	0,79	0,67	103039	–
	460		33,5	0,74	0,70	108117	–

Таблица 5 – Характеристическое значение сопротивления $N_{cl,Rk}$ винта потере устойчивости при скользящей заделке его головки и треугольном распределении продольного усилия по его длине

Диаметр винта, d, мм	Плотность древесины, ρ_k , кг/м ³	Длина анкеровки, l_{ef} , мм	Гибкость винта, λ_1	Параметры, определенные по методу 1			Сопротивление $N_{cl,Rk}$, Н, определенное по методу 2
				Условная гибкость, $\bar{\lambda}$	Значение коэффициента χ	Сопротивление $N_{cl,Rk}$, Н	
6	290	60	24,8	0,55	0,82	11319	9224
	350		23,7	0,52	0,83	11504	9541
	460		22,3	0,49	0,85	11754	9973
	290	120	26,0	0,57	0,80	11109	9224
	350		24,9	0,55	0,82	11305	9541
	460		23,4	0,51	0,84	11571	9973
	290	180	26,7	0,59	0,79	10979	9224
	350		25,6	0,56	0,81	11183	9541
	460		24,0	0,53	0,83	11459	9973
12	290	120	23,4	0,51	0,83	46228	38527
	350		22,4	0,49	0,85	46913	39712
	460		21,1	0,46	0,86	47842	41320
	290	240	24,6	0,54	0,82	45445	38527
	350		23,5	0,52	0,83	46174	39712
	460		22,1	0,48	0,85	47162	41320
	290	360	25,3	0,55	0,81	44965	38527
	350		24,2	0,53	0,83	45720	39712
	460		22,7	0,50	0,84	46744	41320
20	290	200	22,1	0,49	0,85	130953	–
	350		21,1	0,46	0,86	132716	–
	460		19,8	0,44	0,88	135111	–
	290	400	23,2	0,51	0,84	128941	–
	350		22,2	0,49	0,85	130815	–
	460		20,8	0,46	0,87	133357	–
	290	600	23,8	0,52	0,83	127705	–
	350		22,8	0,50	0,84	129648	–
	460		21,4	0,47	0,86	132282	–

Таблица 6 – Характеристическое значение сопротивления $N_{cl,Rk}$ винта потере устойчивости при шарнирно-подвижном закреплении или скользящей заделке его головки и прямоугольном распределении продольного усилия по его длине

Диаметр винта, d, мм	Плотность древесины, ρ_k , кг/м ³	Длина анкеровки, l_{ef} , мм	Гибкость винта, λ_1	Параметры, определенные по методу 1			Сопротивление $N_{cl,Rk}$, Н, определенное по методу 2
				Условная гибкость, $\bar{\lambda}$	Значение коэффициента χ	Сопротивление $N_{cl,Rk}$, Н	
6	290	60	27,2	0,60	0,79	10896	9224
	350		26,0	0,57	0,80	11108	9541
	460		24,4	0,54	0,82	11394	9973
	290	120	28,2	0,62	0,77	10715	9224
	350		26,9	0,59	0,79	10937	9541
	460		25,3	0,56	0,81	11238	9973
	290	180	28,8	0,63	0,77	10605	9224
	350		27,5	0,61	0,78	10834	9541
	460		25,8	0,57	0,80	11143	9973
12	290	120	25,7	0,56	0,81	44673	38527
	350		24,5	0,54	0,82	45458	39712
	460		23,0	0,51	0,84	46520	41320
	290	240	26,6	0,58	0,79	44003	38527
	350		25,4	0,56	0,81	44827	39712
	460		23,8	0,52	0,83	45941	41320
	290	360	27,2	0,60	0,79	43596	38527
	350		26,0	0,57	0,80	44443	39712
	460		24,3	0,54	0,82	45588	41320
20	290	200	24,2	0,53	0,83	127004	–
	350		23,1	0,51	0,84	129019	–
	460		21,7	0,48	0,86	131746	–

Продолжение таблицы 6

Диаметр винта, d, мм	Плотность древесины, ρ_k , кг/м ³	Длина анкеровки, l_{ef} , мм	Гибкость винта, λ_1	Параметры, определенные по методу 1			Сопротивление $N_{cl,Rk}$, Н, определенное по методу 2
				Условная гибкость, $\bar{\lambda}$	Значение коэффициента χ	Сопротивление $N_{cl,Rk}$, Н	
	290	400	25,0	0,55	0,81	125286	–
	350		23,9	0,53	0,83	127399	–
	460		22,4	0,49	0,85	130257	–
	290	600	25,6	0,56	0,81	124242	–
	350		24,5	0,54	0,82	126415	–
	460		22,9	0,50	0,84	129353	–

Анализируя характеристические значения сопротивления $N_{cl,Rk}$ сжатого винта потере устойчивости (таблицы 4–6), установленного поперек волокон древесины в элементе конструкции, можно сделать вывод, что при длине анкеровки $l_{ef} \geq 10d$ для одного и того же значения плотности ρ_k и диаметра d, оно является величиной постоянной. Таким образом, увеличение длины анкеровки l_{ef} больше $10d$ не оказывает влияния на значение $N_{cl,Rk}$. Повышения сопротивления $N_{cl,Rk}$ винта потере устойчивости, как его и несущей способности, может быть достигнуто путем:

- увеличения плотности древесины, т. е. использование элементов деревянных конструкций с большим классом прочности древесины;
- увеличения диаметра винта;
- изменение условия закрепления его головки (замена шарнирно-подвижного закрепления на скользящую заделку);
- изменение закона распределения сжимающего усилия по длине винта (использование винтов с неполной резьбой).

Сопоставляя характеристические значения $N_{cl,Rk}$, вычисленные с учетом полученных нами коэффициентов расчетной μ длины (метод 1), со значениями, рассчитанными по методу 2 [2], можно отметить, что при шарнирно-подвижном закреплении головки винта и треугольном распределении продольного усилия по его длине они совпадают (таблица 4). Такое совпадение значений $N_{cl,Rk}$, рассчитанных по двум независимым методам, является подтверждением достоверности полученных значений коэффициента μ расчетной длины при решении задачи устойчивости сжатого винта, установленного в массиве древесины с использованием метода конечных разностей [4–5]. Что же касается характеристических значений сопротивления $N_{cl,Rk}$ винтов со скользящей заделкой головки и треугольном распределении продольного усилия по их длине, а также шарнирно-подвижном закреплении или скользящей заделкой его головки и прямоугольным распределением продольного усилия, то здесь значения, рассчитанные по методу 1, выше значений, определенных по методу 2 (таблица 5 и 6) в 1,22 раза для d = 6 мм при $\rho_k = 290$ кг/м³, $l_{ef} = 10d$, а для d = 12 мм при $\rho_k = 460$ кг/м³ и $l_{ef} = 30d$ в 1,10 раза. Выявленные здесь различия в значениях $N_{cl,Rk}$ можно объяснить погрешностью численных расчетов, а полученные результаты при определении коэффициента μ расчетной длины – достоверными.

При проверке предельного состояния несущей способности сжатого винта должно быть определено его расчетное значение сопротивления потере устойчивости. Для определения расчетного значения сопротивления $N_{cl,Rd}$ винта потере устойчивости, установленного поперек волокон древесины в элементе конструкции, может быть использована откорректированная с учетом изменения упругих свойств древесины (ползучести) во времени методика, применяемая для центрально-сжатых стальных элементов [10]. Следует отметить, что все корректировки в данной области должны быть внесены при определении характеристического значения сопротивления $N_{cl,Rk}$ сжатого винта потере устойчивости. Для решения данной задачи следует откорректировать значение коэффициента расчетной длины μ , т. е. в общем перемещении перпендикулярно продольной оси винта учесть перемещение, обусловленное ползучестью древесины. Поскольку значение коэффициента расчетной длины μ зависит от коэффициента постели c , величина которого определяется как отношение действующей перпендикулярно продольной оси винта погонной нагрузки к значению перемещения в данном направлении, которое должно быть откорректировано с учетом ползучести древесины. Таким образом, значение

коэффициента постели c должно определяться исходя из общего перемещения, стоящего из двух составляющих: перемещения u_{inst} , обусловленного кратковременным действием нагрузки, и перемещения u_{creep} , обусловленного ползучестью древесины в результате длительного действия нагрузки. Учитывая данное обстоятельство, полное значение коэффициента постели c_{fin} с учетом ползучести древесины может быть определено по формуле

$$c_{fin} = \frac{c_{inst}}{1 + k_{def}}, \quad (13)$$

где c_{inst} – коэффициент постели от кратковременного действия нагрузки, определяемый из эксперимента или по формуле (14) [2], Н/мм²;

k_{def} – коэффициент ползучести древесины, значение которого принимается из таблицы 5.5 [8]. Для классов эксплуатации 1, 2 и 3 согласно [8] – $k_{def} = 0,60; 0,80$ и $2,0$ соответственно.

Значение коэффициента постели c_{inst} при кратковременном действии нагрузки, как характеристики упругого основания в перпендикулярном направлении к продольной оси винта согласно [2], можно определять по формуле

$$c_{inst} = \frac{(0,22 + 0,014 \cdot d) \cdot \rho}{1,17 \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}, \quad (14)$$

где ρ – плотность древесины;

d – наружный диаметр резьбы винта;

α – угол наклона продольной оси винта по отношению к направлению волокон древесины.

Таким образом, алгоритм определения расчетного значения сопротивления $N_{cl,Rd}$ сжатого стального винта потере устойчивости, установленного поперек волокон древесины в элементе конструкции, может быть представлен в следующем виде:

- для соответствующего класса эксплуатации конструкции из таблицы 5.5 [8] принимают значение k_{def} ;
- по формуле (14) рассчитывают значение коэффициента постели c_{inst} при кратковременном действии на винт нагрузки;
- полное значение коэффициента постели c_{fin} определяют по формуле (13);
- рассчитывают значение безразмерного коэффициента R;
- по формулам (4) – (6) определяют значение коэффициента расчетной длины μ_{fin} для соответствующих граничных условий винта и закона распределения продольного усилия по его длине;
- используя формулы (9) – (11) рассчитывают значения коэффициента χ ;
- по формуле (8) рассчитывают характеристическое значение сопротивления $N_{cl,Rk}^*$ с учетом ползучести древесины;
- расчетное значение сопротивления (несущей способности) $N_{cl,Rd}$ сжатого стального винта потере устойчивости определяют по формуле

$$N_{cl,Rd}^* = \frac{N_{cl,Rk}^*}{\gamma_{M1}}, \quad (15)$$

где $N_{cl,Rk}^*$ – характеристическое значение сопротивления сжатого стального винта потере устойчивости, установленного поперек воло-

кон древесины в элементе конструкции, определенное с учетом ползучести древесины, Н;

γ_M – коэффициент свойств материала, принимаемый, согласно [10], равным 1,1.

Следует отметить, что в работе [2] определение расчетного значения сопротивления $N_{cl,Rd}$ сжатого стального винта потере устойчивости определялось аналогичным образом только лишь с той разни-

цей, что при вычислении значения условной гибкости $\bar{\lambda}$ в формуле (11) использовалось расчетное значение критической силы $N_{cr,d}$, определяемой по формуле

$$N_{cr,d} = \frac{N_{ki,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M}, \quad (16)$$

где $N_{ki,k}$ – характеристическое значение критической силы, принимаемое из таблицы 1 или 2 [2] в зависимости от граничных условий винта, Н;

k_{mod} – коэффициент модификации, учитывающий изменение прочности древесины от длительного действия нагрузки и условий эксплуатации [4 или 8];

γ_M – коэффициент свойств материала и изделий, значение которого принимают равным 1,3 [4].

Определение расчетного значения $N_{cr,d}$ по формуле (16) является некорректным, поскольку здесь должно учитываться не снижение прочности древесины во времени, а изменение значений упругих свойств, т. е. увеличение деформаций в результате ползучести, как это было отмечено нами выше.

Используя приведенный выше алгоритм, были выполнены расчеты по определению характеристического и расчетного значений сопротивления сжатого винта как без учета, так и с учетом ползучести древесины, в зависимости от величины его диаметра d и плотности ρ_k древесины при шарнирно-подвижном закреплении головки и треугольном распределении продольного усилия по его длине. Результаты расчетов приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Сравнение несущей способности винта с учетом ползучести древесины для класса эксплуатации 2, при модуле упругости стали $E = 210000$ МПа, пределе пластического течения стали $f_y = 1000$ МПа, шарнирно-подвижном закреплении его головки и треугольном распределении продольного усилия по длине

Диаметр винта, d , мм	Плотность древесины, ρ_k , кг/м ³	Длина анкеровки, l_{ef} , мм	Коэффициент расчетной длины		Сопротивление, Н, при $k_{def} = 0$		Сопротивление, Н, при $k_{def} = 0,8$	
			μ_{inst} при $k_{def} = 0$	μ_{fin} при $k_{def} = 0,8$	Характеристическое значение $N_{cl,Rk}$	Расчетное значение $N_{cl,Rd}$	Характеристическое значение $N_{cl,Rk}^*$	Расчетное значение $N_{cl,Rd}^*$
6	290	180	0,25	0,28	7992	7265	7040	6400
	350		0,24	0,27	8360	7600	7424	6749
	460		0,22	0,25	8874	8067	7974	7250
12	290	360	0,23	0,26	33868	30789	30151	27410
	350		0,22	0,25	35280	32072	31665	28786
	460		0,21	0,23	37230	33846	33802	30729
20	290	600	0,22	0,25	99331	90300	89402	81275
	350		0,21	0,24	103039	93672	93475	84977
	460		0,20	0,22	108117	98288	99156	90142

Анализируя результаты расчетов, приведенные в таблице 7, можно отметить, что при учете ползучести древесины значение коэффициента расчетной длины μ_{fin} увеличивается, а значение расчетного $N_{cl,Rd}^*$ сопротивления винта уменьшается.

Заключение

В результате выполненных исследований было установлено:

– предельное значение гибкости для винтов из углеродистой стали $\lambda_{pr} = 51$, а из нержавеющей $\lambda_{pr} = 68$;

– при одинаковых значениях отношения расчетной длины l_{ef} к диаметру d и одинаковой плотности древесины с увеличением диаметра d гибкость винта уменьшается независимо от условий закрепления головки, аналогичная картина изменения гибкости наблюдается при увеличении плотности древесины для винтов одного и того же диаметра;

– максимальное значение гибкости $\lambda = 43,2$ характерно для винтов диаметром 6 мм с шарнирно-подвижным закреплением головки и треугольным распределением продольного усилия по длине винта, а минимальное – $\lambda = 20$ при шарнирно-подвижном закреплении или скользящей заделке его головки и прямоугольном распределении продольного усилия по длине;

– поскольку гибкость винта λ меньше предельной λ_{pr} , сопротивления $N_{cl,R}$ винта потере устойчивости при длине анкеровки $l_{ef}/d \geq 10$

должно определяться с учетом упруго-пластического деформирования его материала;

– увеличение длины анкеровки l_{ef} винта более $10d$ не сказывается на величине его сопротивления $N_{cl,R}$ потере устойчивости;

– повышение сопротивления $N_{cl,R}$ винта потере устойчивости может быть достигнуто за счет увеличения плотности древесины или диаметра винта, изменения шарнирно-подвижного закрепления на скользящую заделку, использования винтов с неполной резьбой.

На основании результатов исследований и их анализа разработана расчетная модель потери устойчивости установленного поперек волокон древесины в элементе конструкции сжатого винта, позволяющая учитывать ползучесть древесины и особенности упруго-пластического деформирования изотропного материала (стали) винта. На основании данной модели предложен алгоритм определения несущей способности сжатого винта, установленного перпендикулярно волокнам древесины элемента конструкции. Предложенную модель рекомендуется применять при выполнении проверок предельных состояний несущей способности локально армированных опорных участков деревянных конструкций с использованием винтов.

Список цитированных источников

1. Formolo, S. Compression perpendicular to the grain and reinforcement of a pre-stressed timber deck / S. Formolo, R. Granström. – Universität Karlsruhe, 2007. – 176 p.

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. – 13 p.
3. Bejtka, I. Verstärkung von Bauteilen aus Holz mit Vollgewindeschrauben / I. Bejtka – Chalmers University of Technology, 2007. – 177 p.
4. Еврокод 5. Проектирование деревянных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий : ТКП EN 1995-1-1-2009 (02250). – Введ. 01.01.2010. – Минск : Минстройархитектуры, 2010. – 110 с.
5. Конструкции деревянные с узлами на винтах. Правила проектирования : СП 299.1325800.2017. – Введ. 17.02.2018 – М. : Минстрой России, 2017. – 19 с.
6. Найчук, А. Я. Устойчивость стальных центрально сжатых винтов в массиве древесины / А. Я. Найчук, К. К. Глушко, Е. В. Маркечко // Промышленное и гражданское строительство. – 2020. – № 3 (65). – С. 4–9.
7. Глушко, К. К. Численный анализ устойчивости центрально сжатых стальных винтов в деревянных конструкциях / К. К. Глушко, Е. В. Маркечко // Теория и практика исследований, проектирования и САПР в строительстве: сб. статей Междунар. науч.-метод. конф., Брест, 27 марта 2020 г. / редкол.: Н. Н. Шалобыта [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2020. – С. 46–57.
8. Деревянные конструкции : СП 5.05.01-2021. – Введ. 01.06.2021. – Минск : Минстройархитектуры, 2021. – 115 с.
9. Вольмир, А. С. Устойчивость упругих систем / А. С. Вольмир. – М. : Государственное издательство физико-математической литературы, 1963. – 879 с.
10. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий : ТКП EN 1993-1-1-2009* (02250). – Введ. 01.01.2010. – Минск : Минстройархитектуры, 2014. – 96 с.
11. Совершенствование нормативной базы для соединений деревянных конструкций на винтах / П. Н. Смирнов [и др.] // Крепеж, клеи, инструменты и ... – 2018 – № 3 (65). – С. 18–23.
12. Древесина конструкционная. Классы прочности : СТБ EN 338-2011. – Введ. 01.06.2012. – Минск : Госстандарт, 2012. – 11 с.
13. Конструкции деревянные. Древесина клееная многослойная. Классы прочности и определение характеристических значений : СТБ EN 1194-2011. – Введ. 01.07.2012. – Минск : Госстандарт, 2012. – 13 с.

References

1. Formolo, S. Compression perpendicular to the grain and reinforcement of a pre-stressed timber deck / S. Formolo, R. Granström. – Universität Karlsruhe, 2007. – 176 p.
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. – 13 p.
3. Bejtka, I. Verstärkung von Bauteilen aus Holz mit Vollgewindeschrauben / I. Bejtka – Chalmers University of Technology, 2007. – 177 p.
4. Еврокод 5. Проектирование деревянных конструкций. CHast' 1-1. Obshchie pravila i pravila dlya zdaniy : ТКП EN 1995-1-1-2009 (02250). – Введ. 01.01.2010. – Минск : Минстройархитектуры, 2010. – 110 с.
5. Konstruktii derevyannye s uzlamy na vintah. Pravila proektirovaniya : SP 299.1325800.2017. – Vved. 17.02.2018 – M. : Ministroy Rossii, 2017. – 19 s.
6. Najchuk, A. YA. Ustojchivost' stal'nyh central'no szhatyh vintov v massive drevesiny / A. YA. Najchuk, K. K. Glushko, E. V. Markechko // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2020. – № 3 (65). – S. 4–9.
7. Glushko, K. K. Chislennyj analiz ustojchivosti central'no szhatyh stal'nyh vintov v derevyannykh konstrukciyah / K. K. Glushko, E. V. Markechko // Teoriya i praktika issledovaniy, proektirovaniya i SAPR v stroitel'stve: sb. statej Mezhdunar. nauch.-metod. konf., Brest, 27 marta 2020 g. / redkol.: N. N. SHalobyta [i dr.]. – Brest : BrGTU, 2020. – S. 46–57.
8. Derevyannye konstrukcii : SP 5.05.01-2021. – Vved. 01.06.2021. – Minsk : Ministroyarhitektury, 2021. – 115 s.
9. Vol'mir, A. S. Ustojchivost' uprugih sistem / A. S. Vol'mir. – M. : Gosudarstvennoe izdatel'stvo fiziko-matematicheskoy literatury, 1963. – 879 s.
10. Еврокод 3. Proektirovanie stal'nykh konstrukcij. CHast' 1-1. Obshchie pravila i pravila dlya zdaniy : ТКП EN 1993-1-1-2009* (02250). – Введ. 01.01.2010. – Минск : Минстройархитектуры, 2014. – 96 с.
11. Sovershenstvovanie normativnoj bazy dlya soedinenij derevyannykh konstrukcij na vintah / P. N. Smirnov [i dr.] // Krepezh, klei, instrumenty i ... – 2018 – № 3 (65). – S. 18–23.
12. Drevesina konstrukcionnaya. Klassy prochnosti : STB EN 338-2011. – Vved. 01.06.2012. – Minsk : Gosstandart, 2012. – 11 s.
13. Konstruktii derevyannye. Drevesina kleenaya mnogoslajnaya. Klassy prochnosti i opredelenie harakteristicheskikh znachenij : STB EN 1194-2011. – Vved. 01.07.2012. – Minsk : Gosstandart, 2012. – 13 s.

Материал поступил 11.06.2024, одобрен 18.06.2024, принят к публикации 18.06.2024

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА БАЗАЛЬТОВОЙ ФИБРЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННОГО НАПРЯГАЮЩЕГО БЕТОНА ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ. ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ВЕРИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ

К. Ю. Беломесова¹, И. П. Павлова²

¹ Магистр технических наук, исследователь, заместитель декана по воспитательной работе архитектурно-строительного факультета УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: kbelomesova@mail.ru

² К. т. н., доцент, декан архитектурно-строительного факультета УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: pavlinna@tut.by

Реферат

В материале статьи отражены результаты параметрических исследований дисперсно-армированных базальтовой фиброй цементных композитов, на основе расширяющихся вяжущих, а также представлены результаты верификации расчетной модели, позволяющей определить количество базальтовой фибры необходимое для получения дисперсно-армированных цементных композитов с требуемыми жесткостными характеристиками. В основе предлагаемой модели лежит рассмотрение цементного композита как четырехкомпонентного материала, состоящего из заполнителя, цементной матрицы с условно выделенной из нее транзитной зоной, и фибры. В модели применены основные положения теории эффективной среды с учетом влияния свойств транзитной зоны.

Предложенная модель позволяет учитывать влияние состава напрягающего бетона, а также свойства его компонентов на требуемое для оптимизации структуры количество базальтовой фибры.

Ключевые слова: напрягающий бетон, транзитная зона, дисперсное армирование, базальтовая фибра, модуль упругости, теория эффективной среды.

ANALYTICAL MODEL FOR CALCULATING THE AMOUNT OF BASALT FIBER TO PRODUCE DISPERSION-REINFORCED CONCRETE WITH AN OPTIMAL STRUCTURE. PARAMETRIC STUDIES AND VERIFICATION OF THE MODEL

K. Y. Belamesava, I. P. Paulava

Abstract

The paper reflects the results of parametric studies of dispersed basalt fiber-reinforced cement composites based on expanding binders, and also presents the results of verification of the calculation model that allows to determine the amount of basalt fiber necessary to obtain dispersed-reinforced cement composites with the required stiffness characteristics. The proposed model is based on the consideration of cement composite as a four-component material consisting of aggregate, cement matrix with a transit zone conditionally separated from it, and fiber. In the model the basic provisions of the theory of effective medium are applied taking into account the influence of the properties of the transit zone.

The proposed model allows taking into account the influence of the mix of the self-stressing concrete, as well as the properties of its components on the amount of basalt fiber required to optimize the structure.

Keywords: stressed concrete, transit zone, dispersed reinforcement, basalt fiber, elastic modulus, theory of effective medium.

Введение

В ранее опубликованной статье [1, с. 28] представлены основные положения расчетной аналитической модели, позволяющей определить количество базальтовой фибры, необходимое для получения дисперсно-армированных цементных композитов оптимальной структуры. В качестве базовой модели принята модель композитной системы, жесткостные параметры которой рассчитываются с учетом положений дифференциальной теории эффективной среды.

Расчетная модель. Основные параметры

Основные положения базовой модели базируются на положениях, опубликованных в работе [2, с. 82]. Далее модель предлагается модифицировать с учетом появления в рассматриваемой композитной системе базальтовой фибры.

В основе базовой модели лежит рассмотрение цементного композита как трехкомпонентного материала, состоящего из заполнителя, цементной матрицы и расположенной между ними транзитной зоны. Ввод в систему третьей компоненты – транзитной зоны – обусловлен необходимостью учета специфики структурообразования расширяющейся композитной системы. При этом транзитная зона, являясь частью цементного камня, формирует совместно с зерном заполнителя т. н. «эффективный» заполнитель [1, с. 86].

Предложенная в данной работе модифицированная модель позволяет оценить введение еще одного компонента, а именно – базальтовой фибры.

В данной работе использована рабочая гипотеза, согласно которой количество базальтовой фибры должно назначаться исходя из условия достижения дисперсно-армированной базальтовой фиброй цементной матрицей жесткостных характеристик тождественных

жесткостным характеристикам «эффективного» заполнителя при реальной концентрации последнего в бетоне, что позволит реализовать принцип макроскопической однородности системы.

При построении структурной модели расширяющегося дисперсно-армированного базальтовой фиброй цементного композита были приняты некоторые предположения и допущения, подробно описанные в ранее опубликованной статье.

На рисунке 1 схематически представлена схема трансформации композитной системы в соответствии с положениями ТЭС.

На рисунке 1 K , G , c – соответственно объемный модуль, модуль сдвига и концентрация:

i_d – эффективный заполнитель;

m – цементная матрица;

o – бетон без базальтовой фибры;

o' – бетон с дисперсным армированием базальтовой фиброй.

Параметрические исследования дисперсно-армированных базальтовой фиброй цементных композитов

Укрупненная блок-схема расчета количества базальтовой фибры для дисперсного армирования цементных композитов в соответствии с положениями разработанной теоретической структурно-механической модели представлена на рисунке 2. При анализе моделируемой системы были приняты следующие варьируемые параметры:

1) удельная поверхность заполнителя $S_{уд}$. Удельную поверхность заполнителя $S_{уд}$ варьировали в пределах от 0,5 до 5,0 м²/кг;

2) концентрация заполнителя c_{agg} . Параметрические исследования проводили при начальной концентрации $c_{agg} = 0,05$ и для реальных концентраций $c_{agg} = 0,4; 0,5; 0,6;$ и $0,7$ соответственно.

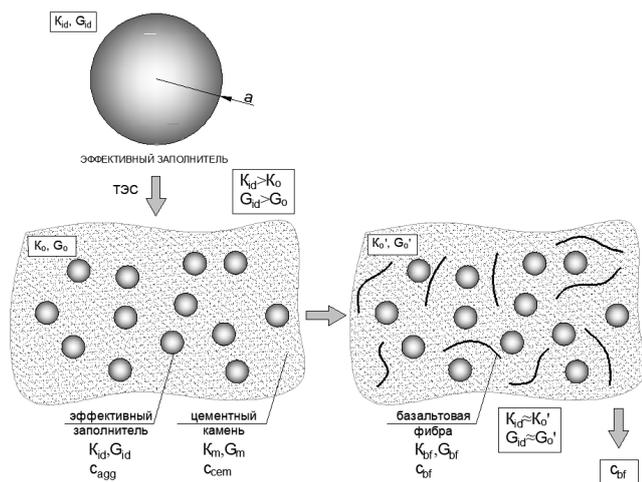


Рисунок 1 – Трансформация композитной системы для определения концентрации вводимой фибры

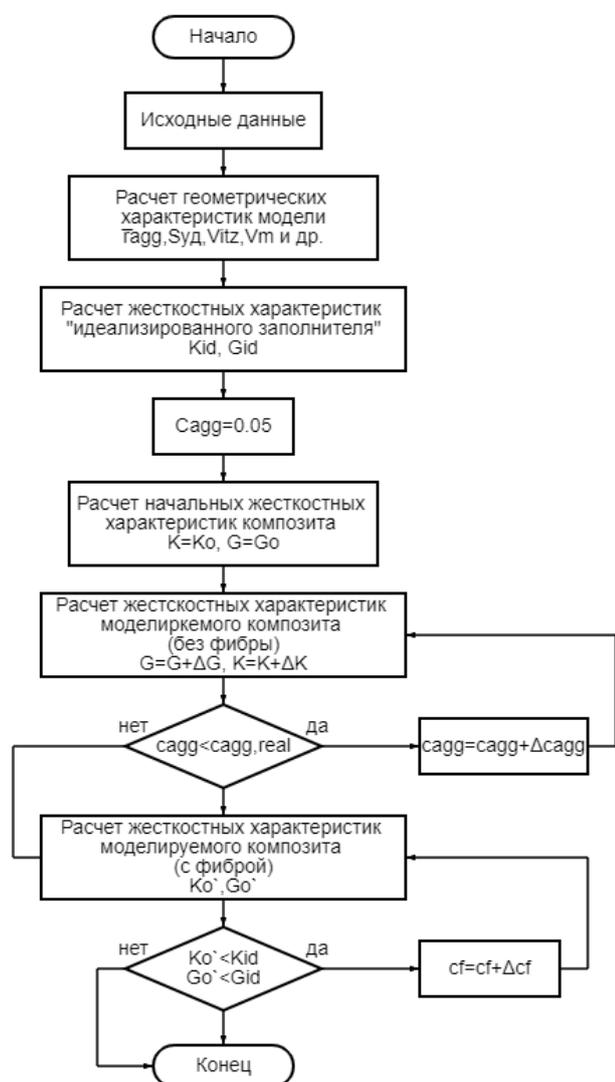


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма расчета количества базальтовой фибры для дисперсного армирования цементных композитов

При выполнении параметрических исследований неизменными были следующие параметры:

1. Толщина транзитной зоны δ_{tz} . Параметрические исследования проводили при величине транзитной зоны $\delta_{tz} = 50 \mu\text{m}$. Принятый размер толщины транзитной зоны подтверждается эксперименталь-

ными исследованиями микроструктуры [2–11] и является наиболее распространенным для цементных композитов.

2. Геометрические параметры базальтовой фибры: $d_f = \text{const}$; $l_f = \text{const}$.

При анализе моделируемой системы и назначении ее геометрических характеристик необходимо оценить реальный объем цементной матрицы. На рисунке 3 представлен график изменения относительной толщины прослойки цементной матрицы V_{cm} в моделируемой композитной системе в зависимости от удельной поверхности заполнителя $S_{уд,agg}$ при его различной объемной концентрации c_{agg} .

Если для начальной концентрации $c_{agg} = 0,05$ величина V_{cm} колеблется в пределах от 0,95 до 0,93, то для реальных объемных концентрация заполнителя в бетоне $c_{agg} = 0,4–0,7$ стремится к нулю с ростом концентрации c_{agg} и удельной поверхности заполнителя.

Как указывалось ранее, в основе базовой модели лежит рассмотрение цементного композита как трехкомпонентного материала, состоящего из заполнителя, цементной матрицы и расположенной между ними транзитной зоны. Поэтому при моделировании композитной системы учитывалось количество транзитной зоны и ее жесткостные параметры. Причем объем последней является одним из основных геометрических параметров, оказывающих влияние на жесткостные характеристики «эффективного» заполнителя. В работе [11] отмечается, что, начиная с граничной объемной концентрации заполнителя $c_{agg} = 0,29$, в структуре бетона наблюдается явление полной перколяции транзитных зон. Так как реальный бетон в своем составе содержит изначально большее количество заполнителя, объем транзитной зоны необходимо определять с учетом перколированных участков.

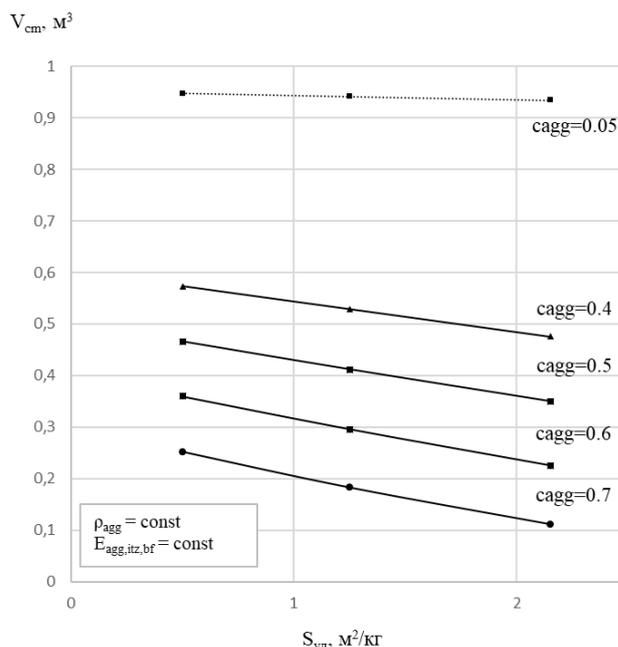


Рисунок 3 – График изменения относительной толщины прослойки цементной матрицы V_{cm} в зависимости от удельной поверхности заполнителя $S_{уд,agg}$ при его различной объемной концентрации c_{agg}

На рисунке 4 представлен график изменения объема транзитной зоны V_{tz} в моделируемом композите в зависимости от удельной поверхности заполнителя $S_{уд}$ при его различной объемной концентрации c_{agg} .

Как видно из рисунка 4, если для $c_{agg} = 0,05$ графики идентичны (при такой объемной концентрации заполнителя перколяция не наблюдается), то для реальных объемных концентраций ($c_{agg} = 0,5–0,8$), особенно с ростом удельной поверхности $S_{уд}$, возникают ощутимые отличия (реальный объем транзитных зон в бетоне будет несколько меньше, чем рассчитанный без учета перколяции). Поэтому, при реальной концентрации включений от 0,5 до 0,8 и удельной поверхности $S_{уд} \geq 2 \text{ m}^2/\text{kg}$, необходимо учитывать перколяцию транзитных зон.

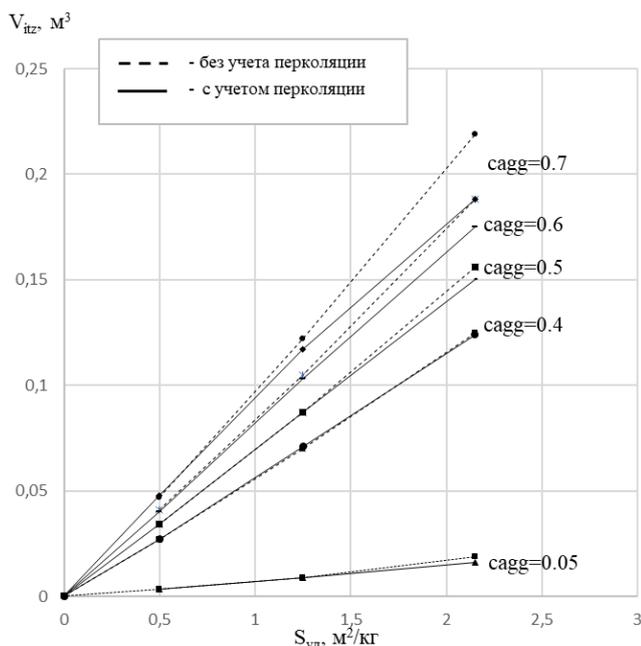


Рисунок 4 – График изменения объема транзитной зоны V_{itz} в моделируемом композите в зависимости от удельной поверхности заполнителя при его различной объемной концентрации

В соответствии с рабочей гипотезой, количество базальтовой фибры должно назначаться исходя из условия достижения дисперсно-армированной базальтовой фиброй цементной матрицей жесткостных характеристик тождественных жесткостным характеристикам «эффективного» заполнителя при реальной концентрации последнего в бетоне, что позволит реализовать принцип макроскопической однородности системы. На рисунке 5 представлен график изменения количества базальтовой фибры в моделируемом композите в зависимости от удельной поверхности заполнителя $S_{уд,agg}$ и его различной объемной концентрации C_{agg} .

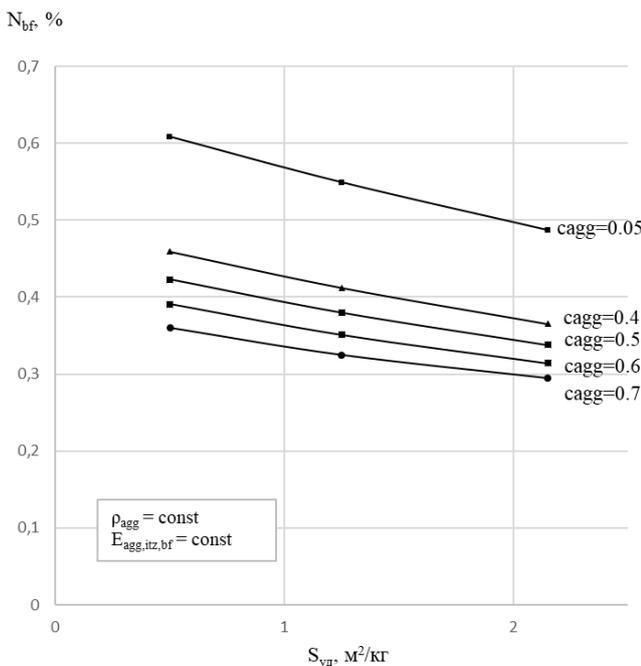


Рисунок 5 – График изменения количества базальтовой фибры в моделируемом композите в зависимости от удельной поверхности заполнителя при его различной объемной концентрации

При построении графика неизменными были следующие параметры:

- средняя плотность заполнителя $C_{agg} = const$;
- модуль упругости заполнителя, транзитной зоны и базальтовой фибры $E_{agg, itz, bf} = const$.

Как видно из рисунка 5, при увеличении удельной поверхности и объемной концентрации заполнителя ($C_{agg} = const$; $E_{agg, itz, bf} = const$) количество базальтовой фибры необходимой для достижения дисперсно-армированной базальтовой фиброй цементной матрицей жесткостных характеристик тождественных жесткостным характеристикам «эффективного» заполнителя снижается.

При этом на рисунке 6 ясно видно, как предлагаемая модель гибко реагирует на изменение одного из входных параметров. Так, например, при изменении модуля упругости заполнителя E_{agg} количество базальтовой фибры, необходимой для выполнения главного условия рабочей гипотезы, увеличивается. Значение C_{agg} ; $S_{уд,agg}$ соответствуют значениям реального бетона.

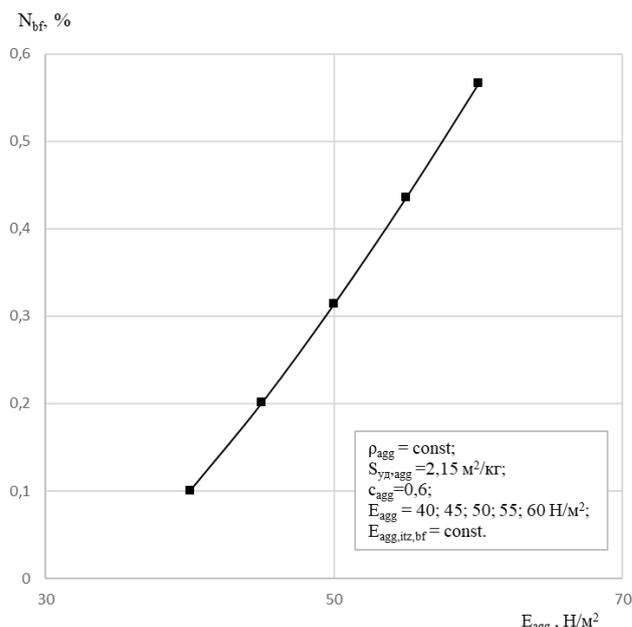


Рисунок 6 – График изменения количества базальтовой фибры в моделируемом композите в зависимости от модуля упругости заполнителя при $\rho_{agg} = const$; $S_{уд,agg} = 2,15 \text{ м}^2/\text{кг}$; $C_{agg} = 0,6$; $E_{agg, itz, bf} = const$

Верификация предложенной модели для определения количества базальтовой фибры выполнена путем сравнения рассчитанных значений и опытных данных полученных в работах зарубежных авторов и собственных исследованиях на примере мелкозернистого бетона. Основные статистические характеристики предложенной структурной модели дисперсно-армированного базальтовой фиброй расширяющегося композита предложены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты верификации модели

Прогнозируемая характеристика	Статистические характеристики		
	b	Δ	V_δ
Дозировка базальтовой фибры	0,606	0,0021	0,077

Примечание – Основные статистические характеристики модели определены по формулам в работе [1, с. 134].

Как следует из анализа статистических характеристик расчетной модели, последняя имеет незначительную величину коэффициента вариации ошибки моделирования $V_\delta = 7,7 \%$. Расчетные и экспериментальные значения количества базальтовой фибры для получения дисперсно-армированного напрягающего бетона оптимальной структуры показали удовлетворительную согласованность, подтверждающую справедливость принятых положений в рамках предлагаемой модели.

Заключение

Разработана аналитическая модель, позволяющая определить количество базальтовой фибры, вводимой в цементную систему, представляющая собой четырехкомпонентную систему, состоящую из заполнителя, цементной матрицы и расположенной между ними транзитной зоны и фибры.

Количество базальтовой фибры назначается исходя из условия достижения дисперсно-армированной базальтовой фиброй цементной матрицей жесткостных характеристик тождественных жесткостным характеристикам «эффективного» заполнителя (заполнитель с транзитной зоной вокруг него) при реальной концентрации последнего в бетоне, что позволит реализовать принцип макроскопической однородности системы.

Разработанная аналитическая модель применима для любых составов напрягающего бетона. Расчетные и экспериментальные значения количества базальтовой фибры для получения дисперсно-армированного напрягающего бетона оптимальной структуры показали удовлетворительную согласованность, подтверждающие справедливость принятых положений в рамках предлагаемой модели.

Список цитированных источников

- Беломесова, К. Ю. Аналитическая модель расчета количества базальтовой фибры для получения дисперсно-армированного напрягающего бетона оптимальной структуры / К. Ю. Беломесова, И. П. Павлова // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2023. – № 1. – С. 27–31. – <https://doi.org/10.52928/2070-1683-2023-33-1-27-31>.
- Павлова, И. П. Прогнозирование собственных деформаций и напряжений напрягающего бетона на основе структурно-механической модели расширяющегося композита : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / И. П. Павлова. – Брест, 2005. – 159 с.
- Paulava, I. Dependence of concrete strength on different methods of basalt fiber adding / I. Paulava, K. Belamesava // Проблемы современного бетона и железобетона : сб. науч. тр. / Ин-т БелНИИС ; редкол.: О. Н. Лешкевич [и др.]. – Минск, 2019. – Вып. 11. – С. 63–75.
- Тур, В. В. Экспериментально-теоретические основы предварительного напряжения конструкций при применении напрягающего бетона / В. В. Тур. – Брест : БПИ, 1998. – 244 с.
- Коротких, Д. Н. Многоуровневое дисперсное армирование структуры мелкозернистого цементного бетона и повышение его трещиностойкости : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Д. Н. Коротких. – Воронеж, 2001. – 188 с.
- Титов, М. Ю. Бетоны с компенсированной усадкой на расширяющих добавках: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : 05.23.05 / М. Ю. Титов ; НИИЖБ им. А. А. Гвоздева. – М., 2012. – 22 с.
- Потапова, Ю. И. Структура и свойства бетонов с двухстадийным расширением: дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : 05.23.05 / Ю. И. Потапова. – Ростов-на-Дону, 2015. – 254 с.
- Павлова, И. П. Зависимость прочности бетона от метода введения базальтовой фибры / И. П. Павлова, К. Ю. Беломесова // Проблемы современного бетона и железобетона : сб. науч. тр. / Институт БелНИИС ; редкол.: О. Н. Лешкевич [и др.]. – Минск, 2019. – Вып. 11. – С. 63–75.
- Михайлов, В. В. Напрягающий цемент / В. В. Михайлов // Труды совещания по химии цемента. – М. : Промстройиздат, 1956. – 120 с.
- Lu, B. Nearest-surface distribution functions for polydispersed particle system / Lu Binglin, S. Torquato // Physical Review A. – 1992. – Vol. 45, Iss. 8. – P. 5530–5544. – <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.45.5530>.
- Garboczi, E. J. Computer Modeling of Interfacial Transition Zone: Microstructure and Properties [Electronic resource] / E. J. Garboczi, D. P. Bentz // RILEM Report. – 1999. – № 20, Part 5, Chapter 20. – Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/239823312_Computer_Modelling_of_Interfacial_Transition_Zone_Microstructure_and_Properties. – Date of access: 20.02.2024.
- Garboczi, E. J. Elastic Moduli of a Material Containing Composite Inclusions: Effective Medium Theory and Finite Element Computations [Electronic resource] / E. J. Garboczi, J. G. Berryman // Mechanics of Materials. – 2001. – Mode of access: https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=860258. – Date of access: 20.02.2024.
- Giordano, S. Differential schemes for the elastic characterization of dispersions of randomly oriented ellipsoids / S. Giordano // European Journal of Mechanics – A/Solids. – 2003. – Vol. 22, Iss. 6. – P. 885–902. – [https://doi.org/10.1016/S0997-7538\(03\)00091-3](https://doi.org/10.1016/S0997-7538(03)00091-3).

Материал поступил 13.06.2024, одобрен 08.07.2024, принят к публикации 09.07.2024

ОЦЕНКА РИСКОВ ОТКАЗА КОНСТРУКТИВНЫХ СИСТЕМ ИЗ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА В ОСОБОЙ РАСЧЕТНОЙ СИТУАЦИИ

А. В. Тур¹, В. В. Тур², А. А. Лизогуб³

¹ К. т. н., доцент, заведующий кафедрой архитектуры, УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: aturphd@gmail.com

² Д. т. н., профессор, заведующий кафедрой технологии бетона и строительных материалов, УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: profurvic@gmail.com

³ Магистр технических наук, младший научный сотрудник ОЛ «НИЦИС», УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: p_332_14lizogub@mail.ru

Реферат

В статье рассмотрены вопросы оценки рисков отказа конструктивных систем из железобетона в особой расчетной ситуации. Рассмотрены существующие в нормативных документах и технической литературе методы установления целевых значений параметров надежности и приемлемого допустимого риска при выполнении проверок живучести конструктивных систем. Предложена методика определения целевых мер надёжности на основании критериев индивидуального и социального (группового) рисков для конструктивных систем из сборного железобетона. Полученные в работе зависимости позволили установить величины прогнозируемых площадей обрушения, для которых надёжность конструктивной системы обеспечивается требованиями, основанными на индивидуальном риске. В статье показано, что при больших площадях обрушения параметры надежности в особой расчётной ситуации должны устанавливаться на основе критериальных зависимостей для социального (группового) риска.

Ключевые слова: индивидуальный риск, социальный риск, вероятность отказа, индекс надежности, площадь обрушения.

RISKS OF FAILURE ASSESSMENT OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURAL SYSTEMS IN AN ACCIDENTAL DESIGN SITUATION

A. V. Tur, V. V. Tur, A. A. Lizahub

Abstract

The article considers the issues of assessing the risks of failure of structural systems made of reinforced concrete in an accidental design situation. The methods existing in codes and technical literature for determining the target values of reliability parameters and acceptable risk when performing robustness checks of structural systems are considered. A methodology for determining target reliability measures based on criteria of individual and social (group) risks for structural systems made of precast reinforced concrete is proposed. The dependences obtained in the work made it possible to determine the values of the predicted collapse areas, for which the reliability of the structural system is provided by requirements based on individual risk. The article shows that for large areas of collapse, reliability parameters in an accidental design situation should be established on the basis of criteria dependencies for social (group) risk.

Keywords: individual risk, social risk, probability of failure, reliability index, collapse area.

1 Введение

Решение задачи по оцениванию живучести будет по-прежнему не полным даже при условии того, что разработанные модели сопротивления и эффектов воздействий адекватно описывают физическое поведение поврежденной конструктивной системы в особой расчетной ситуации, а присущие им неопределенности (ошибки моделирования) сведены к некоторому разумному минимуму. Это обусловлено тем обстоятельством, что проверки живучести конструктивной системы следует базировать на научно-обоснованных критериях, представленных, как правило, в виде детерминистических неравенств, содержащих в своей правой части нормируемые значения допустимых (целевых) мер надежности, явно выраженных в терминах рисков и связанных с ними вероятностей отказа (индексов надежности) или неявно в виде расчётных значений, определяемых при помощи системы частных коэффициентов полувероятностных методов. Так, например, ТКП EN 1991-1-7 [1] содержит требование, в соответствии с которым для зданий класса 3 следует выполнять «систематическую оценку рисков». С другой стороны, эти меры надежности используют для калибровки системы частных коэффициентов в моделях сопротивления и воздействий, применяемых для проверок предельных состояний полувероятностными методами.

Таким образом, установление допустимых или целевых значений параметров надежности для выполнения проверок живучести конструктивных систем в особых расчетных ситуациях является отдельной проблемой, которой следует уделить отдельное внимание в исследовании феномена прогрессирующего обрушения.

Согласно принципу MLSC (англ. *Marginal Life Saving Cost Principle*), установленному в международном стандарте СТБ ISO 2394 [2], требуемый (целевой) уровень надежности тесно связан с готовностью общества платить за спасение одной анонимной жизни и может быть количественно определен с помощью критерия LQI (англ. *Life Quality Index*). Вместе с тем в стандарте СТБ ISO 2394 [2] указано, что практическая реализация критерия MLSC с использованием LQI-критерия требует установления на нормативном уровне «абсолютных значений допустимых рисков для обеспечения безопасности жизнедеятельности» [2].

Таким образом, для разработанных и разрабатываемых расчетных моделей сопротивления и воздействий должны быть установлены допустимые параметры надежности, в частности, согласно СТБ-ISO 2394 [2], допустимые (целевые) значения риска. Альтернативно для установления допустимого (целевого) риска может быть использована концепция LQI-критерия (индекса качества жизни) согласно [2].

Фундаментальный постулат, принятый при установлении приемлемого (допустимого) риска, заключается в том, что риски, связанные с отказом конструктивных систем зданий, запроектированных и возводимых в соответствии с современными принципами передовой практики, считаются достаточно малыми и приемлемыми для общества. С другой стороны, современная передовая практика отражена в действующих стандартах и нормах проектирования конструкций, правильное применение которых влечет за собой создание конструктивных систем, являющихся безопасными и надежными по определению. В соответствии с этими соображениями, наиболее простым и логичным подходом является установление приемлемого (допустимого) риска как неотъемлемого риска, изложенного в упомянутых нормах.

Общий алгоритм процедуры установления допустимых рисков показан на рисунке 1 и соответствует ISO 2394 [2]. При выполнении качественного анализа рисков (см. рисунок 1) выявляют возможные сценарии угроз (j) и формы отказа, связанные с анализируемой конструкцией. В контексте рассматриваемой проблемы сценарий угрозы (j) описывают конкретным сценарием обрушения в результате отказа (f) ключевого элемента по установленной форме отказа (k), приводимой в действие соответствующей схемой нагружения (e).

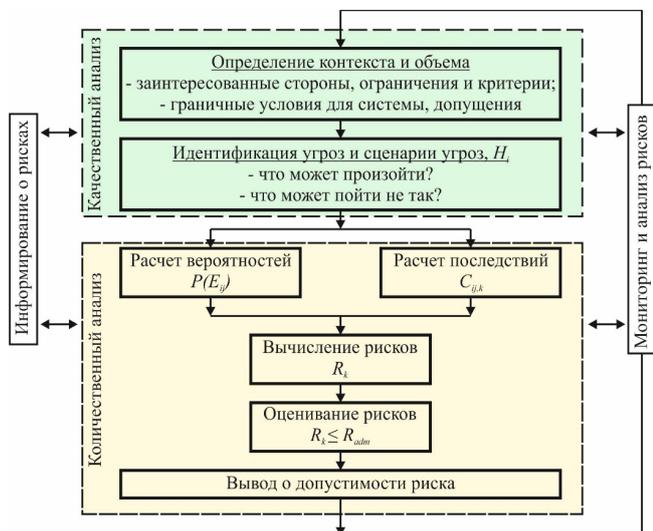


Рисунок 1 – Общий алгоритм процедуры установления рисков [2]

2 Определение целевых мер надёжности на основании критериев индивидуального и социального (группового) рисков для конструктивных систем из сборного железобетона

В качестве иллюстрации рассмотрим реализацию процедуры установления допустимого (целевого) риска для актуализированной конструктивной системы типового межвидового каркаса Б1.020.1,

для которой, согласно [1], [3], [4], разработана интегрированная система горизонтальных и вертикальных связей. В процессе анализа варьировали следующие параметры конструктивной системы: компоновку и геометрические размеры, прочностные характеристики материалов, сочетания и величину воздействий. Полный анализ включал 1000 конструктивных систем зданий, соответствующих классу СС2 по [4].

2.1 Описание конструктивной системы

Конструктивная система представляет собой наиболее широко применяемый в практике строительства связевой каркас с шарнирным сопряжением ригелей с колоннами, выполненный по серии Б1.020.1. Для устройства перекрытия использованы сборные многослойные плиты высотой 220 мм, изготовленные по агрегатно-поточной технологии, шарнирно сопряжённые с ригелями высотой 450 мм. Пространственная устойчивость здания обеспечена системой диафрагм жесткости, объединенных горизонтальными дисками перекрытий. Работа перекрытия из многослойных плит в качестве диска обеспечивается за счет приварки ригелей к консолям колонн, сварки связевых плит между собой и ригелями, а также за счет тщательного замоноличивания шпонок и швов между всеми элементами перекрытия (см. рисунок 2).

Живучесть конструктивной системы при отказе ключевого элемента (колонны) обеспечивается исключительно за счет устройства системы горизонтальных (внутренних продольных в направлении ригелей, внутренних поперечных в направлении плит, периметрических в направлении ригелей и плит) и вертикальных связей.

Для оценивания рисков было рассмотрено 1000 гипотетических, но реально реализуемых конструктивных систем со следующими варьируемыми геометрическими параметрами:

- высота H , ширина B и длина L в осях здания;
- пропорции здания $H:B:L$;
- количество этажей, n_s ;
- шаг колонн в продольном направлении здания l ;
- шаг колонн в поперечном направлении здания b .

Каждое рассматриваемое здание прямоугольные в плане и представляет собой один температурный блок (см. рисунок 3).

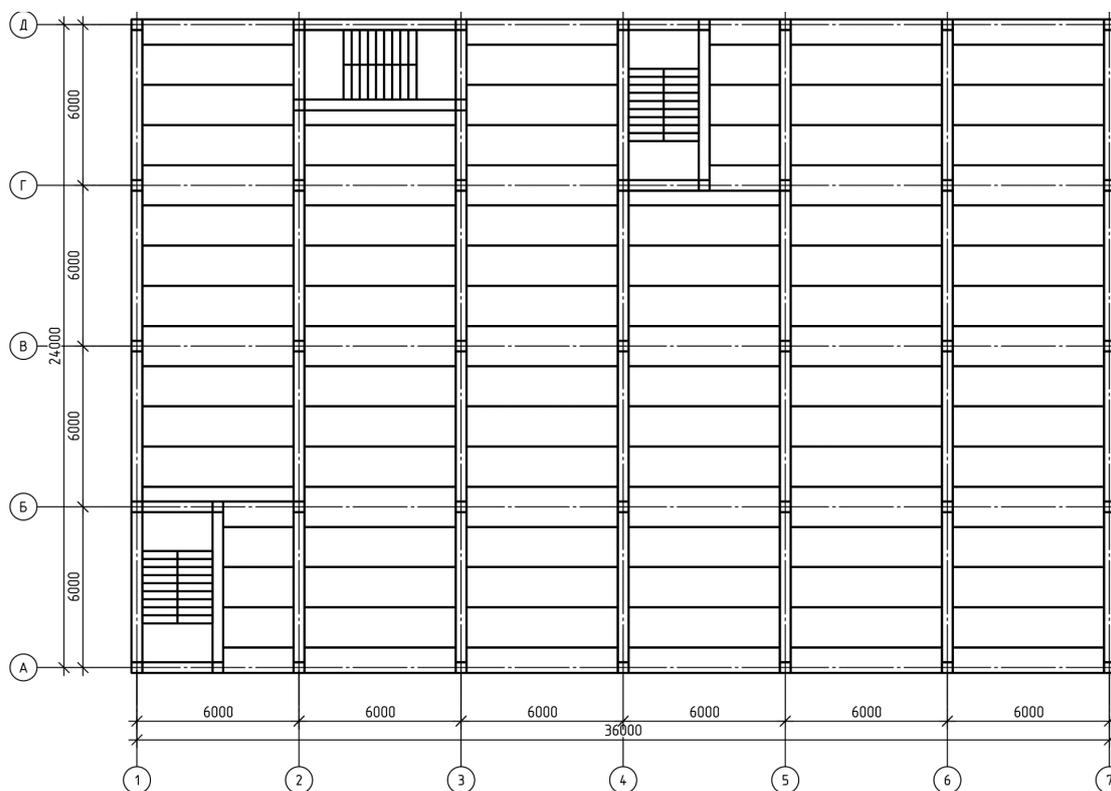


Рисунок 2 – План 5-этажного офисного здания

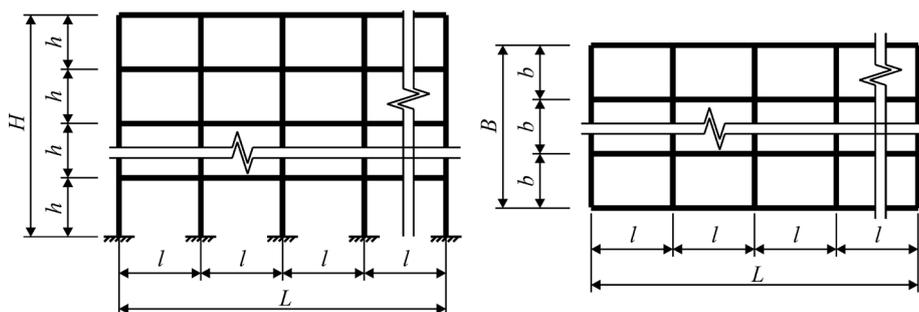


Рисунок 3 – Геометрические параметры H:B:L рассматриваемых конструктивных систем (слева: разрез; справа: план)

Значения геометрических параметров рассматриваемой выборки конструктивных систем, принятые в ходе анализа рисков, приведены в таблице 1. Указанные пропорции (H:B:L) соответствуют номинальным размерам в осях элементов каркаса здания. Этажность n_s (не учитывая подвальную часть и покрытие) варьируется от 1 до 11 этажей. В настоящем исследовании принята постоянная высота этажа $h_s = 3.3$ м, а полная высота зданий H варьируется от 3,3 до 36,3 м. В плане учтены габаритные размеры здания по крайним осям в продольном и поперечном направлениях (L и B) от 24 до 90 метров. Шаг колонн в поперечном направлении здания b составил – 6.0 и 7.2 м, а в продольном направлении здания l – 6.0 и 9.0 м.

Таблица 1 – Комбинации геометрических параметров рассматриваемой выборки конструктивных систем

B:L	h, м	b, м	l, м	n_s	H, м	B, м	L, м
4:6	3.3	6.0	6.0	1-11	3.3, 6.6,	24	36
4:8					9.9, 13.2,		
4:12					16.5, 19.8,		
6:6					23.1, 26.4,		
6:8					29.7, 33.0,		
6:12					36.3		
4:4	3.3	6.0	9.0	1-11	3.3, 6.6,	24	36
4:6					9.9, 13.2,		
4:8					16.5, 19.8,		
4:10					23.1, 26.4,		
					29.7, 33.0,	24	90
					36.3		
4:4	3.3	7.2	6.0	1-11	3.3, 6.6,	28.8	24
4:6					9.9, 13.2,		
4:8					16.5, 19.8,		
4:10					23.1, 26.4,		
4:12					29.7, 33.0,		
					36.3		

2.2 Материалы и воздействия

Основные значения характеристик свойств материалов и воздействий, принятые при традиционном проектировании конструктивных систем, составленных из рассматриваемой выборки приведены в таблице 2.

2.3 Граничные условия

Главной особенностью расчетной схемы связевого каркаса серии Б1.020.1 является шарнирное сопряжение плит перекрытия с ригелями и ригелей с колоннами, что учитывается при проверках предельных состояний несущей способности и эксплуатационной пригодности. При проверках живучести в данных исследованиях были учтены мембранные эффекты, обусловленные работой системы горизонтальных (внутренних продольных в направлении ригелей, внутренних поперечных в направлении плит, периметрических в направлении ригелей и плит) и вертикальных связей.

В работе [5] принято допущение, согласно которому балки и колонны конструктивной системы, в рамках анализа надежности, рассматриваются как статически определимые элементы. Это обосновывается тем, что при одном и том же уровне нагружения вероятность отказа статически определимых элементов выше, чем у статически неопределимых элементов, для которых свойственны перераспределение усилий, образование пластических шарниров,

развитие пластических деформаций и мембранных эффектов. Также не принимается во внимание влияние граничных условий на характер и величину последствий обрушения. Другими словами, авторы [5] утверждают, что риски для пользователя, находящегося в статически определимой конструктивной системе, выше чем риски в сопоставимой статически неопределимой системе. Данное допущение приводит к более консервативной оценке рисков, что является допустимым, но не всегда рациональным подходом.

Таблица 2 – Основные значения характеристик свойств материалов и воздействий, принятые при проектировании конструктивных систем

Параметр	Обозначение	Значение	Ед. изм.
Материалы			
Характеристическая прочность бетона на сжатие	f_{ck}	30	Н/мм ²
Характеристическая прочность рабочей арматуры	f_{yk}	500	Н/мм ²
Предельные относительные деформации рабочей арматуры	ϵ_{uk}	0.05	мм/м
Отношение предельной прочности на растяжение к физическому пределу текучести рабочей арматуры	$k = (f_{uk} / f_{yk})$	1.08	Н/мм ²
Характеристическая прочность связевой арматуры	f_{yk}	240	Н/мм ²
Предельные относительные деформации связевой арматуры	ϵ_{uk}	0.15	мм/м
Отношение предельной прочности на растяжение к физическому пределу текучести связевой арматуры	$k = (f_{uk} / f_{yk})$	1.30	Н/мм ²
Удельный вес железобетона	ρ_c	25	кН/м ³
Воздействия			
Собственный вес многопустотных плит	g_s	3	кПа
Собственный вес ригеля	g_g	4,73	кН/м
Собственный вес колонны	g_c	4	кН/м
Постоянная нагрузка	q_s	2,44	кПа
Функциональная нагрузка	q_k	2	кПа

2.4 Живучесть конструктивной системы в особой расчетной ситуации

Проектирование системы горизонтальных и вертикальных связей выполнено по методу энергетического баланса поврежденной системы [6] и удовлетворяют требованиям [3] и [4].

В соответствии с предписывающими нормами [3], [4] форматом безопасности при проектировании конструктивных систем в особой расчетной ситуации по методу частных коэффициентов является следующее условие:

$$E_d(G_k, Q_{k1}, \psi_{1,1}, Q_{k,i}, \psi_{2,i}) \leq R_d(f_{ck}, \gamma_c, f_{sk}, \gamma_s, a_k, \theta_k), \quad (1)$$

где E_d – расчетное значение эффекта воздействия;

R_d – расчетное значение сопротивления конструкции;

$G, Q_1, Q_i, f_c, f_s, a, \theta$ – значения основных параметров, описывающих воздействия, свойства материалов, геометрические размеры и неопределенности моделей.

Расчетные значения основных переменных определяются с учетом их неопределенностей и ошибок моделирования путем применения к их характеристическим значениям частных коэффициентов γ , коэффициентов сочетания ψ и других мер надежности [3], [4].

В соответствии с СП 5.03.01 [3] п. 4.2.5.3 в особой расчетной ситуации частный коэффициент для бетона принимают равным $\gamma_c = 1,2$, а частный коэффициент для арматуры $\gamma_s = 1,0$. Коэффициенты сочетания воздействий для жилых и офисных зданий $\psi_{1,1} = 0,5$ и $\psi_{2,1} = 0,3$ соответственно.

В таблице 3 представлены результаты определения минимального необходимого количества горизонтальных связей по методу энергетического баланса в соответствии с предписанными нормами [3], [4] форматом безопасности для 5-этажного офисного здания, представленного на рисунке 2.

2.5 Сценарии угроз H

При анализе рисков в данной работе для каждой из 1000 гипотетических конструктивных систем рассматривались все возможные сценарии особых расчетных ситуаций. Было принято следующее допущение: в результате реализации особого события H (идентифицируемого или неидентифицируемого) отказывает один (один за раз) ключевой элемент (колонна) с вероятностью $P(D|H) = 1$ и далее рассматривается поврежденная конструктивная система, живучесть которой обеспечивается за счет работы системы связей.

Все гипотетические сценарии особых расчетных ситуаций в зависимости от отказавшего ключевого элемента можно условно разделить на четыре типа:

- внезапное удаление (отказ) центральной колонны;
- внезапное удаление (отказ) крайней колонны (в направлении ригелей);
- внезапное удаление (отказ) крайней колонны (в направлении плит);
- внезапное удаление (отказ) угловой колонны.

Таблица 3 – Минимальное необходимое количество горизонтальных связей

Расчетная ситуация	Вид связей	Требуемая площадь связей A_t , мм ²
удаление центральной колонны	внутренние продольные (в направлении ригелей)	4189.19
	внутренние поперечные (в направлении связевых плит)	794.07
	внутренние поперечные (в направлении рядовых плит)	397.03
удаление крайней колонны (в направлении ригелей)	периметрические связи (в направлении ригелей)	2094.59
	периметрические связи (в направлении связевых плит)	794.07
	внутренние поперечные (в направлении рядовых плит)	397.03
удаление крайней колонны (в направлении плит)	периметрические связи (в направлении ригелей)	4189.19
	периметрические связи (в направлении связевых плит)	794.07
	внутренние поперечные (в направлении рядовых плит)	397.03
удаление угловой колонны	периметрические связи (в направлении ригелей)	2094.59
	периметрические связи (в направлении связевых плит)	794.07
	внутренние поперечные (в направлении рядовых плит)	397.03

2.6 Модель сопротивления

Рассматриваемый при анализе фрагмент перекрытия при выходе из строя/отказе центральной колонны показан на рисунке 4.

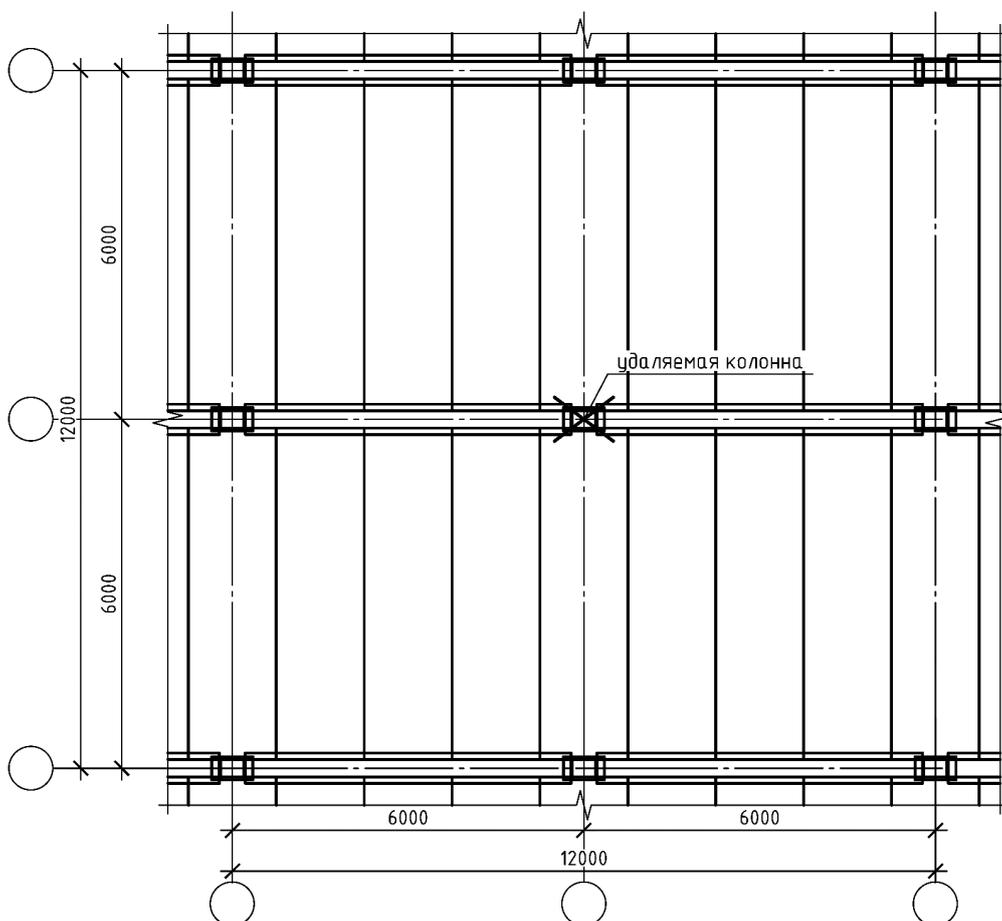


Рисунок 4 – Схема рассматриваемого фрагмента перекрытия

2.6.1 Определение диаграмм «N-w» для принятых связевых элементов

Для получения диаграммы «N-w», связывающей продольное растягивающее усилие N с перемещением w (локальным смещением) связи, работающей на растяжение, следует учитывать диаграмму «t-s», описывающую закон сцепления по контакту с окружающим бетоном.

Для описания зависимости «N-w» по результатам анализа результатов испытаний стержней, заглубленных в бетоне, а также с учетом рекомендаций *fib* Bulletin 43 [7], для моделирования работы связи была предложена трехлинейная идеализированная диаграмма [6], показанная на рисунке 5.

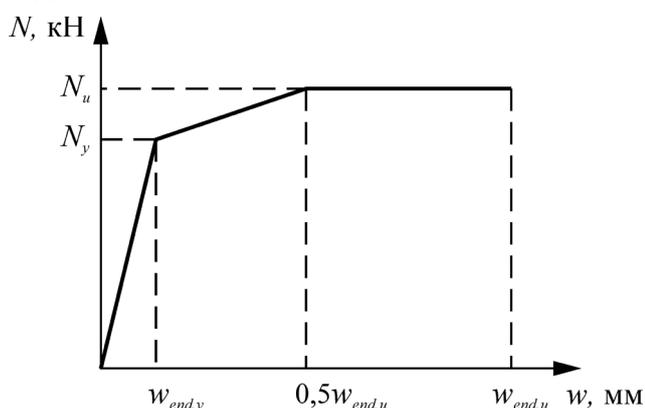


Рисунок 5 – Идеализированная диаграмма «N-w» для связи из арматурной стали, работающей на растяжение [6]

Для перехода от диаграммы «t-s» к зависимости «N-w» необходимо: а) определить длину зоны передачи напряжений l_t ; б) распределить деформации $\epsilon_s(x)$ и $\epsilon_{st}(x)$ на этой длине [6].

В общем случае длина зоны передачи напряжений возрастет с возрастанием растягивающего усилия. При этом для отдельного стержня, заделанного в бетоне, возможны следующие случаи: 1) длина зоны передачи напряжений меньше или равна длине анкеровки; 2) длина зоны передачи напряжений больше длины анкеровки. Следует отметить, что для непрерывных связей растяжения, проходящих через перекрытие, практически всегда справедлив случай 1 [6].

При условии упругой работы стержня и смещения его торца не более чем на 1 мм, справедлива следующая зависимость, полученная в *fib* Bulletin 43 [7], *fib* Bulletin 72 [8] при обосновании расчетных положений, внесенных в *fib*MC2010 [9]:

$$w_{end} = 0,288 \cdot \left(\frac{\sigma_s \cdot \sigma_s^2}{\tau_{b,max} \cdot E_s} \right)^{0,714} + \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot 2 \cdot \varnothing, \quad (2)$$

где $\tau_{b,max} = 2,5\sqrt{f_{cd}}$ – для «хороших» условий сцепления; (3)

$\tau_{b,max} = 1,25\sqrt{f_{cd}}$ – для «всех других» условий сцепления; (4)

\varnothing – диаметр стержня, в мм.

Длина участка пластических деформаций может быть получена из условия равновесия [6]:

$$l_{t,pl} = \frac{F_{su} - F_{sy}}{\tau_{bm,pl} \cdot \pi \cdot \varnothing} = \left(\frac{f_{ud} - f_{yd}}{\tau_{bm,pl}} \right) \cdot \frac{\varnothing}{4}, \quad (5)$$

где $\tau_{bm,pl}$ – средние значения напряжений сцепления по контакту на длине зоны пластического деформирования, определяемые по формуле (6).

Для деформативных стержней периодического профиля (арматура классов В и С согласно СП 5.03.01-2020) в *fib* Bulletin 43 [7], *fib* Bulletin 72 [8] предложено определять средние напряжения сцепления на длине зоны пластического деформирования при разрыве стержней из зависимостей:

$$\tau_{bm,pl} = 0,27\tau_{b,max}, \quad (6)$$

где $\tau_{b,max}$ определяется по формулам (3) или (4) в зависимости от условий сцепления.

Предельное смещение (удлинение) связевого стержня определяется по формуле (7):

$$W_{end,u} = l_{t,pl} \cdot \epsilon_{sm,pl} + W_{end,y}, \quad (7)$$

где $\epsilon_{sm,pl}$ – средние относительные деформации арматурного стержня на длине участка пластического деформирования, согласно *fib* Bulletin 43 [7] приняты равными $\epsilon_{sm,pl} = 0,5\epsilon_{su}$.

Как следует из уравнения (7) предельное перемещение возрастает по мере увеличения длины зоны пластического деформирования $l_{t,pl}$.

2.6.2 Максимальные вертикальные перемещения в направлении ригелей и плит

При условии равномерного деформирования связевых элементов, максимально допустимое вертикальное перемещение a_u определяется как наименьшее значение из отдельно рассмотренных в двух направлениях геометрических схем деформированной поврежденной конструктивной системы: в направлении ригелей (рисунок 6а) и в направлении плит (рисунок 6б).

В направлении **ригелей** предельное вертикальное перемещение a_g может быть определено по схеме (рисунок 6а) в следующем виде:

$$a_g = 2 \cdot \sqrt{(I_g \cdot w_g + w_g^2)}. \quad (8)$$

В направлении **связевых плит** предельное вертикальное перемещение a_{sl} может быть определено по схеме (рисунок 6б) в следующем виде:

$$a_{sl} = 2 \cdot \sqrt{(I_{sl} \cdot w_{sl} + w_{sl}^2)}. \quad (9)$$

Максимально допустимое вертикальное перемещение поврежденной системы a_u из условия совместной работы может быть определено как $a_u = \min(a_g, a_{sl})$.

Для случая, когда $a_{sl} < a_g$ в связевых элементах ригелей при достижении поврежденной системой перемещений a_{sl} не будут достигнуты предельные усилия и деформации. Из уравнения (8) определим величину продольных деформаций связевых элементов ригелей из условия их совместной работы с плитами перекрытия:

$$w_{end,u,g} = 0,5 \cdot \left(\sqrt{I_g^2 + a_{u,min}^2} - I_g \right). \quad (10)$$

Для учета влияния **рядовых плит** на сопротивление поврежденной системы определим их перемещения $a_{sl,i}$ и соответствующие деформации в связевых элементах $w_{end,u,sl,i}$ (рисунок 7).

Для рядовой плиты, следующей за связевой, вертикальное перемещение $a_{sl,2}$ составит

$$a_{sl,2} = a_{sl} \cdot \frac{(L-s)}{L}. \quad (11)$$

Величина продольных деформаций связевых элементов рядовой плиты, следующей за связевой, из условия их совместной работы перекрытия:

$$w_{end,u,sl2} = 0,5 \cdot \left(\sqrt{I_{sl}^2 + a_{sl,2}^2} - I_{sl} \right). \quad (12)$$

Аналогичным образом перемещения $a_{sl,i}$ и соответствующие деформации в связевых элементах $w_{end,u,sl,i}$ определяются для всех рядовых плит.

2.6.3 Энергия деформирования связевых элементов

Энергия деформирования для каждого связевого соединения может быть выражена согласно [6], [7] через коэффициент деформационной способности связевого элемента ξ :

$$\xi(w) = \frac{W_{int}(w_{end,u})}{N_u \cdot w_{end,u}}; \tag{13}$$

$$\sum_{i=1}^n Q_i \cdot a_{z,i} = \sum_{i=1}^n \xi_i(w_{i,max}) \cdot N_{i,u} \cdot w_{i,max}. \tag{15}$$

$$W_{int}(w) = \int_0^{w_{end,u}} N(w)dw, \tag{14}$$

Когда движение прекращается, система, вероятно, не обязательно находится в состоянии равновесия, поэтому в дополнение к условию (15) должно быть выполнено следующее условие:

$$R_{stat}(a_{qz,max}) \geq m \cdot g. \tag{16}$$

где W_{int} – энергия деформирования связевого элемента (площадь фигуры под кривой функции « $N-w$ » (см. рисунок 5)).

2.6.4 Уравнения энергетического баланса для элементов поврежденной конструктивной системы

Уравнение энергетического баланса деформированной системы можно записать в следующем виде:

Схема фрагмента перекрытия поврежденной конструктивной системы при сценарии отказа центральной колонны представлена на рисунке 8.

Уравнения динамических сопротивлений для совместно работающих ригелей, связевых и рядовых плит в соответствии с условием (15) сведены в таблицу 4.

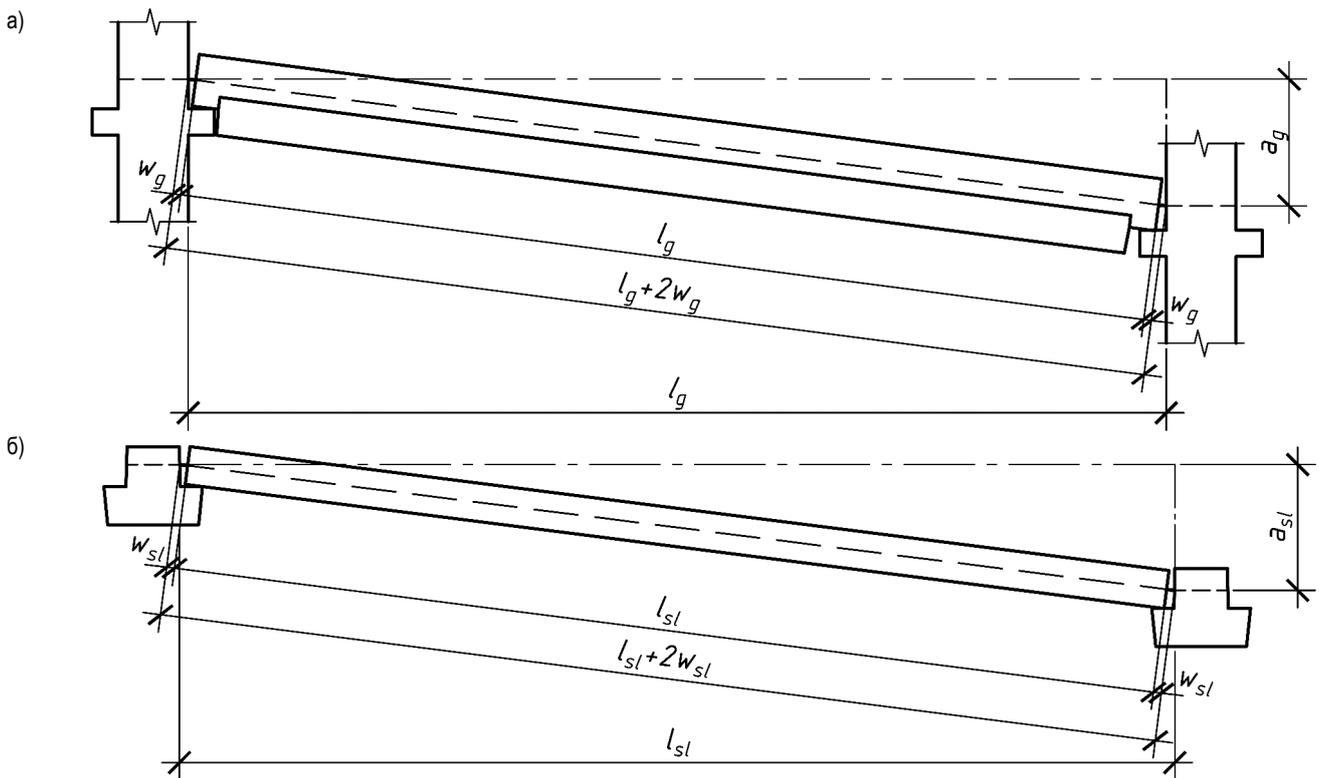


Рисунок 6 – Схема деформированной поврежденной конструктивной системы

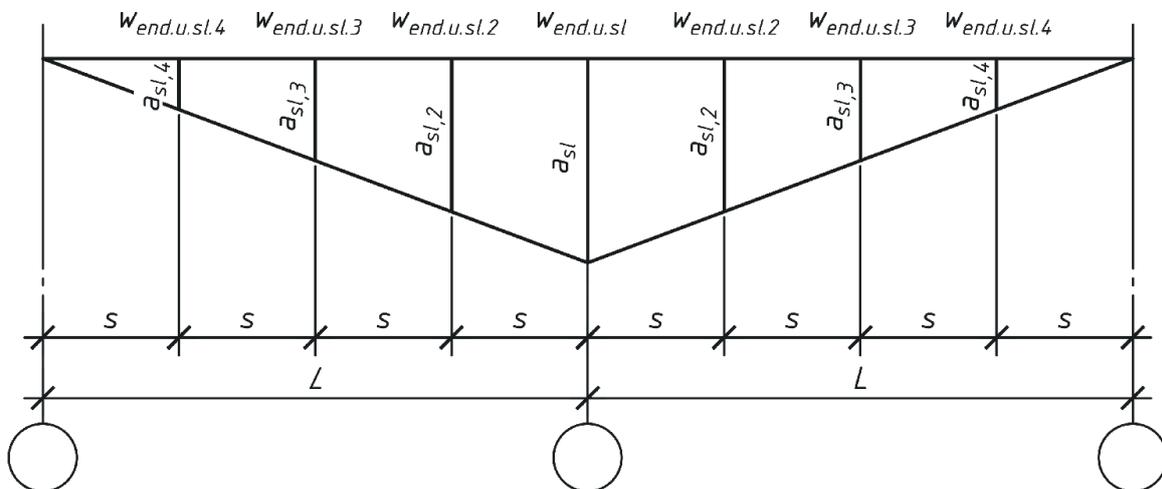


Рисунок 7 – Схема деформированной поврежденной конструктивной системы по оси удаленной колонны в направлении ригелей

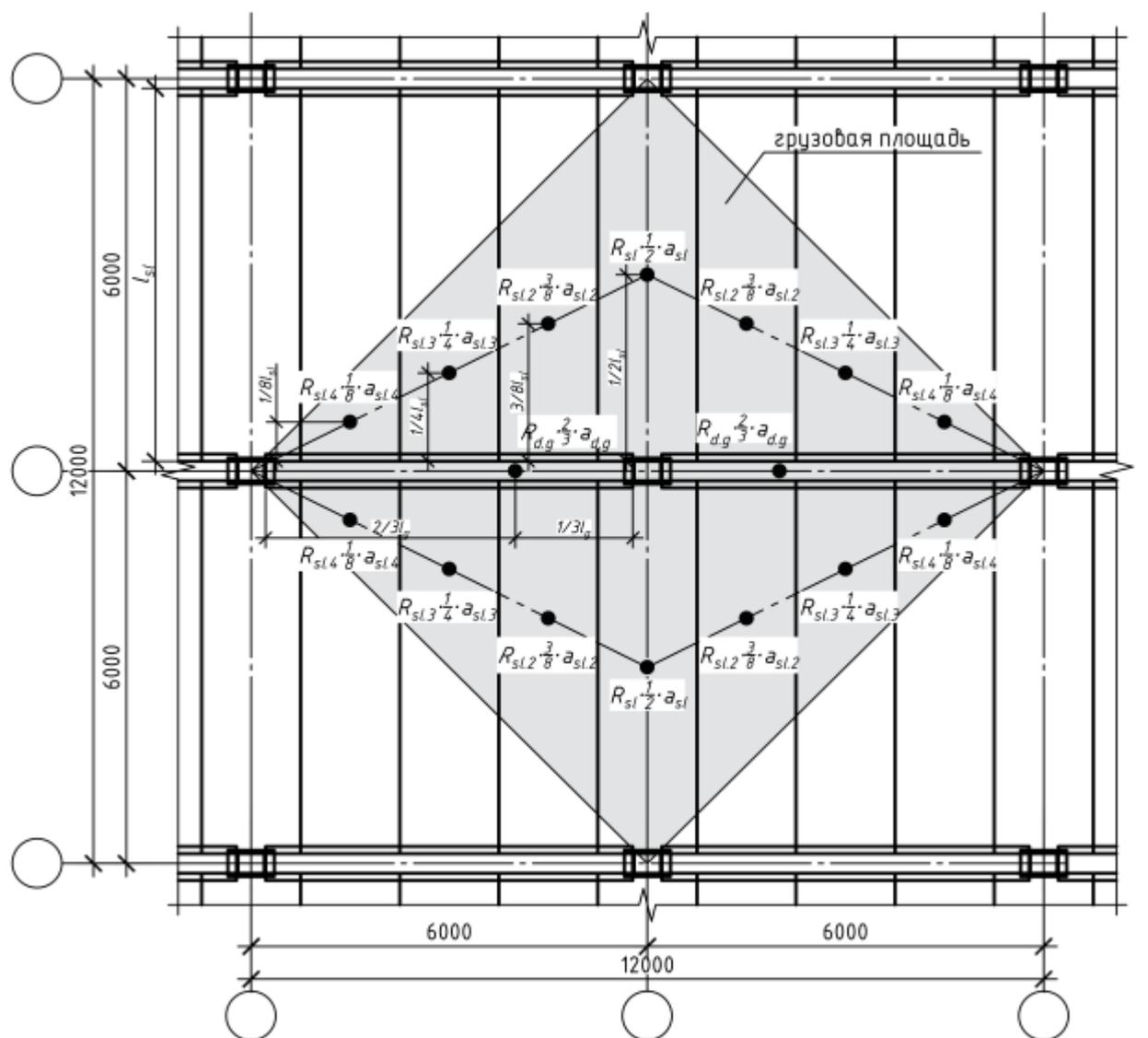


Рисунок 8 – Схема фрагмента перекрытия поврежденной конструктивной системы при сценарии отказа центральной колонны

Таблица 4 – Динамическое сопротивление совместно работающих ригелей, связевых и рядовых плит

Элемент системы	Обозначение	Уравнение динамического сопротивления	Коеф. k	Количество элементов
Ригель	$R_{d.g}$	$\frac{(2 \cdot N_{u.g} \cdot w_{end.u.g} \cdot \xi(w_{end.u.g}))}{k \cdot a_{sl}}$	2/3	2
Связевая плита	$R_{d.sl}$	$\frac{2 \cdot N_{u.sl.i} \cdot w_{end.u.sl.i} \cdot \xi(w_{end.u.sl.i})}{k \cdot a_{sl,i}}$	1/2	2
Рядовая плита	$R_{d.sl.2}$		3/8	4
	$R_{d.sl.3}$		1/4	4
	$R_{d.sl.4}$		1/8	4

Полное динамическое сопротивление для рассматриваемой системы в соответствии с рисунком 8 и таблицей 4 примет вид:

$$R_{dyn.tot} = 2 \cdot R_{d.g} + 2 \cdot R_{d.sl} + 4 \cdot (R_{d.sl.2} + R_{d.sl.3} + R_{d.sl.4}) \quad (17)$$

Тогда величина статического сопротивления рассматриваемой системы составит

$$R_{st.tot} = 2 \cdot R_{dyn.tot} \quad (18)$$

В уравнении (18) использован коэффициент 2. Это объясняется тем, что даже если связевое соединение будет иметь идеально пластическую реакцию, статическое сопротивление цепной системы возрастает практически линейно с возрастанием перемещения a (рисунок 9).

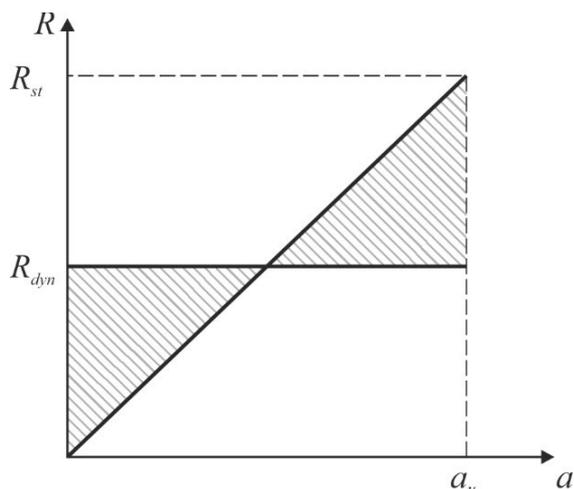


Рисунок 9 – Взаимосвязь квазистатического и динамического сопротивлений при максимальном вертикальном перемещении для цепной системы

2.7 Модель воздействий

При вероятностном моделировании реализацию особого воздействия следует рассматривать как импульс в любой момент времени. Такой импульс имеет очень высокую интенсивность и короткий период действия по сравнению с постоянными G и продолжительными функциональными Q (переменными) нагрузками [10].

Кратковременная часть функциональной нагрузки не учитывается в модели полной нагрузки в произвольный момент времени, так как она также, как и особое воздействие, является импульсом, а вероятность реализации двух импульсов одновременно крайне мала [10]. Длительная составляющая функциональной нагрузки Q описывается как нагрузка в произвольный момент времени [11].

В общем виде [2], [10], [11] вероятностная модель полной нагрузки E , действующей на поврежденную конструктивную систему

сразу после реализации особого события с учетом неопределенности модели воздействий θ_E , может быть записана в виде уравнения (19):

$$E = \theta_E (G + Q). \tag{19}$$

2.8 Анализ надежности в особой расчетной ситуации

2.8.1 Вероятность отказа

Для формирования соответствующих функций состояния $g(X)$ был предварительно выполнен качественный анализ рисков и идентифицированы наиболее репрезентативные формы (механизмы) отказа элементов систем, запроектированных строго согласно требованиям действующих норм [1], [3], [4] (из условия $R_d = E_d$). Условные вероятности отказа для каждой репрезентативной формы (механизма) отказа были определены для всех элементов, интегрированием функции состояния, что формально можно записать:

$$P_f = \text{Prob}\{g(X) \leq 0\} = \int_{g(X) \leq 0} f_X(X) dX. \tag{20}$$

2.8.2 Вероятностные модели базисных переменных

Вероятностные модели базисных переменных, описывающих постоянные G и функциональные Q нагрузки в момент отказа ключевого элемента, приняты в соответствии с [2], [10], [11]. Коэффициент неопределенности модели воздействий и коэффициент неопределенности модели сопротивления в особой расчетной ситуации θ_E и θ_R приняты в соответствии с [11].

Модель сопротивления представлена в виде уравнений энергетического баланса для рассматриваемых поврежденных конструктивных систем, которые учитывают характерные механизмы сопротивления: для сборной перекрытия с системой горизонтальных связей из арматурных стержней класса S240 – мембранные эффекты [6]. Модели базисных переменных характеристик материалов приняты в соответствии с [11]. Геометрические параметры для упрощения приняты в виде детерминированных значений. Принятые вероятностные модели основных базисных переменных представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Принятые вероятностные модели базисных переменных

№	Категория переменных	Наименование базисных переменных	Обозн. X	Ед. изм.	Распределение	Среднее μ_X	Ст. откл. σ_X
1	Воздействия	Постоянная	G	кН/м ²	N	G_k	0,1 μ_G
2		Функциональная – 5 лет	Q	кН/м ²	GU	0,2 Q_k	1,1 μ_Q
3	Прочность материалов	Бетон C30/37	f_c	МПа	LN	38	4,8
4		Предел текучести арматуры S500	f_y	Н/мм ²	LN	560	30
5		Предел текучести арматуры S240	f_y	Н/мм ²	LN	300	30
6	Геометрические размеры	Поперечное сечение Защитн. сл. бетона	b, h, a	мм	det.	–	–
7	Неопределенности модели	Козф. к нагрузкам	θ_E	–	N	1	0,10
8		Козф. к сопротивлению	θ_R	–	N	1	0,05

N – нормальное распределение; LN – логнормальное распределение; GU – распределение Гумбеля; det. – детерминированные значения

2.8.3 Функция состояния

В качестве отклика модели сопротивления R принято предельное динамическое сопротивление поврежденной конструктивной системы на первом полупериоде колебаний в соответствии с положениями энергетического подхода [6].

Вероятности отказа для рассматриваемых поврежденных конструктивных систем в особой расчетной ситуации получены в соответствии со следующей функцией предельного состояния $g(X)$:

$$g(X) = \theta_R \cdot R - \theta_E \cdot (G + Q). \tag{21}$$

Вероятностное моделирование функции предельного состояния выполнено с помощью метода Монте-Карло при количестве симуляций $n = 10^7$.

В таблице 6 представлены результаты определения вероятностей отказа и площадей обрушения в различных расчетных ситуациях для 5-этажного офисного здания, представленного на рисунке 2.

2.9 Модели последствий

Последствия частичного и полного обрушения, вызванного отказом конструктивного элемента для сценария (j) оценивали с использованием модели последствий, предложенной в [5].

Учитывая то обстоятельство, что подходы к оцениванию последствий, приведенные в [5], характеризуются неопределенностями высокого уровня, моделирование последствий отказа в большинстве случаев упрощают, рассматривая только человеческие жертвы, хотя в общем случае согласно [5] следует рассматривать все последствия (экономические, экологические, социальные и т. п.). В соответствии с моделью [5] рассчитывают ожидаемое число потенциальных жертв N_j в зависимости от предполагаемой площади обрушения A_{col} (для зданий класса СС2 по [4] $N_j = 0.27A_{col}^{0.5} - 1 \geq 0$).

Таблица 6 – Условные вероятности отказа по энергетическому подходу и площади обрушения

Расчетная ситуация	$P(g(X)<0)$ $P(C DH)$	Кол-во колонн на этаж	Площадь обрушения A_{col} при удалении колонны n -го этажа, м ²				
			1 эт.	2 эт.	3 эт.	4 эт.	5 эт.
удаление центральной колонны	0.008315	15	720	576	432	288	144
удаление крайней колонны (в направлении ригеля)	0.008315	6	360	288	216	144	72
удаление крайней колонны (в направлении плиты)	0.008315 0.007501	10	360	288	216	144	72
удаление угловой колонны	0.007501	4	180	144	108	72	36

3 Оценивание рисков. Допустимые значения

При установленных значениях вероятности отказа (P_{ij}) и ожидаемом числе потенциальных жертв (N_j), связанных с каждым из сценариев (j), значение социального (группового) риска (R) для отдельной конструктивной системы здания определяют, рассматривая все (n_{sc}) возможные сценарии отказа.

На рисунке 10 приведено графическое представление социального (группового) риска в зависимости от общей (полезной) площади анализируемого здания (A) для всех анализируемых вариантов зданий. Каждая точка графика (см. рисунок 10) представляет собой социальный риск, связанный с отказом одной конструктивной системы и установленный с применением «профиля рисков» [5].

Масштабный эффект, наблюдаемый на рисунке 10, исключает возможность определения приемлемого уровня социального (группового) риска в абсолютном выражении. В связи с этим критерий приемлемости может быть выражен как функция некоторого параметра, учитывающего размер рассматриваемой эталонной системы, например общая площадь-нетто помещений/перекрытий здания A (A_{floor}). На рисунке 10 показаны допустимые годовые значения рисков R_{adm} , представляющих фактически собой ожидаемое число смертельных случаев, связанных с отказом конкретной конструктивной системы в зависимости от площади здания A (A_{floor}). В свою очередь ожидаемое число погибших в результате отказа конкретной конструктивной системы $E(N)$ определяются площадью под соответствующим графиком F - n , что было показано в работе [5].

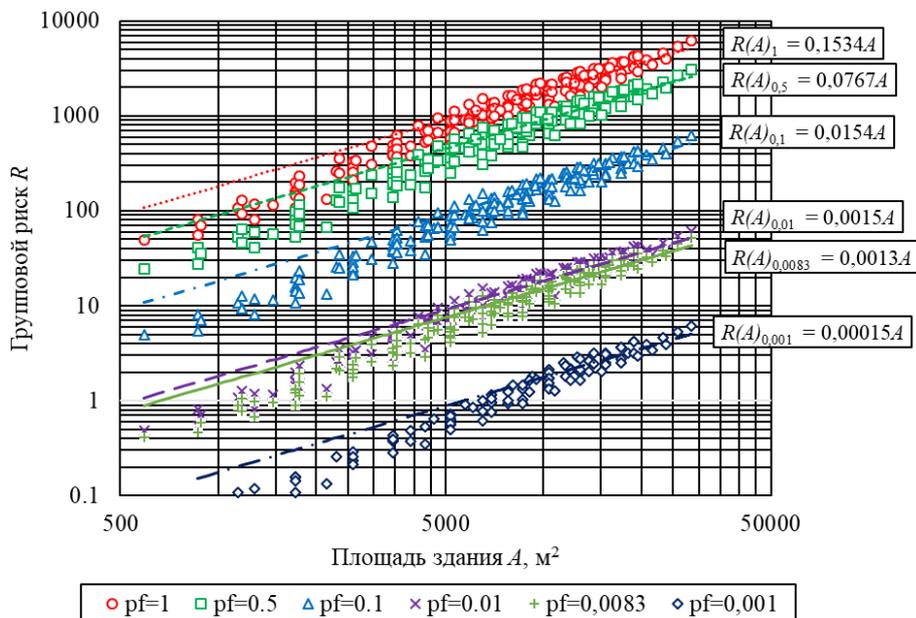


Рисунок 10 – Социальный (групповой) риск (R) в зависимости от общей (полезной) площади анализируемого здания (A)

Как видно из рисунка 10, социальный риск для людей, связанный с конструкционным отказом, изменяется в довольно широких пределах, в том числе в зависимости от масштабного эффекта. Риски, связанные с отказом конструктивных систем, элементы которых запроектированы строго в соответствии с действующими нормами [1], [3], [4], возрастают с увеличением числа форм отказа, числа конструктивных элементов, составляющих систему, сочетаний воздействий, приводящих к отказу элемента, и, как показано на рисунке 10, с увеличением общей площади-нетто здания. Вместе с тем масштабный эффект может быть исключен путём нормализации результатов, т. е. отнесением рисков R_{adm} к общей площади помещений здания A (A_{floor}), как показано на рисунке 11, или общему числу форм отказа (числу сценариев отказа, n_{sc}).

Следует сделать и ещё одну ремарку. Для полученных результатов область между 95 % и 5 % квантилями распределения довольно узкая, что указывает на высокий уровень оптимизации каркаса Б1.020.1. Поэтому при дальнейшем анализе будем опираться на средние значения рисков.

Таким образом, на рисунке 10 представлены годовые значения условного социального (группового) риска (R_{adm}), фактически представляющего собой ожидаемое число смертельных исходов на единицу площади нетто помещений здания A (A_{floor}), которое, в соответствии с принятыми предпосылками, рассматривается как допустимое или приемлемое согласно действующими ТНПА. Следует подчеркнуть, что при вычислении рисков определяли вероятность отказа поврежденной конструктивной системы при различных расчетных сценариях (после удаления крайней, средней, угловой колонн (одной за раз) на i -ом этаже) после реализации особого события (т. е. вероятность реализации особого события в анализе рисков не учитывается). На рисунке 11 показаны значения условного индивидуального риск (R/A), определенного для конструктивной системы после удаления ключевого элемента при реализации определенного сценария, т. е. полученные значения относят к оцениванию рисков при проверках живучести.

Из рисунка 11 следует, что для каркаса Б1.020.1 (запроектированного в соответствии с требованиями живучести) годовое значение условного относительного риска составило $(R/A)_{0,0083} = 1,3 \cdot 10^{-3}$.

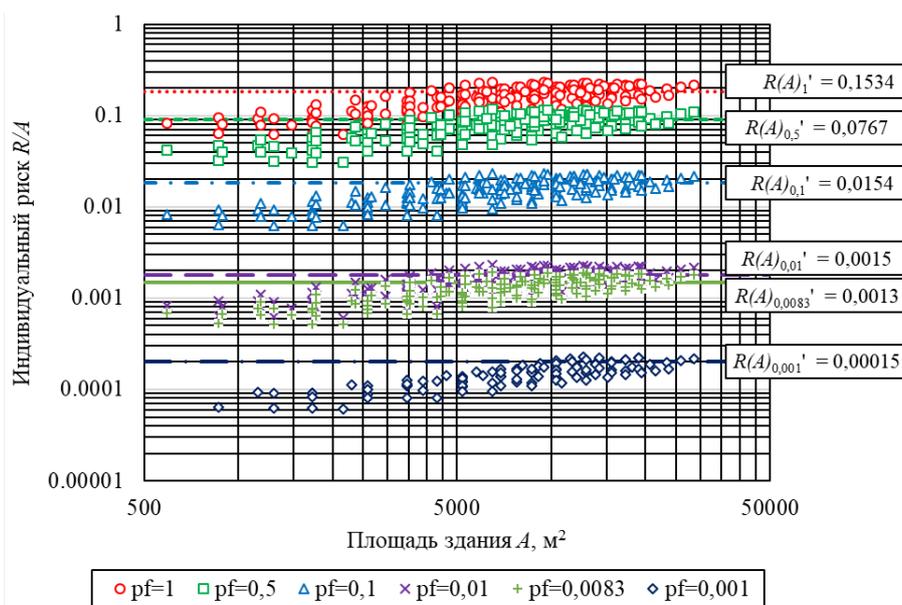


Рисунок 11 – Индивидуальный риск (R/A) в зависимости от общей (полезной) площади анализируемого здания (A)

3.1 Целевые значения индивидуального риска

Учитывая то обстоятельство, что индивидуальный риск, или вероятность того, что данный пользователь здания утратит жизнь в результате его обрушения в течение установленного реферативного периода времени (T_{ref}), не зависит от площади нетто здания и площади обрушения (масштабного фактора), он может быть определен путем умножения относительного риска (R/A) на коэффициент заполнения или норму площади, приходящейся на одного человека ($\mu_{A,i}$). Норма площади зависит от назначения здания и категории нагрузочных площадей согласно СН 2.01.03 [12] и может изменяться в широких пределах (от 0.5 м²/чел в зданиях с большим скоплением людей до 10 м²/чел для жилых зданий).

Допустимое значение индивидуального годового риска ($T_{ref} = 1$ год) с учетом коэффициента заполнения $\mu_{A,i} = 10$ м²/чел для анализируемого каркаса класса СС2 составило

$$r_{iR,adm} \cong \left(\frac{R}{A}\right)_{1y} \cdot \mu_{A,i} = 1.3 \cdot 10^{-3} \cdot 10 = 1.3 \cdot 10^{-2}. \quad (22)$$

Коэффициент заполнения для зданий класса СС3 – $\mu_{A,i} = 3$ м²/чел.

В свою очередь допустимая вероятность отказа $P_{f,adm,iR}$ может быть получена из зависимостей (23)–(24) путем подстановки условной вероятности того, что человек, находящийся в здании попадает в область обрушения ($P(d|f)$). Значение условной вероятности $P(d|f)$ в первом приближении может быть принято согласно [5] для класса СС2 равным 0.05, а для класса СС3 – 0.2.

Тогда допустимая вероятность отказа поврежденной системы, определенная из годового значения индивидуального риска, составит:

$$P_{f,adm,iR} \leq \frac{r_{iR,adm}}{P(d|f)} = \frac{1.3 \cdot 10^{-3} \cdot 10}{0.05} = 0.26 \leq 1 \quad (23)$$

для класса СС2;

$$P_{f,adm,iR} \leq \frac{r_{iR,adm}}{P(d|f)} = \frac{1.3 \cdot 10^{-3} \cdot 3}{0.2} = 0.02 \leq 1 \quad (24)$$

для класса СС3.

Допустимой условной вероятности отказа поврежденной системы класса СС2 $P_{f,tag,iR} = 0.26$ соответствует индекс надежности $\beta = 0.6$, а для класса СС3 – $\beta = 2.1$. Полученные меры надежности могут служить основой для последовательной калибровки частных /

глобальных коэффициентов, используемых в расчетных моделях сопротивлений и эффектов воздействий полувероятностного метода проверки живучести.

Для модифицированной (поврежденной) конструктивной системы значения условных вероятностей отказа $P_{f,tag|EX,iR}$ определенных на основе условного индивидуального риска в ряде случаев могут превысить единицу, в частности при пересчете на 50-летний реферативный период (например для класса СС2 произведение $P_{f,tag,iR} \times T_{ref} = 0.26 \times 50 = 13$, но не более 1). Подобные решения получены в работе [5]. Это означает, что индивидуальные риски не являются решающими для определения целевой условной вероятности отказа конструктивных систем в особых расчетных ситуациях. В более широком смысле этот вывод согласуется с «философией» действующих норм проектирования конструктивных систем в особых расчетных ситуациях, в которых, как было показано ранее, утверждается, что проектирование конструктивных систем в особых расчетных ситуациях должно быть, в первую очередь, направлено на предотвращение событий обрушения с непропорционально большими последствиями [1], [3]. В соответствии с этим общим подходом к проектированию социальный (групповой) риск оказывается значимым для определения условной целевой надежности элемента при реализации угрозы и последующем особом воздействии.

3.2 Целевые значения социального (группового) риска

Функция «F-n», применяемая для представления социального (группового) риска согласно ISO 2394 [2] довольно точно описывается зависимостью между годовой частотой (вероятностью) появления события с числом $n \geq N$ жертв и числом жертв N. Математическое описание кривой «F-n» представлено в ISO 2394 [2] в виде:

$$F(n) \leq A \cdot n^{-\alpha}, \quad (25)$$

где α – коэффициент, посредством которого выражают общественное отрицание (неприятие) событий, приводящих к большому числу жертв ($\alpha = 2$);

$A = F(1)$ – константа, представляющая собой частоту появления события с $N \geq 1$ жертвой. Как правило, значение A должно соответствовать системе отсчета для которой применяют «F-n» критерий.

Согласно [2] для исключения принятия нерациональных решений, параметры критерия «F-n» должны соответствовать ожидаемому числу жертв $E(n)$, определяемому по формуле (26):

$$E(n) \cong F(1) \cdot \frac{\alpha}{\alpha - 1}. \quad (26)$$

Из-за вышеупомянутого масштабного эффекта большее число анализируемых сценариев опасности n_j , связанных с конкретной конструктивной системой, в конечном итоге приводит к сравнительно более высоким неявно приемлемым рискам R_{adm} .

Если в выражении (26) число жертв $E(N)$ заменить на R_{adm} , годовая целевая кумулятивная частота возникновения событий обрушения конструкций с $N \geq 1$ смертельным исходом, $F(1)_{tag}$, может быть выведена как функция площади-нетто помещения A :

$$F(1)_{tag} = (R_{adm} / A) \cdot \frac{\alpha}{\alpha - 1} \quad (27)$$

При этом определяется размер эталонной системы, связанной с заданными критериями « $F-n$ ». Для рассматриваемых условий, когда константа $F(1)_{tag} = 0.65 \times 10^{-4}$ /год и показатель неприятия риска α , принятый равным $\alpha = 2$ в соответствии с [5], [13], критерии приемлемости « $F-n$ » определяются согласно уравнению (25). Эта процедура позволяет избежать возможных противоречий в ожидаемом количестве погибших и, следовательно, обеспечивает полную согласованность критериев приемлемости/допустимости, рассчитанных для индивидуальных и социальных рисков. Полученный критерий социального (группового) риска « $F(n)-n$ » для поврежденной конструктивной системы после вынужденного удаления ключевого элемента показан на рисунке 12.

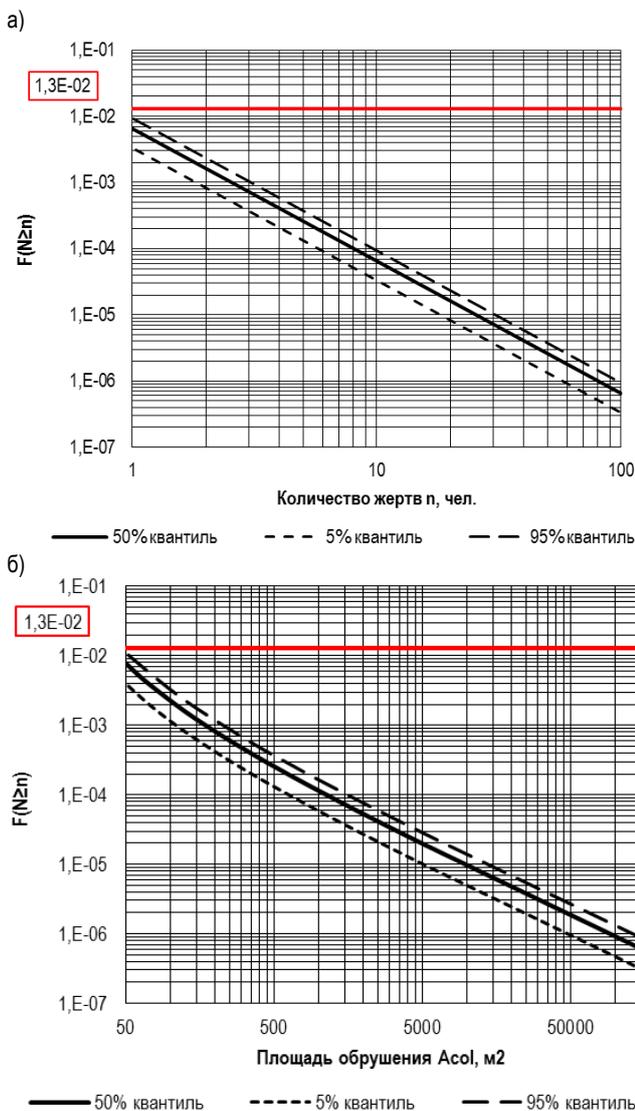


Рисунок 12 – Критерий « $F-n$ » по формуле (23), построенный в зависимости от ожидаемого числа жертв (а) и площади обрушения A_{col} (б)

С практической точки зрения при применении этого критерия конструктивная система трансформируется до одного элемента. Это соответствует частоте появления события с $N \geq 1$ жертвой (константа A) и может быть затем преобразована в допустимую вероятность отказа $P_{f,tag,SR}$, базируясь на групповом риске:

$$P_{f,tag,SR} = \frac{A \cdot n^{-\alpha}}{P(N|f)} \leq 1. \quad (28)$$

Критериальная зависимость вероятности отказа $P_{f,tag,SR}$ от предполагаемой площади обрушения A_{col} для поврежденной конструктивной системы с удаленным ключевым элементом, построенная по формуле (28), показана на рисунке 13.

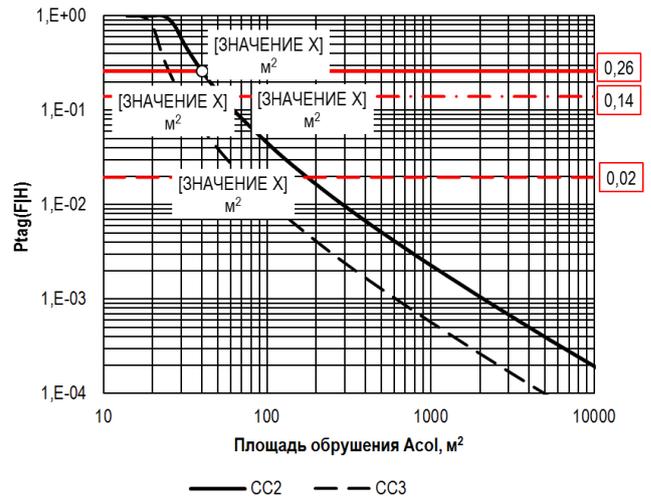


Рисунок 13 – Критериальная зависимость « $P_{f,tag,SR}-A_{col}$ » по ф.(28) для поврежденной конструктивной системы

Зависимость индекса надёжности $\beta_{tag,SR}$ от площади обрушения A_{col} , полученная из условия ограничения социального (группового) риска, показана на рисунке 14.

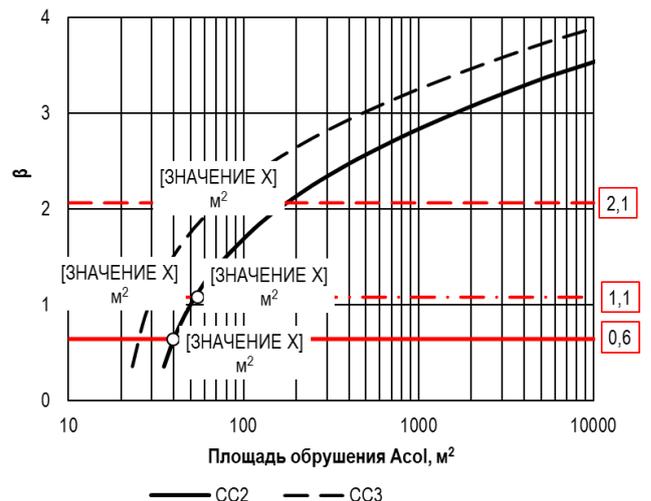


Рисунок 14 – Зависимость индекса надёжности $\beta_{tag,SR}$ от площади обрушения A_{col} , полученная из условия ограничения социального (группового) риска – формула (28)

Как видно из графического представления результатов расчётов, показанного на рисунках 13 и 14, для класса CC2 в случае, когда площадь обрушения не превышает $A_{col} \leq 40$ м², в качестве целевой меры надёжности может быть принята вероятность отказа, определенная по ф.(21) из целевого значения индивидуального риска. Ана-

логично для класса СС3 целевые значения вероятности отказа могут быть установлены на основании индивидуального риска $\Phi \cdot (22)$ при площади обрушения $A_{col} \leq 70 \text{ м}^2$. Для больших площадей обрушения

при определении целевых мер надёжности следует пользоваться критериальными зависимостями для социального риска, как это показано в таблице 7.

Таблица 7 – Целевые значения индексов надёжности $\beta_{tag,acc}$ при проверках живучести поврежденной системы

Индекс	Класс последствий по СН 2.01.01	
	СС2	СС3
$\beta_{tag,acc}$	$A_{col} > 40 \text{ м}^2$ $-\Phi^{-1} \left[\frac{0.65 \cdot 10^{-4} \cdot (0.27 \cdot A_{col}^{0.565})^{-2}}{0.05} \cdot t_{ref} \right]$	$A_{col} > 70 \text{ м}^2$ $-\Phi^{-1} \left[\frac{0.65 \cdot 10^{-4} \cdot (0.58 \cdot A_{col}^{0.565})^{-2}}{0.2} \cdot t_{ref} \right]$
	$A_{col} \leq 40 \text{ м}^2$ $-\Phi^{-1} [1.3 \cdot 10^{-2} \cdot t_{ref}]$	$A_{col} \leq 70 \text{ м}^2$ $-\Phi^{-1} [1.3 \cdot 10^{-2} \cdot t_{ref}]$

Примечание: t_{ref} – реферативный период

Полученные результаты также могут быть использованы для определения критериев приемлемости риска в рамках подхода «насколько низкий, насколько это практически осуществимо» (ALARP) [14]. В рамках этого подхода риски, превышающие те, которые определяются 95-процентными квантилями (или средними значениями рисков), могут рассматриваться как *недопустимые*, а риски ниже, чем средние значения (или 5-процентные квантили), как *приемлемые* без ограничений (рисунок 12). Риски между этими двумя пределами будут приемлемыми только в том случае, если их снижение невозможно или стоимость необходимых мер явно непропорциональна достигнутому улучшению [13].

На рисунке 15 представлены графики целевых значений индексов надёжности $\beta_{tag,acc}$ от площади обрушения A_{col} , определенные по критериальным зависимостям в таблице 7.

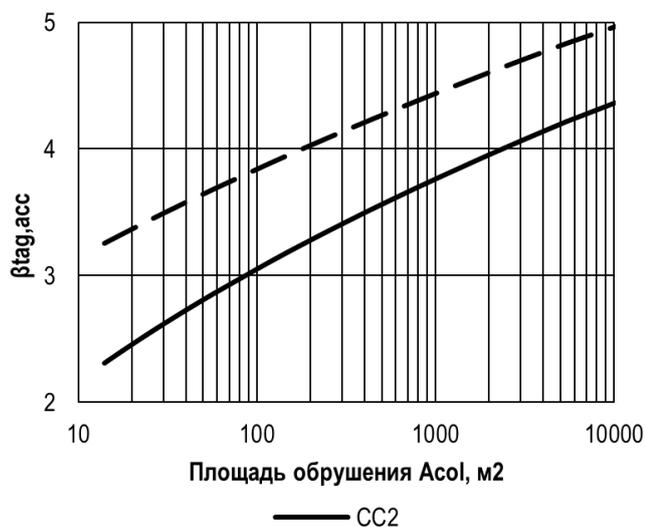


Рисунок 15 – Зависимость $\beta_{tag,acc}$ от A_{col}

4 Выводы

Принятие обоснованного решения о критерии группового риска находится в компетенции органов государственного управления на национальном уровне. Полагаясь на результаты выполненного исследования для поврежденной конструктивной системы при проверках живучести, можно принять данное значение параметра $F(1)_{tag} = 0.65 \times 10^{-4} / \text{год}$ для применения в национальной практике при назначении допустимых мер надёжности, основываясь на требованиях социального риска. Анализ полученных в работе зависимостей позволяет утверждать, что при прогнозируемых площадях обрушения до 40 м^2 (СС2) и 70 м^2 (СС3) надёжность конструктивной систе-

мы обеспечивается требованиями, строящимися на индивидуальном риске, а при больших площадях обрушения требования устанавливаются для особой расчётной ситуации, основываясь на критериальных зависимостях для социального (группового) риска.

Благодарности: «Исследование выполнено в рамках отдельного проекта научно-исследовательской работы Министерства образования Республики Беларусь «Разработка методики установления допустимых значений мер надёжности в критериях живучести поврежденных конструктивных систем из железобетона, применяемых при проверках их устойчивости к прогрессирующему обрушению от чрезвычайных воздействий» (№ гос. регистрации 20231582)».

Список цитированных источников

1. ТКП EN 1991-1-7-2009. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. – Часть 1–7. Общие воздействия. Особые воздействия. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2010. – 66 с.
2. Надёжность строительных конструкций. Общие принципы : СТБ ISO 2394-2007. – Минск : Госстандарт Республики Беларусь, 2007. – 69 с.
3. Бетонные и железобетонные конструкции : СП 5.03.01-2020. – Минск, 2020. – 224 с.
4. Основы проектирования строительных конструкций : СН 2.01.01-2022. – Минск, 2022. – 65 с.
5. Hingorani, R. Acceptable life safety risks associated with the effects of gas explosions on reinforced concrete structures : thesis / R. Hingorani. – Caminos, 2017. – <http://dx.doi.org/10.20868/UPM.thesis.47772>.
6. Тур, В. В. Проверка живучести конструктивных систем из сборного железобетона по методу энергетического баланса / В. В. Тур, А. В. Тур, А. А. Лизогуб // Вестник МГСУ. – 2021. – Т. 16. – №. 8. – С. 1015–1033. – <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2021.8.1015-1033>.
7. fib Bulletin No. 43: Structural connections for precast concrete buildings. Guide to good practice. – 2008. – 370 p. – <https://doi.org/10.35789/fib.BULL.0043>.
8. fib Bulletin No. 72. Bond and anchorage of embedded reinforcement: Background to the fib Model Code for Concrete Structures 2010: Technical report / International Federation for Structural Concrete. – 2014. – 370 p. – <https://doi.org/10.35789/fib.BULL.0072>.
9. fib Model Code for Concrete Structures 2010 / International Federation for Structural Concrete (fib). – 2013. – 402 p. – <https://doi.org/10.1002/9783433604090>.
10. Combinations of actions for accidental design situation: a review, analysis, and propositions / V. V. Tur [et al.] // Inżynieria Bezpieczeństwa Obiektów Antropogenicznych. – 2020. – № 3. – P. 173–197.
11. Holický, M. Introduction to probability and statistics for engineers / M. Holický. – Springer Science & Business Media, 2013.

12. Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Воздействия для определения огнестойкости : СН 2.01.03-2019. – Минск, 2020. – 43 с.
 13. Tanner, P. Acceptable risks to persons associated with building structures / P. Tanner, R. Hingorani // Structural Concrete. – 2015. – Vol. 16, No. 3. – P. 314–322.
 14. Diamantidis, D. Background Documents on Risk Assessment in Engineering Document 3 Risk Acceptance Criteria / D. Diamantidis // Joint Committee on Structural Safety. – 2008. – P. 2–13.
 7. fib Bulletin No. 43: Structural connections for precast concrete buildings. Guide to good practice. – 2008. – 370 p. – <https://doi.org/10.35789/fib.BULL.0043>.
 8. fib Bulletin No. 72. Bond and anchorage of embedded reinforcement: Background to the fib Model Code for Concrete Structures 2010: Technical report / International Federation for Structural Concrete. – 2014. – 370 p. – <https://doi.org/10.35789/fib.BULL.0072>.
 9. fib Model Code for Concrete Structures 2010 / International Federation for Structural Concrete (fib). – 2013. – 402 p. – <https://doi.org/10.1002/9783433604090>.
 10. Combinations of actions for accidental design situation: a review, analysis, and propositions / V. V. Tur [et al.] // Inżynieria Bezpieczeństwa Obiektów Antropogenicznych. – 2020. – № 3. – P. 173–197.
 11. Holický, M. Introduction to probability and statistics for engineers / M. Holický. – Springer Science & Business Media, 2013.
 12. Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Воздействия для определения огнестойкости : СН 2.01.03-2019. – Минск, 2020. – 43 с.
 13. Tanner, P. Acceptable risks to persons associated with building structures / P. Tanner, R. Hingorani // Structural Concrete. – 2015. – Vol. 16, No. 3. – P. 314–322.
 14. Diamantidis, D. Background Documents on Risk Assessment in Engineering Document 3 Risk Acceptance Criteria / D. Diamantidis // Joint Committee on Structural Safety. – 2008. – P. 2–13.
- References**
1. ТКР EN 1991-1-7-2009. Evrokod 1. Воздействия на конструкции. – Част' 1–7. Общчье воздействия. Особые воздействия. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2010. – 66 с.
 2. Надежность строител'ных конструкций. Общчье принципы : СТБ ISO 2394-2007. – Минск : Gosstandart Respubliki Belarus', 2007. – 69 с.
 3. Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii : SP 5.03.01-2020. – Минск, 2020. – 224 с.
 4. Osnovy proektirovaniya stroitel'nyh konstrukcij : SN 2.01.01-2022. – Минск, 2022. – 65 с.
 5. Hingorani, R. Acceptable life safety risks associated with the effects of gas explosions on reinforced concrete structures : thesis / R. Hingorani. – Caminos, 2017. – <http://dx.doi.org/10.20868/UPM.thesis.47772>.
 6. Tur, V. V. Proverka zhivuchesti konstruktivnyh sistem iz sbornogo zhelezobetona po metodu energeticheskogo balansa / V. V. Tur, A. V. Tur, A. A. Lizogub // Vestnik MGSU. – 2021. – Т. 16. – №. 8. – S. 1015–1033. – <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2021.8.1015-1033>.
- Материал поступил 20.06.2024, одобрен 10.07.2024, принят к публикации 10.07.2024*

ДИАГРАММНЫЙ ПОДХОД ПРИ РАСЧЕТЕ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО СП 5.05.01-2021

Д. Н. Лазовский¹, А. И. Гиль², Д. О. Глухов³

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

³ К. т. н., доцент кафедры строительных конструкций УО «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой», Новополоцк, Беларусь, e-mail: a.hil@psu.by

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

Реферат

Приводится методика расчета прочности и деформаций деревянных конструкций, включая составные из различных древесных материалов с жесткой связью между ними, с учетом нелинейности их работы под нагрузкой (расчет второго порядка с перераспределением усилий между материалами в поперечном сечении по СП 5.05.01 [1]) с использованием их диаграмм деформирования при сжатии и растяжении вдоль волокон. На основе диаграммного подхода предложена методика расчета прочности контактного шва между различными древесными материалами. Применимость предлагаемых методик к расчету деревянных конструкций продемонстрирована на примерах.

Ключевые слова: деревянные конструкции, диаграммы деформирования, прочность, деформации, контактный шов.

DIAGRAM APPROACH IN CALCULATING WOODEN DESIGN FOR SP 5.05.01-2021

D. N. Lazouski, A. I. Hil, D. O. Gluhov

Abstract

A method is presented for calculating the strength and deformation of wooden structures, including those made of various wood materials with a rigid connection between them, taking into account the nonlinearity of their work under load (second-order calculation with redistribution of forces between materials in the cross section according to SP 5.05.01 [1]) using their diagrams deformation under compression and tension. Based on the diagrammatic approach, a method for calculating the strength of a contact seam between various wood materials is proposed. The applicability of the proposed methods to the calculation of wooden structures is demonstrated using examples.

Keywords: wooden structures, strain diagrams, strength, deformations, contact seam.

Введение

Нормативные документы, регламентирующие правила проектирования строительных конструкций, – это своего рода двери из науки в практику. С бурным развитием информационных технологий и компьютерной техники задачи, которые объективно были нерешаемы или нецелесообразны на предыдущем этапе развития строительной науки, становятся осуществимыми.

Одним из путей развития теории строительных конструкций, который теоретически развивался длительное время (более полувека) и теперь стал реальным, является деформационный подход к их расчету. Наибольший эффект от его применения, с точки зрения простоты, точности, физической обоснованности, снижения зависимости от большого количества эмпирических коэффициентов, достигается для комбинированных строительных конструкций, состоящих из материалов с различными физико-механическими характеристиками, с анизотропными свойствами, нелинейностью, сложным напряжено-деформированным состоянием (косой изгиб, косое внецентренное сжатие и растяжение).

Для большинства видов конструкций деформационный подход прочно вошел в строительную науку и практику, а также в нормативные документы многих стран, в том числе Республики Беларусь, по проектированию железобетонных [1–8] и сталежелезобетонных [9–23], каменных и армокаменных [24–25], стальных [26–27] конструкций, конструкций с использованием современных композитных материалов.

Деформационный подход основан на методе сечений строительных конструкций, в котором их расчетные поперечные сечения произвольной формы условно разбиваются на элементарные площадки, работающие при различных силовых воздействиях на конструкции как при центральном «сжатии-растяжении» в соответствии с диаграммами деформирования их материалов в координатах «деформация-напряжения». Распределение относительных деформаций по поперечному сечению конструкций подчиняется гипотезе плоских сечений в различных постановках: например, стальные конструкции – для любо-

го поперечного сечения; железобетонные – для осредненного поперечного сечения на длине участка, включающего сечения с трещинами нормального отрыва и между трещинами. Аппроксимируя диаграммы деформирования материалов, принимая линейное распределение относительных деформаций по поперечному сечению конструкции, на любой стадии работы под нагрузкой определяют распределение нормальных напряжений в элементарных площадках, которые находятся в статическом равновесии с продольными силами и изгибающими моментами от внешних воздействий. В результате диаграммного расчета получают параметры напряженно-деформированного состояния (относительные деформации, нормальные напряжения) в любом месте поперечного сечения (и как производную – кривизну изгиба конструкции в расчетном поперечном сечении) на любой стадии деформирования конструкции.

Древесина – природный строительный материал с многими положительными качествами (высокая прочность при малом объемном весе, стойкость к агрессивной химической среде, легкая обрабатываемость, низкая теплопроводность, экологичность). Разработка прочных синтетических клеев, аналогично сварке в металлических конструкциях, расширили применение деревянных конструкций в качестве несущих, увеличив пролеты стропильных систем одноэтажных зданий, размеры сетки колонн каркасных многоэтажных зданий, появились новые конструктивные схемы панельных многоэтажных зданий из многослойной клееной древесины. С конструктивной точки зрения, древесина – анизотропный материал, который при сжатии проявляет нелинейные свойства, при длительном силовом воздействии высокого уровня – снижение прочностных показателей и развитие во времени деформаций ползучести.

Цель настоящей работы – попытаться показать преимущества диаграммного подхода к расчету деревянных конструкций в рамках СП 5.05.01-2021 «Деревянные конструкции» [1], используя примеры расчета, приведенные в СП 5.05.02-2023 «Деревянные конструкции. Правила расчета» [28].

Диаграммы деформирования древесины

В научной литературе встречаются предложения различных аппроксимации диаграммы деформирования древесины при сжатии вдоль волокон [29–33]. С целью унификации предлагается аппроксимация диаграммы деформирования древесины при кратковременном одноосном сжатии вдоль волокон в виде параболы, моделирующей аналогичную работу других конструкционных строительных материалов [2, 34, 35], где зависимость между напряжениями σ_{c0} и относительными деформациями ε_{c0} при кратковременном сжатии имеет вид (рисунок 1а):

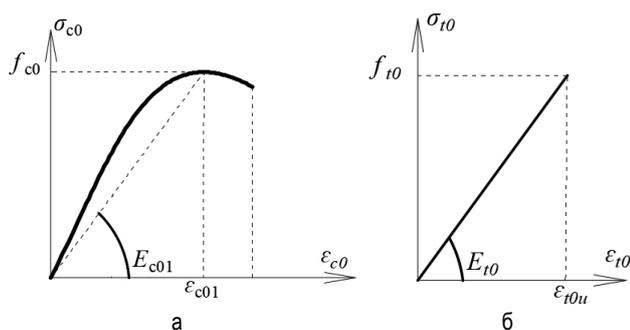
$$\frac{\sigma_{c0}}{f_{c0}} = \left(\frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k-2)\eta} \right) \text{ для } |\varepsilon_{c0}| < |\varepsilon_{c0u}|, \quad (1)$$

где $\eta = \varepsilon_{c0}/\varepsilon_{c01}$; k – коэффициент пластичности, $k = E_{c0}/E_{c01}$; ε_{c01} – относительные деформации древесины в точке максимального сжимающего напряжения; $E_{c01} = \sigma_{c01}/\varepsilon_{c01}$ – модуль деформаций, МПа.

Для аппроксимации диаграммы деформирования древесины при растяжении вдоль волокон используется линейная функция, проходящая через точку предельной прочности древесины при растяжении f_{t0u} и соответствующих ей предельных относительных деформации ε_{t0u} (рисунок 1б):

$$\sigma_{t0} = \varepsilon_{t0} E_{t0}, \quad (2)$$

где ε_{t0} – относительные деформации древесины при растяжении вдоль волокон; E_{t0} – модуль упругости древесины при растяжении вдоль волокон, Н/мм².



а – сжатии; б – растяжении

Рисунок 1 – Расчетные диаграммы деформирования древесины при кратковременном одноосном

Диаграммный подход к расчету деревянных конструкций

В общем случае силового воздействия для деревянных элементов система уравнений равновесия и совместности деформаций имеет вид:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \sigma_{w,i} A_{w,i} (x_0 - x_{w,i}) - M_x = 0; \\ \sum_{i=1}^n \sigma_{w,i} A_{w,i} (y_0 - y_{w,i}) - M_y = 0; \\ \sum_{i=1}^n \sigma_{w,i} A_{w,i} - N = 0; \\ \varepsilon_{w,i} = \frac{1}{r_x} (x_0 - x_{w,i}) + \frac{1}{r_y} (y_0 - y_{w,i}) + \frac{N}{\sum_{i=1}^n E_{w,i} A_{w,i}}; \\ \sigma_{w,i} = f(\varepsilon_{w,i}), \end{cases} \quad (3)$$

где $\sigma_{w,i}$, $\varepsilon_{w,i}$ – соответственно нормальные напряжения и относительные деформации в i -й элементарной площадке деревянного элемента; $A_{w,i}$, $y_{w,i}$ ($x_{w,i}$) – соответственно площадь поперечного сечения и расстояние от выбранных осей до центра тяжести i -й элементарной площадки; $1/r_x$ ($1/r_y$) – кривизна изгибаемого элемента в рассматриваемом поперечном сечении; y_0 (x_0) – расстояние от выбранной оси до центра тяжести рассматриваемого поперечного сечения.

Критерием образования трещин нормального отрыва является достижение древесиной элементарной площадки расчетного поперечного сечения предельных относительных деформаций при растяжении вдоль волокон. В этом случае данная элементарная площадка исключается из расчета.

Критерием разрушения деревянного элемента будет являться достижение предельных значений внутренних усилий (N , M_x , M_y) от внешних воздействий, при которых выполняются условия равновесия в системе (3). Данный критерий в полной мере позволяет учитывать нелинейную работу древесины при сжатии вдоль волокон.

Изгибающий момент при косом изгибе или косом внецентренном сжатии будет равен векторной сумме осевых составляющих:

$$M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}. \quad (4)$$

В общем случае нагружения прогиб u_0 деревянного элемента расчетным расстоянием между опорами l_0 по максимальным значениям кривизны в плоскости осей x и y (α_k – коэффициент, зависящий от схемы распределения нагрузки) будет вычисляться по формуле:

$$u_{0x(y)} = \alpha_k \cdot \left(\frac{1}{r} \right)_{x(y)} \cdot l_0^2. \quad (5)$$

Расчетное значение прогиба при косом изгибе будет равно:

$$u_0 = \sqrt{u_x^2 + u_y^2}. \quad (6)$$

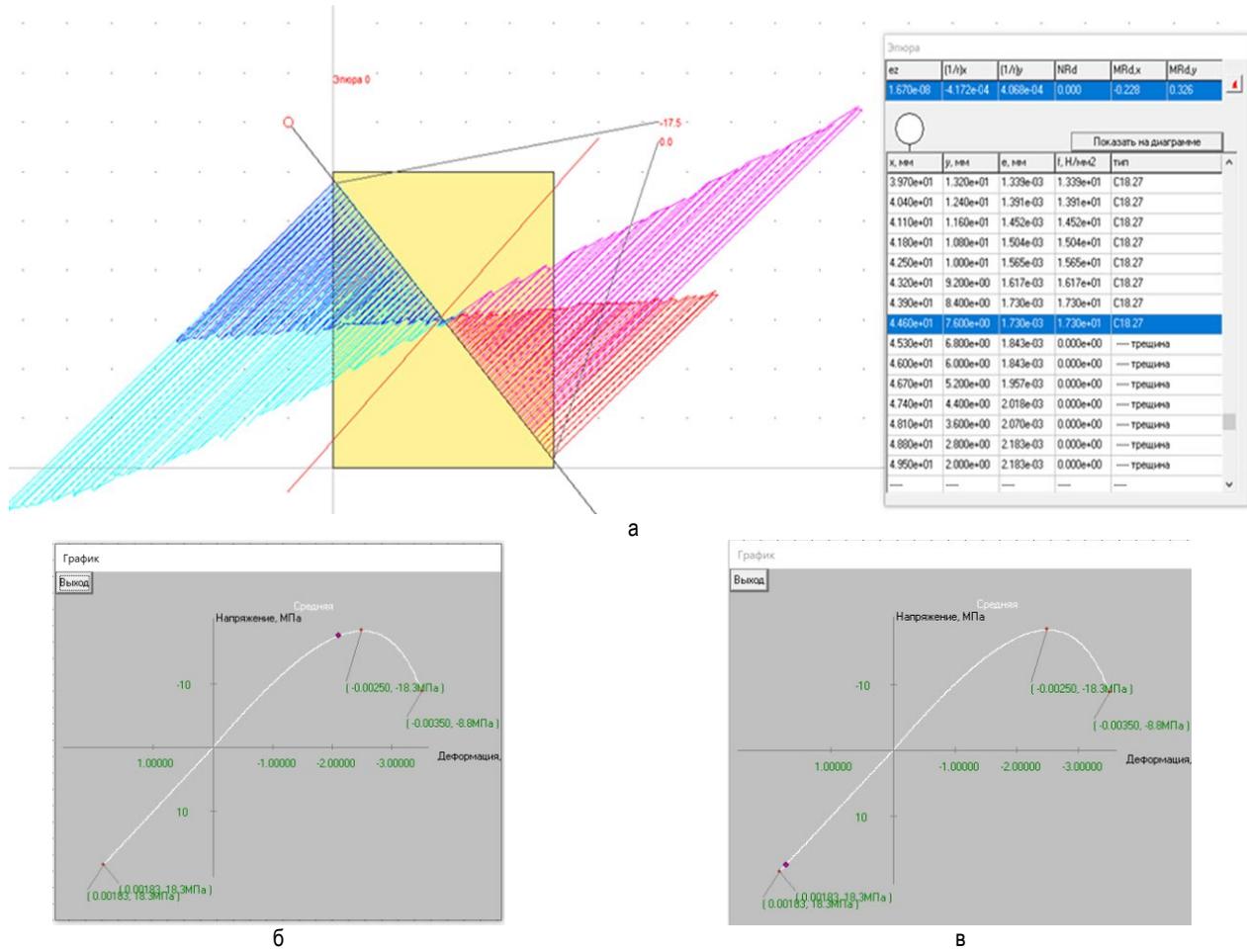
Расчет обрешетки

Рассмотрим пример расчета косоизгибаемой деревянной обрешетки кровли с уклоном 35° к горизонту и расстоянием между опорами $l_0 = 1200$ мм (п. 7.2.13 [28]). Размеры поперечного сечения бруска обрешетки приняты $b \times h = 50 \times 60$ мм. Изгибающие моменты от внешних воздействий для двух комбинаций нагружения равны: $M_{Ed,y,I} = 0,097$ кН·м; $M_{Ed,x,I} = 0,068$ кН·м; $M_{Ed,y,II} = 0,311$ кН·м; $M_{Ed,x,II} = 0,218$ кН·м ($M_{Ed,I} = 0,118$ кН·м; $M_{Ed,II} = 0,38$ кН·м). Среднее значение модуля упругости вдоль волокон древесины – $E_{0,mean} = 10000$ МПа (таблица 6.2 [1]). Расчетные значения сопротивления древесины изгибаемого бруска при сжатии и растяжении для двух комбинаций с учетом меньшего значения коэффициента (косоизгибаемая обрешетка работает преимущественно в направлении большей стороны), учитывающего изменение прочности древесины в зависимости от отношения стандартной высоты сечения к фактической высоте $k_h = 1,2$: $f_{c,d,I} = f_{t,d,I} = 16,25$ МПа; $f_{c,d,II} = f_{t,d,II} = 18,27$ МПа.

Результаты расчета прочности косоизгибаемой деревянной обрешетки кровли по деформационной модели следующие: $M_{Rd,y,I} = 0,286$ кН·м; $M_{Rd,x,I} = 0,199$ кН·м; $M_{Rd,y,II} = 0,311$ кН·м; $M_{Rd,x,II} = 0,218$ кН·м, что соответствует векторной сумме изгибающих моментов $M_{Rd,I} = 0,348$ кН·м; $M_{Rd,II} = 0,398$ кН·м. Условие прочности выполняется с коэффициентами запаса прочности для двух комбинаций нагружения: $k_I = 0,348/0,118 = 2,95$; $k_{II} = 0,398/0,38 = 1,05$.

Распределение относительных деформаций и нормальных напряжений по поперечному сечению обрешетки для второй комбинации нагружения представлено на рисунке 2. На диаграммах деформирования точками обозначены относительные деформации и нормальные напряжения в наиболее нагруженных элементарных площадках в сжатой и растянутой зонах. Расчет косоизгибаемой деревянной обрешетки показывает, что его разрушение происходит плавно и начинается в растянутой зоне с разрыва наиболее растянутых волокон древесины и образованием трещин нормального отрыва при изгибающих моментах $M_{cr,y,II} = 0,302$ кН·м; $M_{cr,x,II} = 0,212$ кН·м с последующим увеличением воспринимаемого усилия.

Начальный прогиб косоизгибаемой обрешетки для характеристических значений первой комбинации действующих нагрузок $M_{E_k,y,I} = 0,066$ кН·м; $M_{E_k,x,I} = 0,046$ кН·м вычисляем по формулам (7) и (8), исходя из осевых кривизн, полученных из расчета по деформационной модели при $E_{0,mean} = 9500$ МПа: $(1/r)_{x,inst} = 7,061 \cdot 10^{-5}$; $(1/r)_{y,inst} = 7,046 \cdot 10^{-5}$ (коэффициент $\alpha_k = 2,13/384$): $u_{x,inst} = 0,56$ мм; $u_{y,inst} = 0,55$ мм; $u_{inst} = 0,78$ мм. Для вычисления прогиба от ползучести древесины при действии постоянной нагрузки (соответствующие $M_{E_k,y,q,I} = 0,013$ кН·м; $M_{E_k,x,q,I} = 0,009$ кН·м) выполняем расчет для получения осевых кривизн: $(1/r)_{x,q,inst} = 1,37 \cdot 10^{-5}$; $(1/r)_{y,q,inst} = 1,366 \cdot 10^{-5}$. Начальный прогиб обрешетки от постоянной нагрузки $u_{q,inst} = 0,15$ мм. Тогда прогиб от действия ползучести древесины ($k_{def} = 0,6$) составляет: $u_{q,crep} = u_{q,inst} \cdot k_{def} = 0,15 \cdot 0,6 = 0,09$ мм. Полный прогиб с учетом ползучести древесины равен $u_{Ed} = u_{inst} + u_{q,crep} = 0,78 + 0,09 = 0,87$ мм < $u_{Cd} = (1/150) \cdot l_0 = (1/150) \cdot 1200 = 8$ мм – предельное состояние эксплуатационной пригодности обрешетки по прогибам обеспечивается.

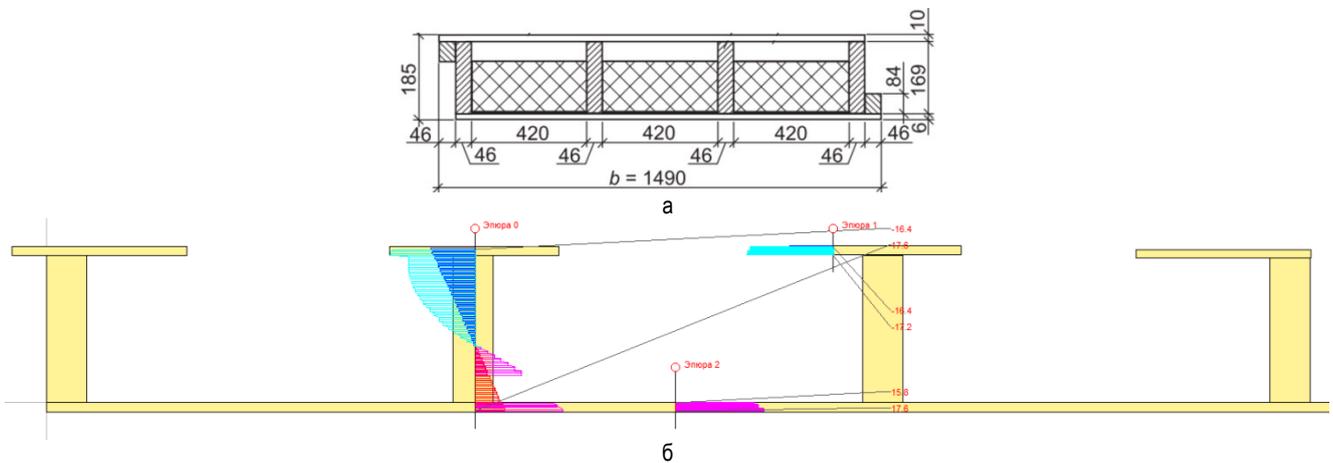


а – распределение относительных деформаций и напряжений по высоте поперечного сечения (цифры на выносных линиях – нормальные напряжения в МПа; синим и красным цветом показано распределение по высоте поперечного сечения относительных деформаций соответственно в сжатой и растянутой зонах; голубым и розовым – аналогично, нормальных напряжений); б и в – диаграммы деформирования древесины наиболее сжатой и растянутой грани (розовая точка – значения напряжений и деформаций при заданном нагружении)
Рисунок 2 – Результаты расчета деревянной обрешетки по деформационной модели

Расчет плиты с фанерными обшивками

Выполним по деформационному расчету проверку по предельным состояниям прочности и эксплуатационной пригодности плиты с фанерными обшивками шириной 1490 мм и расчетным пролетом $l_d = 4930$ мм (п. 8.11 [28]). Соединение обшивок с ребрами плиты клеевое, жесткое. Поперечное сечение плиты с геометрическими размерами представлено на рисунке 3а. Эффективная ширина поперечного

сечения верхней обшивки $b_{f,c} = 786$ мм, расчетная ширина нижней обшивки $b_{f,t} = 1490$ мм (рисунок 3б). Изгибающий момент от равномерно распределенных нагрузок $M_{Ed} = 14,76$ кН·м. Среднее значение модуля упругости вдоль волокон древесины ребер – $E_{w,mean} = 11000$ МПа, фанеры – $E_{f,mean} = 9000$ МПа. Расчетные значения сопротивления древесины при сжатии и растяжении равны: для ребер – $f_{w,c,d} = 13,53$ МПа и $f_{w,t,d} = 9,85$ МПа; для фанеры – $f_{f,c,d} = 17,33$ МПа и $f_{f,t,d} = 24$ МПа.

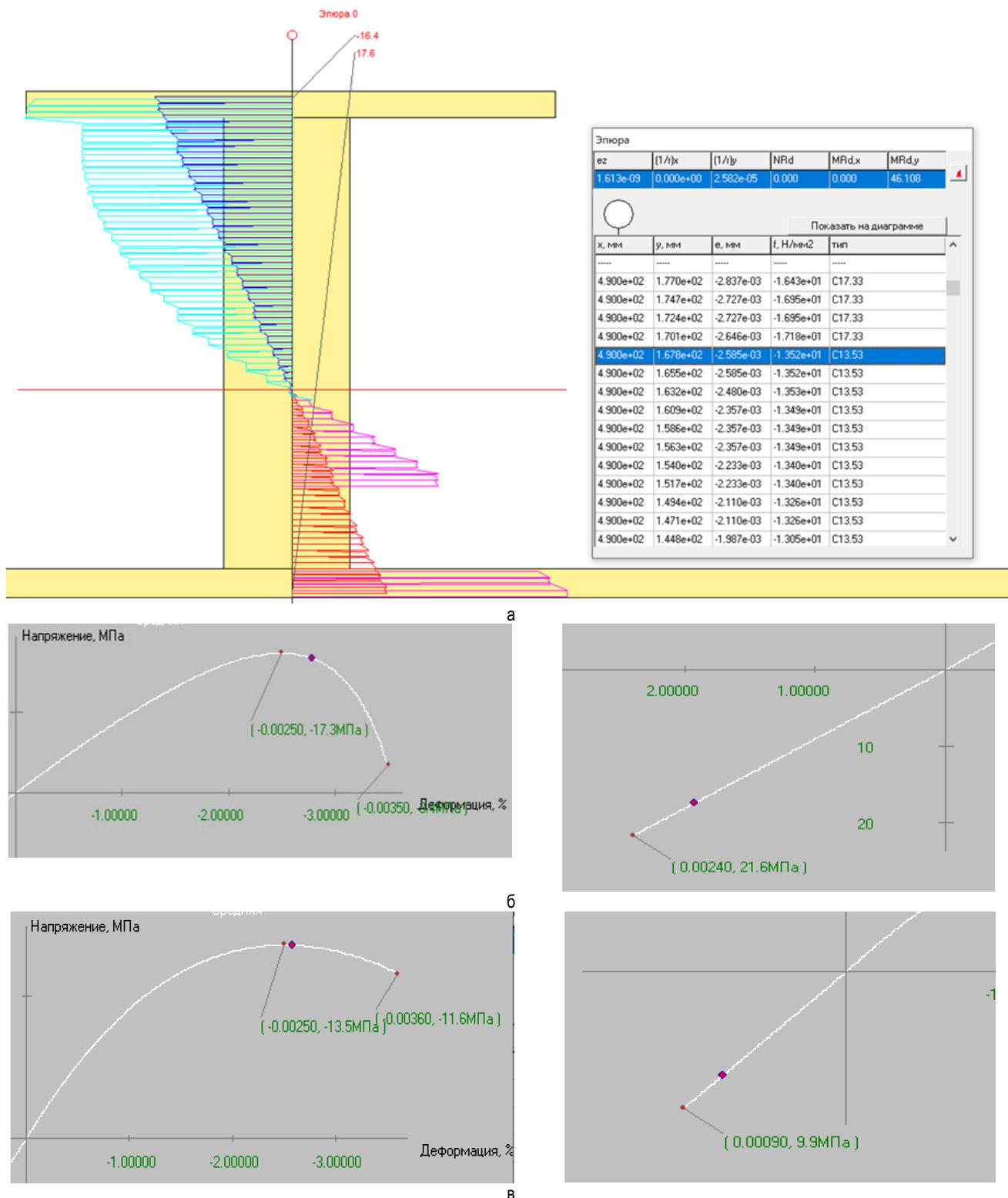


а – с геометрическими размерами по [28]; б – расчетное с распределением относительных деформаций и нормальных напряжений по высоте сечения (цифры красным цветом – нормальные напряжения в наиболее растянутых и сжатых волокнах плиты)

Рисунок 3 – Поперечное сечение плиты с фанерными обшивками

Распределение относительных деформаций и нормальных напряжений по поперечному сечению плиты с обшивками приведено на рисунке 3б и рисунке 4. На диаграммах деформирования точками обозначены относительные деформации и нормальные напряжения в наиболее нагруженных элементарных площадках в сжатой верхней и растянутой нижней обшивках в предельном по прочности состоянии.

Расчет плиты с обшивками показывает, что ее разрушение происходит плавно и начинается в растянутой зоне с разрыва наиболее растянутых волокон древесины ребер с образованием трещин нормального отрыва при изгибающих моментах $M_{cr} = 32,5 \text{ кН}\cdot\text{м}$ с последующим перераспределением растягивающих усилий на нижнюю обшивку и увеличением воспринимаемого усилия до $M_{Rd} = 46,11 \text{ кН}\cdot\text{м}$.



б – верхней и нижней обшивки; в – ребра
Рисунок 4 – Распределение относительных деформаций и нормальных напряжений по поперечному сечению плиты с обшивками (а) с диаграммами деформирования крайних сжатых и растянутых волокон

Проверку клеевых соединений обшивок с продольными ребрами на сдвиг производим из условия:

$$T_{v,mean,d} \leq f_{v,90,d} \quad (7)$$

Расчетное значение сопротивления при сдвиге материала обшивок $f_{v,90,d} = 1,66$ МПа.

Напряжения сдвига в клеевых соединениях обшивок с ребрами вычисляем по формуле:

$$T_{v,mean,d} = \frac{\sigma_{f,d,1} + \sigma_{f,d,2}}{2} \cdot \frac{A_f}{A_v} \quad (8)$$

Среднее значение нормальных напряжений в предельном по прочности состоянии ($M_{Rd} = 46,11$ кН·м) в обшивке вычисляем из их значений в крайних волокнах (деформационный расчет): верхней – $(\sigma_{f,d,1} + \sigma_{f,d,2})/2 = (16,43 + 17,18)/2 = 16,81$ МПа; нижней – $(\sigma_{f,d,1} + \sigma_{f,d,2})/2 = (15,79 + 17,62)/2 = 16,71$ МПа. Площадь расчетного поперечного сечения обшивки: верхней – $A_f = 786 \cdot 10 = 7860$ мм²; нижней – $A_f = 1444 \cdot 10 = 14440$ мм². Площадь контакта в клеевых соединениях ребер с обшивками для верхней и нижней обшивок равна половине пролета плиты умноженной на суммарную ширину ребер: $A_v = (4930/2) \cdot 46 \cdot 4 = 453560$ мм². Тогда по формуле (10) для обшивок: верхней – $T_{v,mean,d} = 0,29$ МПа; нижней – $T_{v,mean,d} = 0,53$ МПа, что меньше $f_{v,90,d} = 1,66$ МПа – предельное состояние несущей способности плиты на сдвиг по клеевым соединениям обшивки с продольными ребрами обеспечивается. При действующем на плиту изгибающем моменте $M_{Ed} = 14,76$ кН·м < $M_{Rd} = 46,11$ кН·м это предельное состояние тем более обеспечивается. При необходимости можно проверить любое поперечное сечение плиты при сдвиге при действующем в нем нормальных напряжениях в обшивке и соответствующей длине зоны контакта клеевого соединения.

Начальный прогиб плиты для характеристического значения изгибающего момента от действующих нагрузок $M_{Ek} = 10,24$ кН·м вычисляем по формулам (7) и (8), исходя из кривизны, полученной из расчета по деформационной модели: $(1/r)_{inst} = 3,98 \cdot 10^{-5}$; (коэффициент $\alpha_k = 5/384$); $u_{inst} = 12,6$ мм. Для вычисления прогиба от ползучести древесины при действии постоянной нагрузки ($M_{Ek,q} = 4,59$ кН·м) выполняем расчет для получения осевых кривизн: $(1/r)_{q,inst} = 1,76 \cdot 10^{-5}$. Начальный прогиб обрешетки от постоянной нагрузки $u_{q,inst} = 5,56$ мм. Тогда прогиб от действия ползучести древесины ($k_{def} = 0,8$) составляет: $u_{q,crep} = u_{q,inst} \cdot k_{def} = 5,56 \cdot 0,8 = 4,45$ мм. Полный прогиб с учетом ползучести древесины равен $u_{Ed} = u_{inst} + u_{q,crep} = 12,6 + 4,45 = 17,05$ мм < $u_{Cd} = (1/175) \cdot l_d = (1/175) \cdot 4930 = 28,2$ мм – предельное состояние эксплуатационной пригодности плиты по прогибам обеспечивается.

Расчет прочности дощатоклееной арки

Выполним проверку предельного состояния по прочности дощатоклееной арки с размерами поперечного сечения приняты $b \times h = 250 \times 1200$ мм при действии рекомендуемой комбинации усилий IV: $M_{Ed,IV} = 960,1$ кН·м; $N_{Ed,IV} = 577,74$ кН (п. 10.23 [28]). Среднее значение модуля упругости вдоль волокон древесины – $E_{0,mean} = 14200$ МПа. Расчетные значения сопротивления древесины $f_{c0d,IV} = f_{m,d,IV} = 20,48$ МПа.

Распределение относительных деформаций и нормальных напряжений по поперечному сечению дощатоклееной балки для IV комбинации нагружения представлено на рисунке 5. Расчет балки показывает, что ее разрушение начинается в растянутой зоне с достижением растянутыми волокнами предельных деформаций при комбинации усилий: $M_{Rd,IV} = 1282,5$ кН·м; $N_{Rd,IV} = 775,5$ кН, что меньше действующих усилий – прочность обеспечена.

Заключение

Используя примеры расчета, приведенные в СП 5.05.02-2023 «Деревянные конструкции. Правила расчета» [28], показаны преимущества диаграммного подхода к расчету деревянных конструкций в рамках СП 5.05.01-2021 «Деревянные конструкции» [1], которые заключаются в возможности вычисления параметров напряженно-деформированного состояния деревянных конструкций любой формы поперечного сечения, состоящего из материалов с различными физико-механическими характеристиками, на любой стадии работы под нагрузкой.

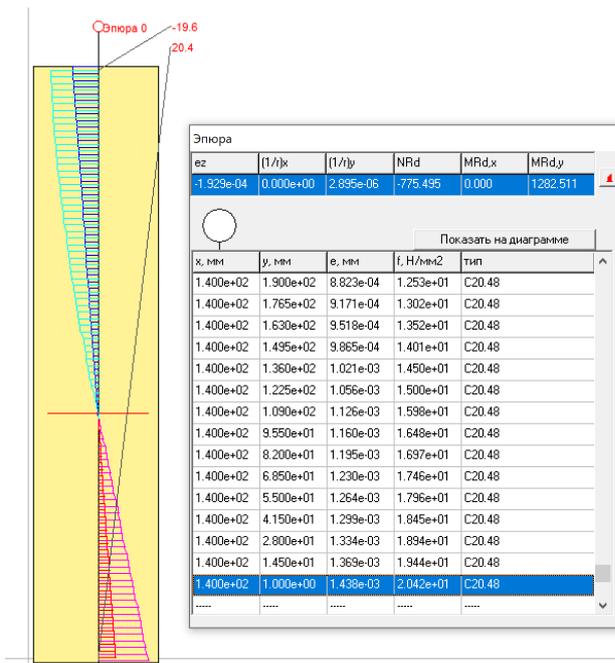


Рисунок 5 – Результаты расчета и распределение нормальных напряжений и относительных деформаций дощатоклееной балки по деформационной модели

Предлагаемый диаграммный подход к расчету деревянных конструкций имеет прозрачный физический смысл, позволяет устанавливать картину разрушения конструкции исходя из наиболее слабой ее зоны, производить проверку прочности контактного шва между различными древесными материалами в любом поперечном сечении по его длине.

Методика расчета деревянных элементов позволяет более рационально решать задачи в области их проектирования для вновь возводимых конструкций, а также для усиления существующих.

В дальнейшем в деформационном подходе к расчету деревянных элементов следует рассмотреть вопросы нормирования диаграмм деформирования древесины при различных воздействиях, учета длительности действия статической нагрузки, особенности работы усиленных под нагрузкой деревянных элементов.

Список цитированных источников

1. Деревянные конструкции : СП 5.05.01-2021. – Введ. 01.06.2021. – Минск : М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2021. – 111 с.
2. fib Model Code for Concrete Structures 2010 / International Federation for Structural Concrete (fib). – 2013. – 402 p. – <https://doi.org/10.1002/9783433604090>.
3. Бетонные и железобетонные конструкции : СП 5.03.01-2020. – Введ. 16.11.2020. – Минск : М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2020. – 236 с.
4. Залесов, А. С. Расчет деформаций железобетонных конструкций по новым нормативным документам / А. С. Залесов, Т. А. Мухамедиев, Е. А. Чистяков // Бетон и железобетон. – 2002. – № 6. – С. 12–16.
5. Расчет прочности железобетонных конструкций при действии изгибающих моментов и продольных сил по новым нормативным документам / А. И. Залесов [и др.] // Бетон и железобетон. – 2002. – № 2. – С. 21–25.
6. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования : СП 164.1325800.2014. – Введ. 2014. – М. : Минстрой России, 2015. – 51 с.
7. 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. – Luxembourg : Springer Nature Switzerland AG, 2023. – P. 279–291.

8. Карпенко, Н. И. Расчетные зависимости для диаграммы деформирования арматуры с физической площадкой текучести / Н. И. Карпенко, С. Н. Карпенко, В. А. Ерышев // Технология текстильной промышленности. – 2016. – № 5. – С. 206–210.
9. Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования : СП 266.1325800.2016. – Введ. 01.07.2016. – Москва : Минстрой России, 2017. – 123 с.
10. Конструкции сталежелезобетонные покрытий и перекрытий. Правила проектирования : ТКП 45-5.03-16-2005 (02250). – Минск : М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2006. – 71 с.
11. Методические рекомендации по расчету и проектированию сталежелезобетонных перекрытий. – М. : Федеральный центр нормирования, стандартизации и оценки соответствия в строительстве, 2018. – 62 с.
12. Методическое пособие по расчету и проектированию сталежелезобетонных конструкций с жесткой арматурой. – М. : Федеральный центр нормирования, стандартизации и оценки соответствия в строительстве, 2018. – 49 с.
13. Руководство по проектированию железобетонных конструкций с жесткой арматурой. – М. : Стройиздат, 1978. – 57 с.
14. EN 1994-1-1:2005. Еврокод 4. Проектирование сталежелезобетонных конструкций. – Ч. 1. Общие правила для зданий и сооружений. – М., 2011. – 123 с.
15. Джонсон, Р. П. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 4 EN 1994-1-1. Проектирование сталежелезобетонных конструкций / Р. П. Джонсон ; М-во образования и науки Росс. Федерации, ФГБОУ ВПО «Моск. гос. строит. ун-т» ; науч. ред. пер. В. О. Алмазов, А. Н. Томилин. – М. : МГСУ, 2013. – 2-е изд. – 414 с.
16. Конструкции сталежелезобетонные покрытий и перекрытий. Правила проектирования : ТКП 45-5.03-16-2005 (02250). – Минск : М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2006. – 71 с.
17. Семенов, В. А. Сталежелезобетонные конструкции. Область применения и основные положения СП 266.1325800.2016 «Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования». Преимущества сталежелезобетонных конструкций по сравнению с традиционными решениями. Моделирование сталежелезобетонных конструкций с помощью современного инженерного ПО для проектировщиков [Электронный ресурс] / В. А. Семенов // Презентация: Ассоциация развития стального строительства (АРСС). – Режим доступа: https://steel-fabrication.ru/mediasent/5_Владимир%20Семенов_Техсофт.pdf. – Дата доступа: 01.07.2024.
18. Карпенко, Н. И. К расчёту прочности, жёсткости и трещиностойкости внецентренно сжатых железобетонных элементов с применением нелинейной деформационной модели / Н. И. Карпенко, Б. С. Соколов, О. В. Радаikin // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2013. – № 4 (26). – С. 113–120. – EDN: RSTDVV.
19. Кудинов, О. В. Новый подход к оценке прочности сталежелезобетонных перекрытий / О. В. Кудинов // Бетон и железобетон. – 2010. – № 2 (563). – С. 14–16.
20. Арленинов, П. Д. Современное состояние нелинейных расчетов железобетонных конструкций / П. Д. Арленинов, С. Б. Крылов // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2017. – № 3. – С. 50–53. – EDN: ZFIVKZ.
21. Карпенко, Н. И. Исходные и трансформированные диаграммы деформирования бетона и арматуры / Н. И. Карпенко, Т. А. Мухамедиев, А. Н. Петров // Напряженно-деформированное состояние бетонных и железобетонных конструкций : сб. статей / Научно-исследовательский институт бетона и железобетона. – М. : Стройиздат, 1986. – С. 7–25.
22. EN 1992-1-1:2004 Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-1 : General rules and rules for buildings. – 2004. – P. 33–34.
23. Деформационный подход к вычислению расчетных значений сопротивления сжатию каменных и армокаменных элементов в рамках проверок предельного состояния несущей способности / А. М. Хаткевич [и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия Ф, Строительство. Прикладные науки. – 2023. – № 2 (34). – С. 2–9. – <https://doi.org/10.52928/2070-1683-2023-34-2-2-9>.
24. Нелинейный расчет изгибаемых сталежелезобетонных элементов / Д. Н. Лазовский [и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия Ф, Строительство. Прикладные науки. – 2024. – № 2 (37). – С. 9–23. – <https://doi.org/10.52928/2070-1683-2024-37-2-9-23>.
25. Akhaveissy, A. H. The DSC model for the nonlinear analysis of in-plane loaded masonry structures / A. H. Akhaveissy // The Open Civil Engineering J. – 2012. – Vol. 6. – P. 200–214.
26. Уласевич, В. П. Деформационный расчет бескаркасных арочных покрытий из стальных тонкостенных холодногнутых профилей / В. П. Уласевич, Д. А. Жданов // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2015. – № 1. – С. 66–73.
27. Уласевич, В. П. Деформационный расчет и исследование напряженно-деформированных состояний пологих однополюсных распорных систем: автореф. дис. ...канд. техн. наук: 01.02.03 / В. П. Уласевич ; ЦНИИСК им. Кучеренко. – М., 1984. – 24 с.
28. Деревянные конструкции. Правила расчета : СП 5.05.02-2023. – Минск : М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2023. – 129 с.
29. Лукаш, П. А. Расчет пологих оболочек и плит с учетом физической и геометрической нелинейности / П. А. Лукаш // Расчет конструкций, работающих в упругопластической стадии : сб. тр. ЦНИИСК. – М. : Госстройиздат, 1961. – Вып.7. – С. 268–320.
30. Леннов, В. Г. Экспериментальное исследование древесины сосны на сжатие и растяжение вдоль волокон с учетом длительного воздействия нагрузок / В. Г. Леннов // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1958. – № 2. – С. 147–157.
31. Ylinen, A. Über die Bestimmung der zeitbedingten elastischen und Festigkeitseigenschaften des Holzes mit Hilfe eines allgemeinen nichtlinear visko-elastischen reologischen Modelles / A. Ylinen // Holz als Roh-und Werkstoff. – 1965. – Vol. 23, № 5. – S. 193–196.
32. Вареник, К. А. Аппроксимация диаграммы деформирования древесины / К. А. Вареник // Вестник Новгородского государственного университета им. Ярослава Мудрого. – 2013. – Т. 1, № 75. – С. 60–64.
33. Немировский, Ю. В. Расчёт и рациональное проектирование деревянных стержневых элементов / Ю. В. Немировский // Современные проблемы совершенствования и развития конструкций в строительстве и транспорте: сб. науч. трудов III Междунар. науч.-техн. конф. – Самара : Изд-во СамГАСУ, 2005. – С. 247–251.
34. Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий : ТКП EN 1992-1-1-2009. – Введ. 01.01.10. – Минск : М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2010. – 112 с.
35. Хаткевич, А. М. Деформационный подход к моделированию напряженно-деформированного состояния сжатых элементов из кирпичной кладки, усиленных под нагрузкой железобетонной обоймой / А. М. Хаткевич, Д. Н. Лазовский, Д. О. Глухов // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия Ф, Строительство. Прикладные науки. – 2023. – № 3 (35). – С. 21–27. – <https://doi.org/10.52928/2070-1683-2023-35-3-21-27>.

References

1. Derevyannye konstrukcii : SP 5.05.01-2021. – Vved. 01.06.2021. – Minsk : M-vo arhitektury i stroitel'stva Resp. Belarus', 2021. – 111 s.
2. fib Model Code for Concrete Structures 2010 / International Federation for Structural Concrete (fib). – 2013. – 402 p. – <https://doi.org/10.1002/9783433604090>.
3. Betonnyye i zhelezobetonnyye konstrukcii : SP 5.03.01-2020. – Vved. 16.11.2020. – Minsk : M-vo arhitektury i stroitel'stva Resp. Belarus', 2020. – 236 s.
4. Zalesov, A. S. Raschet deformacij zhelezobetonnyh konstrukcij po novym normativnym dokumentam / A. S. Zalesov, T. A. Muhamediev, E. A. Chistyakov // Beton i zhelezobeton. – 2002. – № 6. – S. 12–16.
5. Raschet prochnosti zhelezobetonnyh konstrukcij pri dejstvii izgibayushchih momentov i prodol'nyh sil po novym normativnym dokumentam / A. I. Zalesov [i dr.] // Beton i zhelezobeton. – 2002. – № 2. – S. 21–25.

6. Usilenie zhelezobetonnykh konstrukcij kompozitnymi materialami. Pravila proektirovaniya : SP 164.1325800.2014. – Vved. 2014. – M. : Minstroy Rossii, 2015. – 51 s.
7. 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. – Luxembourg : Springer Nature Switzerland AG, 2023. – P. 279–291.
8. Karpenko, N. I. Raschetnye zavisimosti dlya diagrammy deformirovaniya armatury s fizicheskoj ploshchadkoj tekuchesti / N. I. Karpenko, S. N. Karpenko, V. A. Eryshev // Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti. – 2016. – № 5. – S. 206–210.
9. Konstrukcii stalezhelezobetonnye. Pravila proektirovaniya : SP 266.1325800.2016. – Vved. 01.07.2016. – Moskva : Minstroy Rossii, 2017. – 123 s.
10. Konstrukcii stalezhelezobetonnye pokrytij i perekrytij. Pravila proektirovaniya : TKP 45-5.03-16-2005 (02250). – Minsk : M-vo arhitektury i stroitel'stva Resp. Belarus', 2006. – 71 s.
11. Metodicheskie rekomendacii po raschetu i proektirovaniyu stalezhelezobetonnykh perekrytij. – M. : Federal'nyj centr normirovaniya, standartizacii i ocenki sootvetstviya v stroitel'stve, 2018. – 62 s.
12. Metodicheskoe posobie po raschetu i proektirovaniyu stalezhelezobetonnykh konstrukcij s zhestkoj armaturoj. – M. : Federal'nyj centr normirovaniya, standartizacii i ocenki sootvetstviya v stroitel'stve, 2018. – 49 s.
13. Rukovodstvo po proektirovaniyu zhelezobetonnykh konstrukcij s zhestkoj armaturoj. – M. : Strojizdat, 1978. – 57 s.
14. EN 1994-1-1:2005. Evrokod 4. Proektirovanie stalezhelezobetonnykh konstrukcij. – CH. 1. Obshchie pravila dlya zdaniy i sooruzhenij. – M., 2011. – 123 s.
15. Dzhonson, R. P. Rukovodstvo dlya proektirovshchikov k Evrokodu 4 EN 1994-1-1. Proektirovanie stalezhelezobetonnykh konstrukcij / R. P. Dzhonson ; M-vo obrazovaniya i nauki Ross. Federacii, FGBOU VPO «Mosk. gos. stroit. un-t» ; nauch. red. per. V. O. Almazov, A. N. Tomilin. – M. : MGSU, 2013. – 2-e izd. – 414 s.
16. Konstrukcii stalezhelezobetonnye pokrytij i perekrytij. Pravila proektirovaniya : TKP 45-5.03-16-2005 (02250). – Minsk : M-vo arhitektury i stroitel'stva Resp. Belarus', 2006. – 71 s.
17. Semenov, V. A. Stalezhelezobetonnye konstrukcii. Oblast' primeneniya i osnovnye polozheniya SP 266.1325800.2016 «Konstrukcii stalezhelezobetonnye. Pravila proektirovaniya». Preimushchestva stalezhelezobetonnykh konstrukcij po sravneniyu s tradicionnymi resheniyami. Modelirovanie stalezhelezobetonnykh konstrukcij s pomoshch'yu sovremennogo inzhenernogo PO dlya proektirovshchikov [Elektronnyj resurs] / V. A. Semenov // Prezentaciya: Associaciya razvitiya stal'nogo stroitel'stva (ARSS). – Rezhim dostupa: https://steel-fabrication.ru/mediatsentr/5_Vladimir%20Semenov_Tekhssoft.pdf. – Data dostupa: 01.07.2024.
18. Karpenko, N. I. K raschyotu prochnosti, zhyostkosti i treshchinostyokosti vnecentrenno szhatyh zhelezobetonnykh elementov s primeneniem nelinejnoy deformacionnoj modeli / N. I. Karpenko, B. S. Sokolov, O. V. Radajkin // Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. – 2013. – № 4 (26). – S. 113–120. – EDN: RSTDVV.
19. Kudinov, O. V. Novyj podhod k ocenke prochnosti stalezhelezobetonnykh perekrytij / O. V. Kudinov // Beton i zhelezobeton. – 2010. – № 2 (563). – S. 14–16.
20. Arlenin, P. D. Sovremennoe sostoyanie nelinejnykh raschetov zhelezobetonnykh konstrukcij / P. D. Arlenin, S. B. Krylov // Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij. 2017. – № 3. – S. 50–53. – EDN: ZFIVKZ.
21. Karpenko, N. I. Iskhodnye i transformirovannye diagrammy deformirovaniya betona i armatury / N. I. Karpenko, T. A. Muhamediev, A. N. Petrov // Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie betonnykh i zhelezobetonnykh konstrukcij : sb. statej / Nauchno-issledovatel'skij institut betona i zhelezobetona. – M. : Strojizdat, 1986. – S. 7–25.
22. EN 1992-1-1:2004 Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-1 : General rules and rules for buildings. – 2004. – P. 33–34.
23. Deformacionnyj podhod k vychisleniyu raschetnykh znachenij soprotivleniya szhatiyu kamennykh i armokamennykh elementov v ramkah proverok predelnogo sostoyaniya nesushchej sposobnosti / A. M. Hatkevich [i dr.] // Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F, Stroitel'stvo. Prikladnye nauki. – 2023. – № 2 (34). – S. 2–9. – <https://doi.org/10.52928/2070-1683-2023-34-2-9>.
24. Nelinejnyj raschet izgibaemykh stalezhelezobetonnykh elementov / D. N. Lazovskij [i dr.] // Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F, Stroitel'stvo. Prikladnye nauki. – 2024. – № 2 (37). – S. 9–23. – <https://doi.org/10.52928/2070-1683-2024-37-2-9-23>.
25. Akhveissy, A. H. The DSC model for the nonlinear analysis of in-plane loaded masonry structures / A. H. Akhveissy // The Open Civil Engineering J. – 2012. – Vol. 6. – P. 200–214.
26. Ulasevich, V. P. Deformacionnyj raschet beskarkasnykh arochnykh pokrytij iz stal'nykh tonkostennykh holodnogutykh profilej / V. P. Ulasevich, D. A. Zhdanov // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura. – 2015. – № 1. – S. 66–73.
27. Ulasevich, V. P. Deformacionnyj raschet i issledovanie napryazhenno-deformirovannykh sostoyanij pologih odnopoyasnykh raspornykh sistem: avtoref. dis. ...kand. tekhn. nauk: 01.02.03 / V. P. Ulasevich ; CNIISK im. Kucherenko. – M., 1984. – 24 s.
28. Derevyannye konstrukcii. Pravila rascheta : SP 5.05.02-2023. – Minsk : M-vo arhitektury i stroitel'stva Resp. Belarus', 2023. – 129 s.
29. Lukash, P. A. Raschet pologih obolochek i plit s uchedom fizicheskoj i geometricheskoj nelinejnosti / P. A. Lukash // Raschet konstrukcij, rabotayushchih v uprugoplasticheskoj stadii : sb. tr. CNIISK. – M. : Gosstrojizdat, 1961. – Vyp. 7. – S. 268–320.
30. Lenov, V. G. Eksperimental'noe issledovanie drevesiny sosny na szhatie i rastyazhenie vdol' volokon s uchedom dilitel'nogo vozdejstviya nagruzok / V. G. Lenov // Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arhitektura. – 1958. – № 2. – S. 147–157.
31. Ylinen, A. Uber die Bestimmung der zeitbedingten elastischen und Festigkeitseigenschaften des Holzes mit Hilfe eines allgemeinen nichtlinear visko-elastischen reologischen Modelles / A. Ylinen // Holz als Roh- und Werkstoff. – 1965. – Vol. 23, № 5. – S. 193–196.
32. Varenik, K. A. Approksimaciya diagrammy deformirovaniya drevesiny / K. A. Varenik // Vestnik Novgorodskogo gosudarstvennogo universiteta im. Yaroslava Mudrogo. – 2013. – T. 1, № 75. – S. 60–64.
33. Nemirovskij, YU. V. Raschyot i racional'noe proektirovanie derevyannykh sterzhnevnykh elementov / YU. V. Nemirovskij // Sovremennye problemy sovershenstvovaniya i razvitiya konstrukcij v stroitel'stve i transporte: sb. nauch. trudov III Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. – Samara : Izd-vo SamGASU, 2005. – S. 247–251.
34. Evrokod 2. Proektirovanie zhelezobetonnykh konstrukcij. CHast' 1-1. Obshchie pravila i pravila dlya zdaniy : TKP EN 1992-1-1-2009. – Vved. 01.01.10. – Minsk : M-vo arhitektury i stroitel'stva Resp. Belarus', 2010. – 112 s.
35. Hatkevich, A. M. Deformacionnyj podhod k modelirovaniyu napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya szhatyh elementov iz kirpichnoj kladki, usilennykh pod nagruzkoj zhelezobetonnoj obojmoj / A. M. Hatkevich, D. N. Lazovskij, D. O. Gluhov // Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F. Stroitel'stvo. Prikladnye nauki. – 2023. – № 3 (35). – S. 21–27. – <https://doi.org/10.52928/2070-1683-2023-35-3-21-27>.

Материал поступил 05.07.2024, одобрен 09.07.2024, принят к публикации 09.07.2024

ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКОСТИ ЗДАНИЙ НА РАЗВИТИЕ НЕРАВНОМЕРНЫХ ОСАДОК

П. С. Пойта¹, Н. Н. Шалобыта², Т. П. Шалобыта³¹ Д. т. н., профессор, профессор кафедры геотехники и транспортных коммуникаций УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: ppsbrest@mail.ru² К. т. н., доцент, доцент кафедры строительных конструкций, проректор по научной работе УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: nnshalobyta@mail.ru³ К. т. н., доцент, доцент кафедры технологии бетона и строительных материалов УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: t_shalobyta@mail.ru

Реферат

Проблема учета жесткости системы «основание – фундамент – здание» является одной из наиболее актуальных, так как от ее решения зависит разработка практических методов расчета за осадками оснований зданий, предназначенных для надежной оценки их развития в процессе строительства зданий и сооружений. В статье изложены результаты геодезических наблюдений за осадками зданий в процессе их возведения, а также выполнен численный анализ деформирования основания плитных фундаментов многоэтажных крупнопанельных зданий. Показано, что основным определяющим фактором, влияющим на развитие и величину неравномерных осадок оснований зданий, являются инженерно-геологические условия строительной площадки, а не жесткость верхнего строения системы «основание – фундамент – здание».

Ключевые слова: основание фундаментов, несущая способность грунта, напряженно-деформированное состояние, плитный фундамент, неравномерная осадка, жесткость, прогиб.

INFLUENCE OF CONSTRUCTION RIGIDITY ON THE DEVELOPMENTS OF UNEVEN SETTLEMENTS

P. S. Poyta, N. N. Shalobyta, T. P. Shalobyta

Abstract

The problem of taking into account the rigidity of the «the ground of the foundation – foundation – building» system is one of the most urgent, because the solution depends on the development of practical methods for calculating the precipitation of the foundations of buildings designed to reliably assess their development during the construction of buildings and structures. The article presents the results of geodetic observations of precipitation of buildings during their construction, as well as numerical analysis of the deformation of the base of slab foundations of multi-storey large-panel buildings has been performed. It is shown that the main determining factor influencing the development and the amount of uneven precipitation of the foundations of buildings are the engineering and geological conditions of the construction site, and not the rigidity of the upper structure of the «the ground of the foundation – foundation – building» system.

Keywords: the ground of the foundation, bearing capacity of the soil, stress-strain state, slab foundation, uneven sediment, stiffness, deflection.

Введение

Одной из наиболее актуальных проблем при проектировании и устройстве фундаментов зданий и сооружений являются значительные неравномерные осадки, влияющие на напряженное состояние проектируемых объектов. Величина неравномерных осадок зависит от многих причин:

- инженерно-геологических условий строительной площадки, в частности, от условий залегания слоев грунтов и их деформируемости;
- величины и характера действующих нагрузок, особенностей их изменения (роста) во времени (например, на стадии возведения здания);
- неравномерности распределения напряжений в основании фундаментов;
- жесткости сооружения и др.

Из изложенных выше факторов важную роль в расчетах системы «основание – фундамент – здание» имеет жесткость сооружения. Фундамент здания взаимодействует с грунтовым основанием совместно с каркасом конечной жесткости, а нагрузки на фундаментную плиту передаются через вертикальные элементы – стены и колонны каркаса, поэтому величина усилий, действующих на фундамент, зависит от совместной работы здания с грунтовым основанием. Учитывая это, в работах [1, 2] рассмотрено влияние жесткости надземной части здания на напряженно-деформированное состояние системы «основание – фундамент – здание». Влияние жесткости каркаса оценивают на примере совместного расчета четырехпролетной рамы с фундаментной балкой на грунтовом основании, либо рассматривались два типа здания – каркасное и стеновое. Решение данных задач показало, что жесткость надземной части оказывает значительное влияние на напряженно-деформированное состояние основания и фундаментной плиты. При этом установлено, что с уве-

личением жесткости конструкций разность осадок здания уменьшается. При относительной разности осадок, стремящейся к нулю, роста дополнительных усилий в конструкциях зданий при увеличении жесткости практически не происходит.

С другой стороны исследования чувствительности фундамента к деформированию основания в составе системы «основание – фундамент – сооружение» с помощью «эталонов», представляющего собой точное численное решение задачи в условиях плоской деформации для упрощенной схемы сооружения, в качестве фундаментной плиты конечной жесткости, покоящейся на основании, предоставленном трехпараметрической контактной моделью с верхним слоем Винклера, толщиной, равной глубине «прорезки» H_p , т. е. с коэффициентом жесткости грунта [3]:

$$C_3 = \frac{E}{H_p \cdot (1 - \nu^2)}, \quad (1)$$

где ν – коэффициент Пуассона; E – модуль деформации основания, МПа.

Глубину «прорезки» или глубину сдвигового разрыва с пластической зоной в виде точки на нижнем конце, определяли по формуле [3]

$$H_p = \frac{P - \gamma_d}{\pi \cdot \gamma} \cdot \left(\cot \varphi + \varphi - \frac{\pi}{2} \right) - \frac{c \cdot \cot \varphi}{\gamma} - d, \quad (2)$$

где P – контактное давление под краем равномерно-распределенной нагрузки; γ – удельный вес грунта; γ_d – пригрузка от собственного веса грунта на отметке подошвы фундамента; d – глубина заложения подошвы фундамента; c, φ – параметры прочности грунта.

Результаты исследований

Верхнее строение было представлено в виде плиты конечной жесткости, передающее нагрузку на фундамент через сжимаемые опоры.

Результаты расчетов при абсолютно жестком верхнем строении (изгибная жесткость $D_S = \infty$) и верхнем строении с обобщенной жесткостью $D_{S1} = 5 D_S$ показывают, что распределение контактных давлений по подошве фундамента практически нечувствительно к величине реальной жесткости верхнего строения, причем давление под краями фундамента во всех рассмотренных случаях в 1,5 раза больше, чем в центре [3]. Более того, величины изгибающих моментов в фундаменте наиболее чувствительны к глубине «прорезки», которая влияет на величину осадки. Установлено, что изгибающие элементы в фундаментной плите более чувствительны к глубине «прорезки», а следовательно в большей степени зависят от параметров прочности грунта, чем от жесткости верхнего строения и основания [4]. Таким образом, очевидны две противоположные точки зрения: с одной стороны жесткость верхнего строения системы «основание – фундамент – сооружение» оказывает существенное влияние на величину и характер контактных давлений, а также и на величину относительной разности осадок; с другой стороны – жесткость верхнего строения системы «основание – фундамент – сооружение» практически не влияет на величину и характер контактных давлений, при этом данные параметры, а также величины осадок фундаментов, в основном, зависят от прочностных характеристик грунта основания. Очевидно, что критерий правильности предлагаемых решений, а следовательно, и принятых в качестве их основы теоретических положений, является близость результатов расчета к данным наблюдений за осадками строящихся зданий и сооружений.

С учетом этого, нами выполнены расчеты системы «основание – фундамент – сооружение» с учетом и без учета жесткости верхнего строения, а также проведен комплекс работ по наблюдению за осадками зданий в процессе их возведения в Юго-Западном микрорайоне г. Бреста. Схема установки геодезических марок показана на рисунке 1.

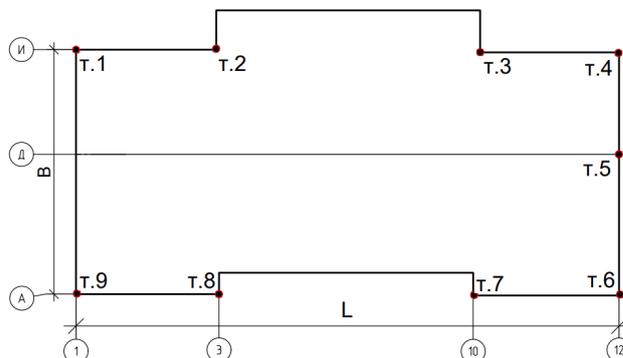


Рисунок 1 – Схема установки геодезических марок

Основанием плитного фундамента является искусственный слой мощностью 3,4 м, отсыпанный из песчано-гравийной смеси, уплотненной катками [5]. Ниже расположены грунты, основные характеристики которых приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики грунтов оснований

№ п/п	Наименование грунтов	Удельный вес грунта, кН/м³	Параметры прочности		Модуль деформации E, МПа
			φ, град.	C, кПа	
1	2	3	4	5	6
1	Песчано-гравийная смесь	16,0	37,0	2,0	20,0
2	Песок пылеватый, средней прочности	10,2	30,0	4,0	13,0
3	Песок пылеватый, прочный	10,7	34,0	5,5	26,0
4	Песок средней крупности, средней прочности	10,0	37,0	2,0	43,0

Залегание отдельных слоев грунта несогласное, имеющее различный наклон к поверхности.

Наблюдения за осадками зданий выполнялись в процессе возведения надземной части зданий в три этапа:

- а) после окончания монтажа первых трех этажей;
- б) после завершения монтажа конструкций всего здания;
- в) после ввода зданий в эксплуатацию.

Расчеты деформаций оснований выполнены с применением программного комплекса «LIRA – SAPR» с полной равномерно-распределенной нагрузкой на плиту; с нагрузкой равной 40 % от полной. При этом жесткость верхнего строения системы «основание – фундамент – сооружение» по одному варианту не учитывалась, по второму – учитывалась.

Расчет основания выполнен с использованием метода Пастернака с учетом коэффициентов постели: C_1 – коэффициента сжатия, связывающего интенсивность вертикального отпора грунта с его осадкой и C_2 – коэффициента сдвига, характеризующего вертикальные силы сдвига, возникающие в сыпучих и малосвязных грунтах вследствие зацепления и внутреннего трения между частицами.

Коэффициенты постели определяли по следующим зависимостям:

$$C_1 = \frac{E_{zp}}{H_c \cdot (1 - 2 \cdot \nu_{zp}^2)}, \quad C_2 = \frac{C_1 \cdot H_c \cdot (1 - 2 \cdot \nu_{zp}^2)}{6 \cdot (1 + \nu)} \quad (3)$$

где E_{zp} – усредненный модуль деформаций грунта; ν_{zp} – усредненный коэффициент Пуассона в пределах сжимаемой толщи; H_c – мощность сжимаемой толщи грунта под подошвой фундамента; ν – коэффициент Пуассона грунта.

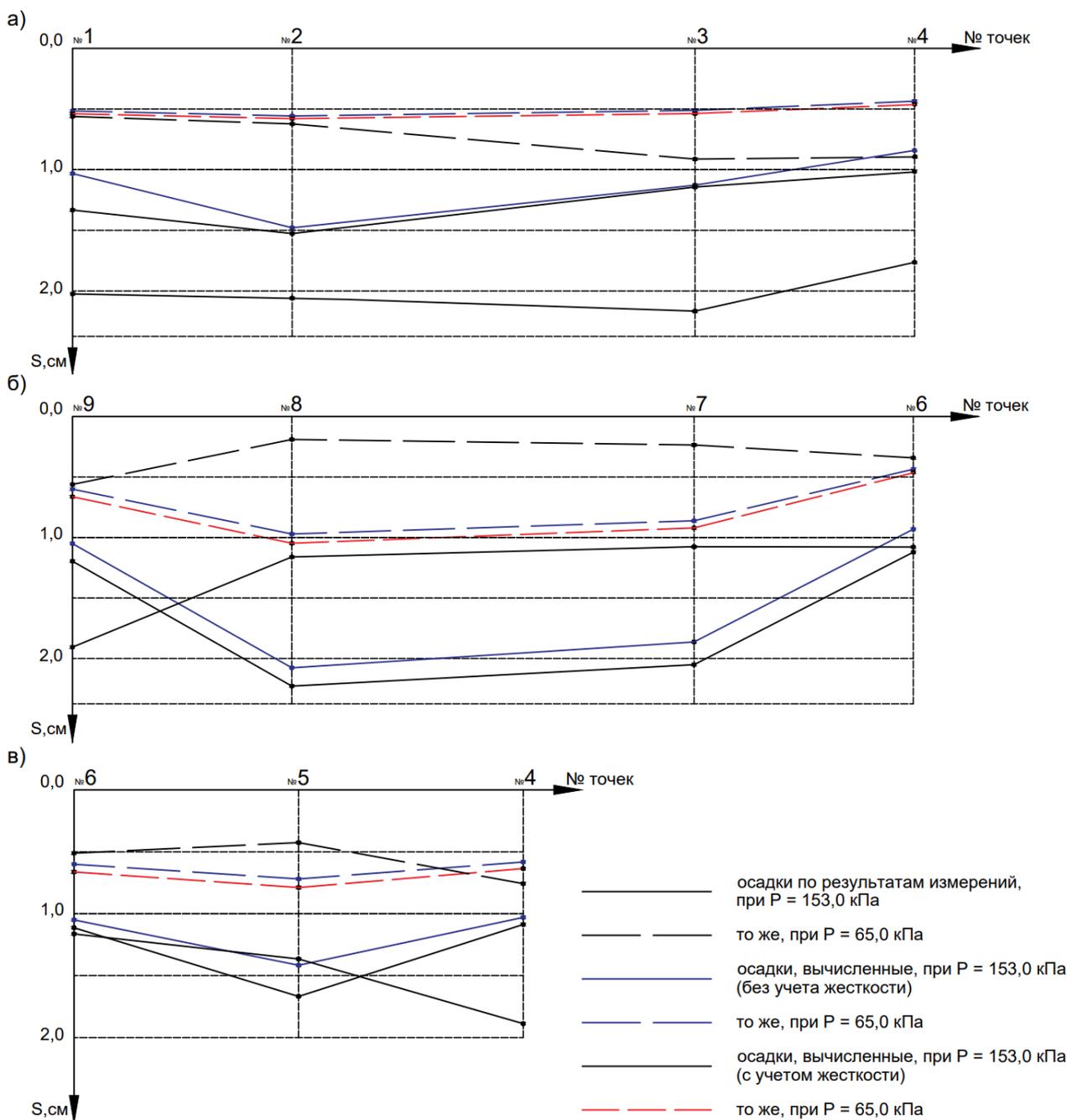
Оценка инженерно-геологических условий строительной площадки выполнена с использованием модуля «Грунт» ПК «LIRA – SAPR».

Фундаменты всех строящихся зданий (от 5 до 11 этажей) запроектированы в виде железобетонной плиты, толщиной 500 мм. В соответствии с [6], плитный фундамент относится к категории гибких, тонких, прямоугольных, плоских. Здание крупнопанельное, прямоугольной формы в плане с размерами 27,6×12,3 м.

На рисунке 2а показаны результаты измерения осадок крупнопанельного семиэтажного дома в процессе его строительства и после его завершения. Номера точек, указанные на продольных и торцевых стенах, соответствуют точкам установки марок для измерения осадок фундамента. При давлении на грунт $P = 65,0$ кПа осадки фундамента дальней длинной стороны формируют прогиб плиты, достигая максимального значения (0,87 см) в точке 3, которая находится на расстоянии 7,2 м от правого торца здания. У торцевой стены (точка 4) осадка уменьшается до 0,67 см, что меньше в 1,3 раза. Относительный прогиб по данной стороне составляет $K = 0,000076$.

При давлении $P = 153,0$ кПа осадки возрастают по всей длине данной стороны фундамента в среднем в 2,74 раза, сохраняя в целом общую тенденцию развития при увеличении P . Вместе с тем осадка в точке 1 возросла в 3,15 раза, а в точке 3 – в 2,53 раза и в 2,63 раза в точке 4. Относительный прогиб равен 0,00013, т. е. при увеличении давления на грунт в 2,35 раза, K увеличилась в 1,7 раза.

По ближней стороне (рисунок 2б) картина развития осадки при увеличении нагрузки совсем иная. При давлении на грунт $P = 65,0$ кПа четко сформирован выгиб плиты. При этом осадки фундамента меньше по всей его длине в сравнении с противоположной стороной. Среднее значение $S_{cp} = 0,38$ см, что в 1,95 раза меньше $S_{cp} = 0,74$ см удаленной стороны. Величина S_{cp} определяется, как правило, для отдельно стоящих фундаментов, но может быть найдена и для плитного фундамента согласно рекомендаций [7].



а) и б) – вдоль продольных наружных стен здания; в) – вдоль поперечной (торцевой) стены здания
Рисунок 2 – Изменение осадок плитного фундамента крупнопанельного дома в процессе строительства

На участке между шестой и восьмой точками имеет место уменьшение осадки с 0,43 см до 0,36 см, т. е. в 1,19 раза. В точке, расположенной по левому торцу здания осадка возрастает и составляет 0,43 см, что больше осадки в соседней точке восемь (8) в 1,59 раза. Относительный выгиб равен $K = 0,000025$. При увеличении нагрузки на фундамент тенденция развития осадки, сформированная на начальных периодах строительства здания, в общем, сохраняется. На участке между шестой (6) и восьмой (8) точками осадка фундамента выравнивается и меняется от 1,12 см до 1,15 см. При этом осадка угла здания (точка 9) увеличивается до 1,87 см, что в 1,64 раза больше средней на предыдущем участке (точки 6 и 8). Рост осадки в данной угловой точке при давлении $P = 153$ кПа составил 4,35 раза. Относительный выгиб фундамента по ближней стороне составил 0,00027. Таким образом, в полностью возведенном здании относительный выгиб по данным наблюдений вырос в 10,8 раз.

Очевидно, что в процессе строительства здания идет сложный процесс деформирования основания плитного фундамента. Во-первых, очевиден наклон плиты в сторону удаленной стороны с преобладающей осадкой удаленного левого угла. Для ближней стороны в целом осадка меньше противоположной стороны, но имеет место преобладающая осадка левого ближнего угла до величины в 1,11 раза меньше левого дальнего угла. Во-вторых, наличие прогибов и выгибов по противоположным сторонам фундаментной плиты свидетельствует о сложном напряженном состоянии материала фундамента, так как в плите фундамента растягивающие напряжения, в зависимости от ее участка, будут иметь место как в нижней, так и верхней зонах. Это подтверждается и характером развития осадок по торцам здания (рисунок 2в). Результаты расчетов, показанные на рисунке 2 (а...в), свидетельствуют о совершенно другой картине развития осадок в процессе строительства здания, и они полностью соответствуют положениям классической механики грун-

тов, показывающим, что при приложении нагрузки к гибкой плите, ее центр даст осадку в 1,24...1,57 раз большую, чем ее края [8]. Во всех случаях получена осадка значительно большая в центре плиты, чем по ее краям. При давлении на грунт $P = 65,0$ кПа осадки, полученные по двум схемам, полностью совпадают (рисунок 2а). При давлении $P = 153,0$ кПа учет жесткости верхнего строения несколько увеличивает осадку по углам здания, т. е. имеет место ее выравнивание, что положительно влияет на распределение внутренних усилий в фундаментной плите. Однако, очевиден тот факт, что расчетная осадка, незначительно отличающаяся от измеренной при $P = 65,0$ кПа, имеет существенное различие при давлении $P = 153,0$ кПа. Измеренные осадки в угловых точках в 1,59...2,03 раза (точка 1) и 1,73...1,85 раза (точка 4) больше расчетных.

Различие в осадках в точке 3 достигает уровня 1,83...1,86 раз. Для ближней стороны (рисунок 2б) наоборот, расчетные осадки больше измеренных. Здесь также расчетные осадки с учетом и без учета жесткости верхнего строения отличаются незначительно. На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что расчет фундаментной плиты, работающей совместно с грунтовым основанием с учетом и без учета жесткости верхнего строения, не оказывает существенного влияния на характер развития и величину осадки. Относительный прогиб при $P = 65,0$ кПа составляет в среднем 0,00022 по удаленной стороне и 0,00034 по ближней стороне. При давлении $P = 153,0$ кПа – $K = 0,00037$. Сопоставление графиков осадок показывает, что изменение жесткости здания практически не влияет на их величину.

Ю. В. Россирин [9] показал, что для любой точки сооружения, обладающего какой угодно жесткостью, отношение осадки S_{nt} к средней осадке сооружения $S_{cp,t}$ в любой момент времени t будет величиной постоянной равной:

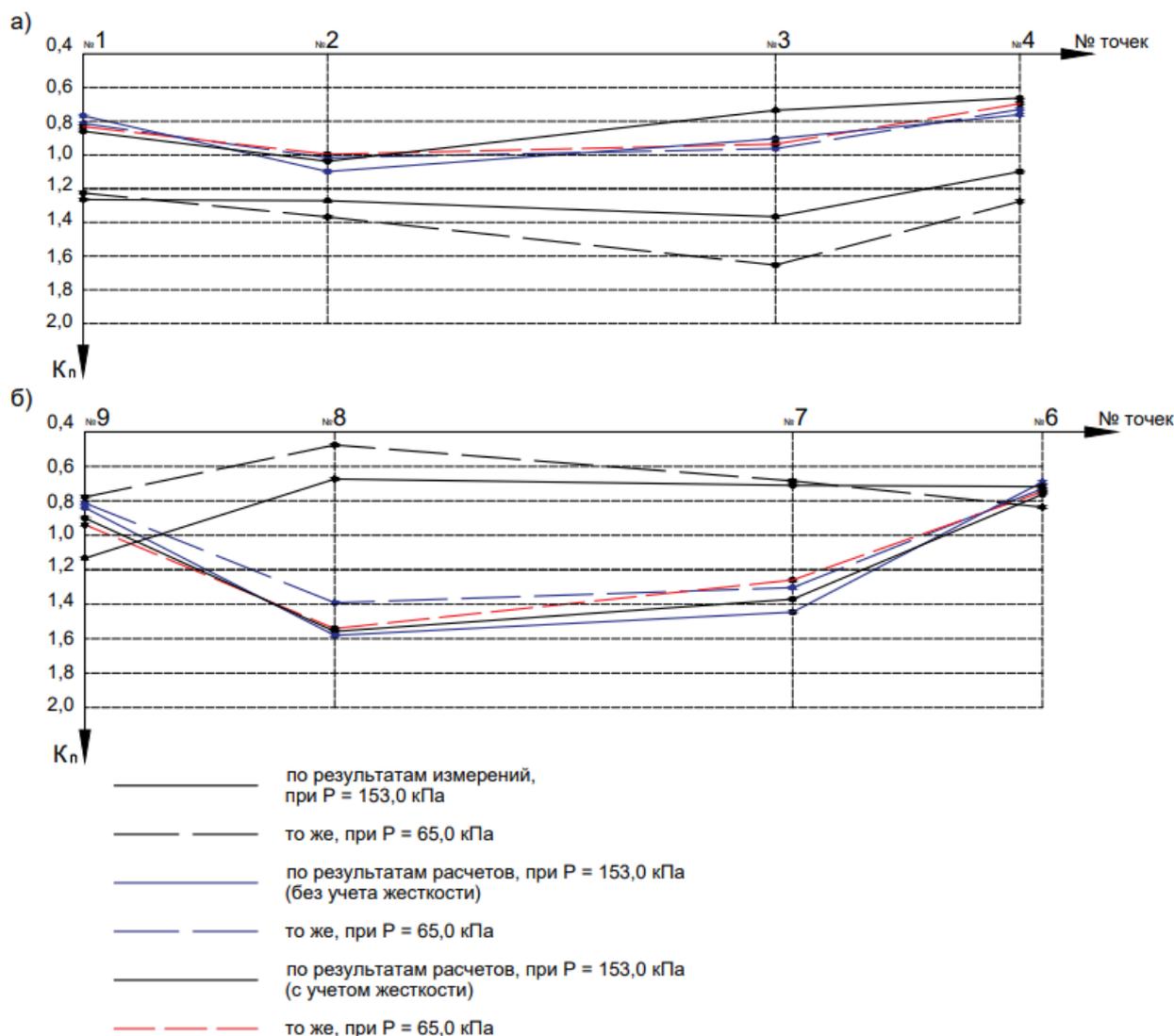
$$K_n = \frac{S_{nt}}{S_{cp,t}} \quad (4)$$

Следовательно, коэффициент K_n во всех случаях, можно принять не зависящим от времени ($\frac{\partial K_n}{\partial t} = 0$) ползучести системы

«сооружение – основание». Это означает, что сформированная в начальный период нагружения фундамента форма контактной поверхности будет сохраняться полностью, не претерпевая никаких изменений в процессе роста нагрузки до максимального значения. Учитывая это, нами выполнен анализ изменения K_n для различных точек при различных величинах нагрузки на фундамент.

На рисунке 3 построены графики изменения коэффициента осадки K_n для точек, в которых проводили геодезические наблюдения за осадками строящихся зданий в различные периоды их строительства, а также полученные по результатам расчетов с использованием программного комплекса «LIRA – SAPR».

Сравнение опытных значений K_n с расчетными показывает на их существенное различие.



а) и б) – вдоль соответствующих продольных наружных стен здания

Рисунок 3 – Изменение коэффициента осадки плитного фундамента крупнопанельного дома в процессе строительства

Значения коэффициента осадки по результатам наблюдений, выполненных в различные временные сроки от начала строительства зданий (при $P = 65,0$ кПа и $P = 153,0$ кПа) различаются от 0,96 до 1,2 раза. По результатам расчетов это различие составляет от 0,93 до 1,02 раз. Это означает, что коэффициент осадки при росте нагрузки на фундамент для одних и тех же точек меняется и по результатам наблюдений пределы изменений больше, чем по результатам вычислений.

Для участков по длине стены, где значения $K_n > 1,0$ – характерен прогиб, а если $K_n < 1,0$ – выгиб.

Несмотря на то, что графики изменения коэффициента осадки по длине здания в какой-то степени повторяют графики изменения осадки, они на наш взгляд являются более информативными с точки зрения деформирования фундаментной плиты при росте нагрузок. Как видно из рисунка 3 при осадке фундамента идет не строго его вертикальное перемещение, а имеет место движение его точек по сложной траектории, сопровождающееся изменением формы контактной поверхности и величин внутренних усилий в сечениях фундамента. И чем больше различие в значениях K_n при разных уровнях нагрузки, тем процессы формоизменения фундаментной плиты более значительны.

Деформация фундаментной плиты, работающей совместно с грунтовым основанием, имеет сложный характер. На начальном этапе нагружения наблюдается прогиб по удаленной стороне и выгиб по ближней. Рост нагрузки (рисунок 2) приводит к дальнейшему уплотнению основания под всей плитой, но в значительно большей степени это характерно для участка плиты от ее длинной стороны до середины по ширине. Различие в осадке по длинной стороне и по линии, проходящей через середину ширины плиты, колеблется от 1,64 раза (при $P = 65,0$ кПа) до 1,50 раза ($P = 153$ кПа). Для второй половины это различие составляет соответственно 0,84 и 0,97. Неравномерность осадки плиты очевидна. Максимальная осадка характерна для точки три (3), в точке четыре (4) она уменьшается. Для противоположной стороны наоборот, максимальное значение осадки характерно для угловой точки девять (9), а точка восемь (8) является граничной с точки зрения величины развития осадки. Такой сложный характер деформирования плиты может быть объяснен рядом причин: возникновением и развитием сдвиговых (пластических) деформаций под краями плиты, неравномерностью уплотнения, искусственного основания, выбранной схемой приложения нагрузки и др.

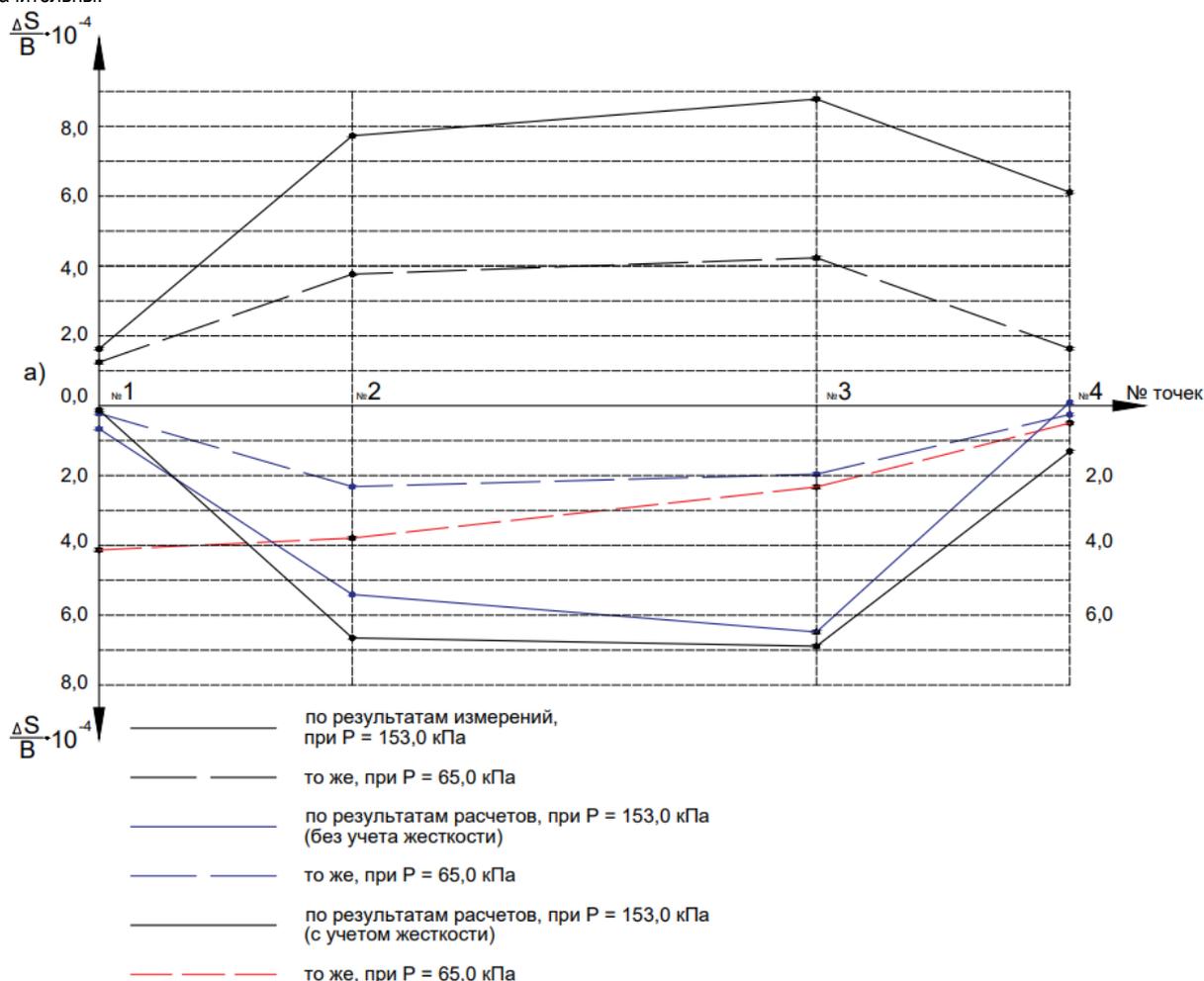


Рисунок 4 – Изменение относительного прогиба плитного фундамента крупнопанельного дома в процессе строительства вдоль продольных стен

Изменение формы контактной поверхности по мере роста нагрузки приводит к трансформации внутренних усилий.

Сравнение относительной разности осадок крайних противоположных точек здания (рисунок 4) показывает на их некоторое различие. По результатам измерений большая разница в осадках по всей длине здания характерна для промежуточных точек. С увеличением нагрузки на фундамент относительная разность осадок увеличивается. Тенденция роста сохраняется в течение всего периода строительства. Результаты расчетов относительной разности осадок показывают аналогичную картину их изменения в течение всего

периода строительства здания, однако с наклоном в противоположную сторону. Во всех случаях полученная разность осадок меньше предельной.

Имея фактические данные геодезических наблюдений за осадками строящихся зданий, возможно оценить жесткость системы «основание – фундамент – сооружение» по следующей формуле [9].

$$C_r = \frac{1 - \eta_{AB}}{\eta_{AB} \cdot (K_{nB} - 1) - (K_{nA} - 1)}, \quad (5)$$

где K_{nA} и K_{nB} – значения коэффициентов осадки K_n , определяемые по выражению (4):

$$\eta_{AB} = \frac{S_{At}}{S_{Bt}}, \quad (6)$$

где S_{At} и S_{Bt} – значения осадок каких-либо произвольных А (угловых) и В (промежуточных) точек здания в момент времени t в условиях одинаковых темпов роста нагрузки по всей площади передачи ее основанию.

Расчеты по определению коэффициента жесткости C_r по данным наблюдений и вычислений показали его изменение для различных моментов времени от 0,97 до 1,0. Следовательно, пользуясь классификацией, приведенной в [9], рассматриваемая система отвечает классу относительно гибких сооружений.

Рост нагрузки во времени на фундаменты или иначе изменение жесткости системы «основание – фундамент – сооружение» в ходе строительства влияние на развитие неравномерных осадок не влияет. Следовательно, основным фактором, влияющим на величину и характер распределения контактных напряжений, а также разности осадок, являются прочностные и деформативные характеристики грунтов оснований.

Заключение

1. Результаты расчетов с использованием модели Пастернака не сопоставимы с данными геодезических наблюдений за осадками возводимых зданий. Вызывает сомнение целесообразность ее использования при несогласном напластовании грунтов, что в инженерной практике является преобладающим фактором.

2. Общий характер развития деформаций здания, выявленный неравномерными осадками его основания, полученными при расчетах, представлен чашеобразным прогибом плитного фундамента прямоугольного в плане здания, нагружаемого нагрузкой, равномерно распределенной по поверхности однородного основания. В действительности характер развития деформаций весьма сложный, так контактная поверхность представлена участками с преобладающими осадками торцевых сторон плиты, что влечет за собой формирование выгибов.

3. Сформированная в начальный период строительства здания форма контактной поверхности, в целом сохраняется, хотя претерпевает некоторые изменения к моменту его завершения, т. е. приложения полной нагрузки. На наш взгляд, образованию такой сложной формы контактной поверхности способствует некачественная подготовка искусственного основания и принятая схема нагружения фундамента.

4. Неравномерные относительные осадки, полученные по результатам наблюдений и расчетов, не превышают допустимых. Однако, как правило, они больше по результатам наблюдений. С ростом нагрузки это различие возрастает и при увеличении P в 2,35 раза относительная разность в отдельных точках выше в 2,07 раза. Средняя осадка фундаментной плиты, полученная по результатам наблюдений в 1,21 раза больше S_{cp} , определенной расчетом без учета жесткости верхнего строения при полной нагрузке на основание. При $P = 65,0$ кПа, наоборот, больше средняя осадка, полученная расчетом по сравнению с наблюдаемой, соответственно в 1,24 и 1,33 раза.

5. Расчеты жесткости системы «основание – фундамент – сооружение» по данным наблюдений и вычислений показали, что рассматриваемая система может быть отнесена к относительно гибкой, т. е. показатель C_r близок к единице. Рост нагрузки во времени не влияет на величину коэффициента жесткости C_r . Основным фактором, влияющим на величину и характер изменения относительной разности осадок, являются инженерно-геологические условия строительной площадки.

6. Прогноз неравномерных осадок фундаментов по данным геодезических наблюдений показал существенное различие с данными расчета, что свидетельствует о необходимости их проведения с целью либо адаптации, либо непринятия определенных программных продуктов, не дающих требуемой достоверности результатов.

Список цитированных источников

1. Применение метода Б. Н. Жемочкина для совместного расчета системы «основание – фундамент – здание» [Электронный ресурс] // Н. Ю. Киселев [и др.] // Наукоеведение. – 2017. – Т. 3, № 4. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/60TVN417.pdf>. – Дата доступа: 12.07.2024.
2. Камаев, В. С. Экспериментально-теоретические исследования жесткостных параметров строительных конструкций и деформируемого основания / В. С. Камаев // Известия Петербургского государственного университета путей сообщения. – СПб. : ПГУПС, 2007. – № 3 (12). – С. 126–136.
3. Барвашов, В. А. Расчет осадок и кренов сооружений с учетом неопределенности свойств грунтов оснований / В. А. Барвашов, Г. Г. Болдырев, М. М. Уткин // Геотехника. – 2016. – № 1. – С. 4–21.
4. Барвашов, В. А. Мягкая математика в геотехнических расчетах / В. А. Барвашов, Г. Г. Болдырев // Инженерно-геологические задачи современности и методы их решения, Москва, 13–14 апреля 2017 г. – М. : Геомаркетинг, 2017. – С. 203–221.
5. Multi-storeved bulding slab foundation settlement / P. S. Poita [et al.] // Vestnik of Brest State Technical University. – 2023. – No. 3 (132). – P. 11–14. – <https://doi.org/10.36773/1818-1112-2023-132-3-11-14>.
6. Руководство по проектированию плитных фундаментов каркасных зданий и сооружений башенного типа / НИИОСП им. Н. М. Герсеванова. – М. : Стройиздат, 1984. – 263 с.
7. Болдырев, Г. Г. Сравнительная оценка результатов расчета фундаментной плиты различными методами [Электронный ресурс] / Г. Г. Болдырев, А. В. Гардеев. – Режим доступа: <https://npp-geotek.com/upload/iblock/b5a/b5aa5eef0e2855aed8711bcae96be843.pdf>. – Дата доступа: 03.07.2024.
8. Горбунов-Посадов, М. И. Расчет конструкций на упругом основании / М. И. Горбунов-Посадов, Г. А. Маликова, В. И. Соломин. – М. : Стройиздат, 1984. – 679 с.
9. Россихин, Ю. В. Опасные осадки сооружений / Ю. В. Россихин. – Рига : Зинатна, 1974. – 84 с.

References

1. Primenenie metoda B. N. ZHemochkina dlya sovmestnogo rascheta sistemy «osnovanie – fundament – zdanie» [Elektronnyj resurs] // N. YU. Kiselev [i dr.] // Naukovedenie. – 2017. – T. 3, № 4. – Rezhim dostupa: <http://naukovedenie.ru/PDF/60TVN417.pdf>. – Data dostupa: 12.07.2024.
2. Kamaev, V. S. Eksperimental'no-teoreticheskie issledovaniya zhestkostnyh parametrov stroitel'nykh konstrukcij i deformiruемого osnovaniya / V. S. Kamaev // Izvestiya Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya. – SPb. : PGUPS, 2007. – № 3 (12). – S. 126–136.
3. Barvashov, V. A. Raschet osadok i krenov sooruzhenij s uchetom neopredelennosti svoystv gruntovykh osnovanij / V. A. Barvashov, G. G. Boldyrev, M. M. Utkin // Geotekhnika. – 2016. – № 1. – S. 4–21.
4. Barvashov, V. A. Myagkaya matematika v geotekhnicheskikh raschetah / V. A. Barvashov, G. G. Boldyrev // Inzhenerno-geologicheskie zadachi sovremennosti i metody ih resheniya, Moskva, 13–14 aprelya 2017 g. – M. : Geomarketing, 2017. – S. 203–221.
5. Multi-storeved bulding slab foundation settlement / P. S. Poita [et al.] // Vestnik of Brest State Technical University. – 2023. – No. 3 (132). – P. 11–14. – <https://doi.org/10.36773/1818-1112-2023-132-3-11-14>.
6. Rukovodstvo po proektirovaniyu plitnykh fundamentov karkasnykh zdaniy i sooruzhenij bashennogo tipa / NIIOСП im. N. M. Gersevanova. – M. : Strojizdat, 1984. – 263 s.
7. Boldyrev, G. G. Sravnitel'naya ocenka rezul'tatov rascheta fundamentnoj plity razlichnymi metodami [Elektronnyj resurs] / G. G. Boldyrev, A. V. Gardeev. – Rezhim dostupa: <https://npp-geotek.com/upload/iblock/b5a/b5aa5eef0e2855aed8711bcae96be843.pdf>. – Data dostupa: 03.07.2024.
8. Gorbunov-Posadov, M. I. Raschet konstrukcij na uprugom osnovanii / M. I. Gorbunov-Posadov, G. A. Malikova, V. I. Solomin. – M. : Strojizdat, 1984. – 679 s.
9. Rossihin, YU. V. Opasnye osadki sooruzhenij / YU. V. Rossihin. – Riga : Zinatna, 1974. – 84 s.

Материал поступил 22.07.2024, одобрен 23.07.2024, принят к публикации 23.07.2024

УДК 681.5+621.52

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОЗИЦИОННОГО ПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА

О. Н. Прокопеня¹, Л. И. Вабищевич², О. Г. Прожихко³, А. С. Лапука⁴¹ К. т. н., доцент, заведующий кафедрой автоматизации технологических процессов и производств УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: olegprokopenya@mail.ru² К. т. н., доцент, доцент кафедры автоматизации технологических процессов и производств УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: vabik1948@mail.ru³ Магистр, аспирант кафедры автоматизации технологических процессов и производств УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: prozhizhko_og@mail.ru⁴ 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 регулируемым углом поворота. 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 позиционных приводов.

Ключевые слова: привод постоянного тока, регулирование углового перемещения, оптимальный привод.

DC POSITION DRIVE OPTIMIZATION

O. N. Prokopenya, L. I. Vabishchevich, 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 position. 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 positioning drives are proposed.

Keywords: DC drive, position control, optimal drive.

Введение

Для приводов, работающих в повторно-кратковременном режиме, является актуальной задача минимизации энергопотребления, поскольку повышенные потери энергии имеют место в периоды пуска и торможения, когда ток двигателя принимает пиковое значение. В этой связи возникает задача оптимизации работы привода 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] и именуется аналитическим конструированием регулятора. Данная задача была решена для привода постоянного тока с регулируемой скоростью [2, 3]. В составе роботов чаще всего используются позиционные приводы, представляющие собой систему третьего порядка, в которой регулируемой переменной является угловое или линейное перемещение выходного звена.

В данной работе предпринята попытка аналитического решения задачи оптимизации для указанной системы.

Постановка задачи

На основе аналитического решения оптимизационной задачи для позиционного привода постоянного тока необходимо получить математические зависимости, позволяющие рассчитывать оптимальные значения коэффициентов обратной связи по перемещению, скорости и току двигателя в зависимости от элементов, входящих в критерий оптимизации матриц Q и R , которые определяют качество переходного процесса и количество затрачиваемой на регулирование энергии. Это

дает возможность с помощью математической модели исследовать влияние коэффициентов данных матриц на показатели качества переходного процесса и потери в приводе и сформулировать рекомендации по выбору коэффициентов данных матриц при расчете и проектировании оптимального привода.

Решение задачи оптимизации

Исходные уравнения, описывающие динамику привода,

$$\dot{\alpha} = k_p \omega; \quad (1)$$

$$J_{пр} \cdot \dot{\omega} = C_M \cdot I_{я}, \quad (2)$$

$$L_{я} \cdot \dot{I}_{я} + R_{я} \cdot I_{я} + C_e \cdot \omega = k_y U_{я}, \quad (3)$$

где α – угол поворота выходного звена; ω – угловая скорость двигателя; $I_{я}$ – ток якоря двигателя; $J_{пр}$ – приведенный к валу двигателя момент инерции привода; $L_{я}$ – индуктивность обмотки якоря; k_p и k_y – коэффициенты передачи редуктора и силового преобразователя.

При их приведении к виду уравнений состояния

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (4)$$

матрицы объекта имеют вид

$$A = \begin{bmatrix} 0 & k_p & 0 \\ 0 & 0 & \frac{c_M}{J_{\text{ПР}}} \\ 0 & -\frac{c_e}{L_{\text{Я}}} & -\frac{R_{\text{Я}}}{L_{\text{Я}}} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{k_y}{L_{\text{Я}}} \end{bmatrix}, \quad (6)$$

где A и B – матрицы объекта; x – вектор переменных состояния (в нашем случае α , ω , $I_{\text{Я}}$); u – вектор управления.

Критерий качества регулирования (на интервале времени $t_0 - t_k$)

$$I = \int_{t_0}^{t_k} (u^T R u + x^T Q x) dt, \quad (7)$$

где R – симметричная, положительно-определенная матрица весовых коэффициентов, определяющих затраты на управление;
 Q – симметричная, неотрицательно-определенная матрица весовых коэффициентов, определяющих качество переходного процесса.

$$u^* = -k_1 \alpha - k_2 \omega - k_3 I_{\text{Я}} = -\frac{k_y}{L_{\text{Я}} R} p_{13} \alpha - \frac{k_y}{L_{\text{Я}} R} p_{23} \omega - \frac{k_y}{L_{\text{Я}} R} p_{33} I_{\text{Я}}. \quad (12)$$

Таким образом, для построения оптимальной системы требуется нахождение только трех элементов p_{13} , p_{23} и p_{33} последнего столбца матрицы \bar{P} .

Оптимальное значение критерия

$$I^* = x^T P(t) x, \quad (8)$$

где $P(t)$ – весовая матрица (в общем случае зависящая от времени).

Постоянные значения весовой матрицы получаются при оптимизации на бесконечном интервале времени и находятся из решения алгебраического уравнения [1]

$$PA + A^T P - PBR^{-1}B^T P + Q = 0. \quad (9)$$

Найденную матрицу постоянных коэффициентов обозначаем \bar{P} .

При этом оптимальное управление

$$u^* = -Kx, \quad (10)$$

где $K = R^{-1}B^T \bar{P}$ – матрица коэффициентов обратной связи по переменным состояния.

В нашем случае (для системы третьего порядка) требуется нахождение коэффициентов k_1 , k_2 , k_3 матрицы K .

Для системы с одним входом матрица R состоит из одного элемента. Обозначим

$$R = [r]. \quad (11)$$

С учетом (6) и (11) закон оптимального управления

Матрицу Q , входящую в критерий (7), принимаем в виде

$$Q = \begin{bmatrix} q_{11} & 0 & 0 \\ 0 & q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & q_{33} \end{bmatrix} \quad (13)$$

Уравнение (9) после подстановки матриц (5), (6), (12), (13) приводится к виду

$$\begin{bmatrix} \frac{k_y^2}{L_{\text{Я}}^2 r} p_{13}^2 - q_{11} & \frac{k_y^2}{L_{\text{Я}}^2 r} p_{13} p_{23} - k_p p_{11} + \frac{c_e}{L_{\text{Я}}} p_{13} & \frac{k_y^2}{L_{\text{Я}}^2 r} p_{13} p_{33} - \frac{c_M}{J_P} p_{12} + \frac{R_{\text{Я}}}{L_{\text{Я}}} p_{13} \\ X & \frac{k_y^2}{L_{\text{Я}}^2 r} p_{13} - 2k_p p_{12} + \frac{2c_e}{L_{\text{Я}}} p_{23} - q_{22} & \frac{k_y^2}{L_{\text{Я}}^2 r} p_{23} p_{33} - k_p p_{13} - \frac{c_M}{J_P} p_{22} + \frac{R_{\text{Я}}}{L_{\text{Я}}} p_{23} + \frac{c_e}{L_{\text{Я}}} p_{33} \\ X & X & \frac{k_y^2}{L_{\text{Я}}^2 r} p_{33}^2 - \frac{2c_M}{J_P} p_{23} + \frac{2R_{\text{Я}}}{L_{\text{Я}}} p_{33} - q_{33} \end{bmatrix} = 0. \quad (14)$$

Элементы, обозначенные «X», равны соответствующим элементам над главной диагональю, поскольку матрица является симметричной.

Для нахождения p_{13} , p_{23} и p_{33} , которые входят в закон управления (12), приравняем к нулю следующие элементы матрицы (14)

$$\frac{k_y^2}{L_{\text{Я}}^2 r} p_{13}^2 - q_{11} = 0; \quad (15)$$

$$\frac{k_y^2}{L_{\text{Я}}^2 r} p_{13} p_{33} - \frac{c_M}{J_P} p_{12} + \frac{R_{\text{Я}}}{L_{\text{Я}}} p_{13} = 0; \quad (16)$$

$$\frac{k_y^2}{L_{\text{Я}}^2 r} p_{23}^2 - 2k_p p_{12} + \frac{2c_e}{L_{\text{Я}}} p_{23} - q_{22} = 0; \quad (17)$$

Из (15) находим

$$p_{13} = \frac{L_{\text{Я}}}{k_y} \sqrt{q_{11} R}. \quad (19)$$

Из (19) и (12) получаем оптимальное значение

$$k_1 = \sqrt{q_{11} / R}. \quad (20)$$

Таким образом, оптимальное значение коэффициента обратной связи по перемещению определяется только значениями матриц критерия оптимизации и не зависит от матриц объекта управления.

Из уравнений (16), (17), исключая p_{12} , находим

$$p_{33} = \frac{c_M}{2k_P J_P p_{13}} p_{23}^2 + \frac{c_e c_M L_{Я} R}{k_P k_y^2 J_P p_{13}} p_{23} - \frac{R_{Я} L_{Я} R}{k_y^2} - \frac{c_M L_{Я}^2 R}{2k_P k_y^2 J_P p_{13}} q_{22}. \quad (21)$$

Из уравнения (18)

$$p_{33} = \frac{L_{Я} R}{k_y} \left[-\frac{R_{Я}}{k_y} + \sqrt{\frac{R_{Я}^2}{k_y^2} + \frac{2c_M L_{Я}}{J_P R} p_{23} + \frac{q_{33}}{R}} \right]. \quad (22)$$

К сожалению, из (21), (22) не удается в чистом виде выразить p_{23} , p_{33} .

Из (21) и (12) с учетом (20) получаем

$$k_3 = \frac{c_M \sqrt{R/q_{11}}}{2k_P J_P} k_2^2 + \frac{c_e c_M \sqrt{R/q_{11}}}{k_P k_y J_P} k_2 - \frac{R_{Я}}{k_y} - \frac{c_M}{2k_P J_P \sqrt{Rq_{11}}} q_{22}. \quad (23)$$

Из (22) и (12) с учетом (20) получаем

$$k_3 = -\frac{R_{Я}}{k_y} + \sqrt{\frac{R_{Я}^2}{k_y^2} + \frac{2c_M L_{Я}}{J_P k_y} k_2 + \frac{q_{33}}{R}}. \quad (24)$$

Методика исследований

Для оценки показателей качества переходного процесса и потерь энергии разработана математическая модель привода в приложении Simulink, которая приведена на рисунке 1.

Совместное решение (23), (24) графическим или итерационным методом позволяет определить оптимальные значения k_2 и k_3 .

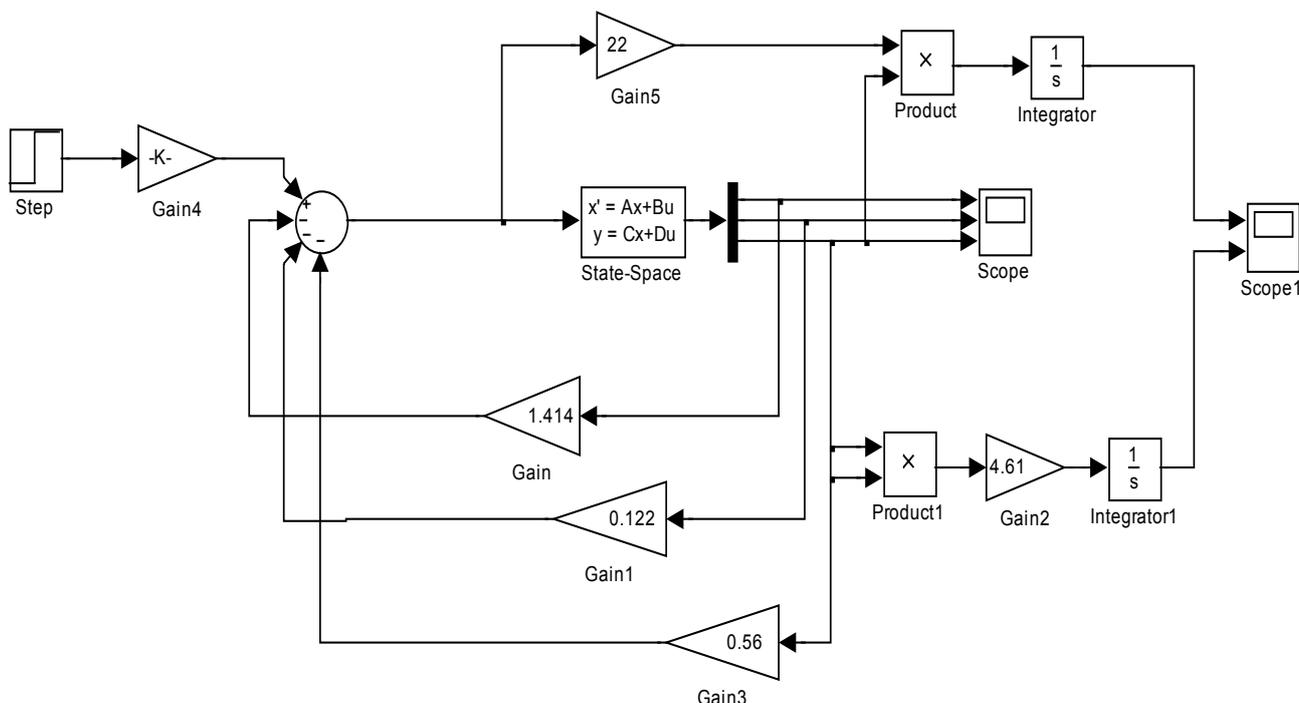


Рисунок 1 – Модель привода в приложении Simulink

В модели предусмотрен вывод на осциллограф Scope переменных состояния: угла поворота выходного вала α (она же является выходной переменной), угловой скорости ω и тока якорной обмотки $I_{Я}$. 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.

Первая кривая учитывает накопление энергии ротором двигателя (пик кривой) и ее возврат источнику при торможении ротора. Установившиеся значения по двум кривым совпадают и соответствуют потерям энергии (рассеянии на активном сопротивлении обмотки ротора).

Процедура анализа реализуется следующим образом. При заданных значениях элементов матриц Q и R вычисляются значения k_1 , k_2 и k_3 по (20), (23), (24). 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. В качестве показателей качества переходного процесса приняты время регулирования t_p (вычисляется при допустимом отклонении регулируемой переменной 2 %) и перерегулирование σ , а в качестве показателя энергоэффективности – потери энергии в приводе за время переходного процесса ΔP . Данные показатели приводятся в таблицах 1–4.

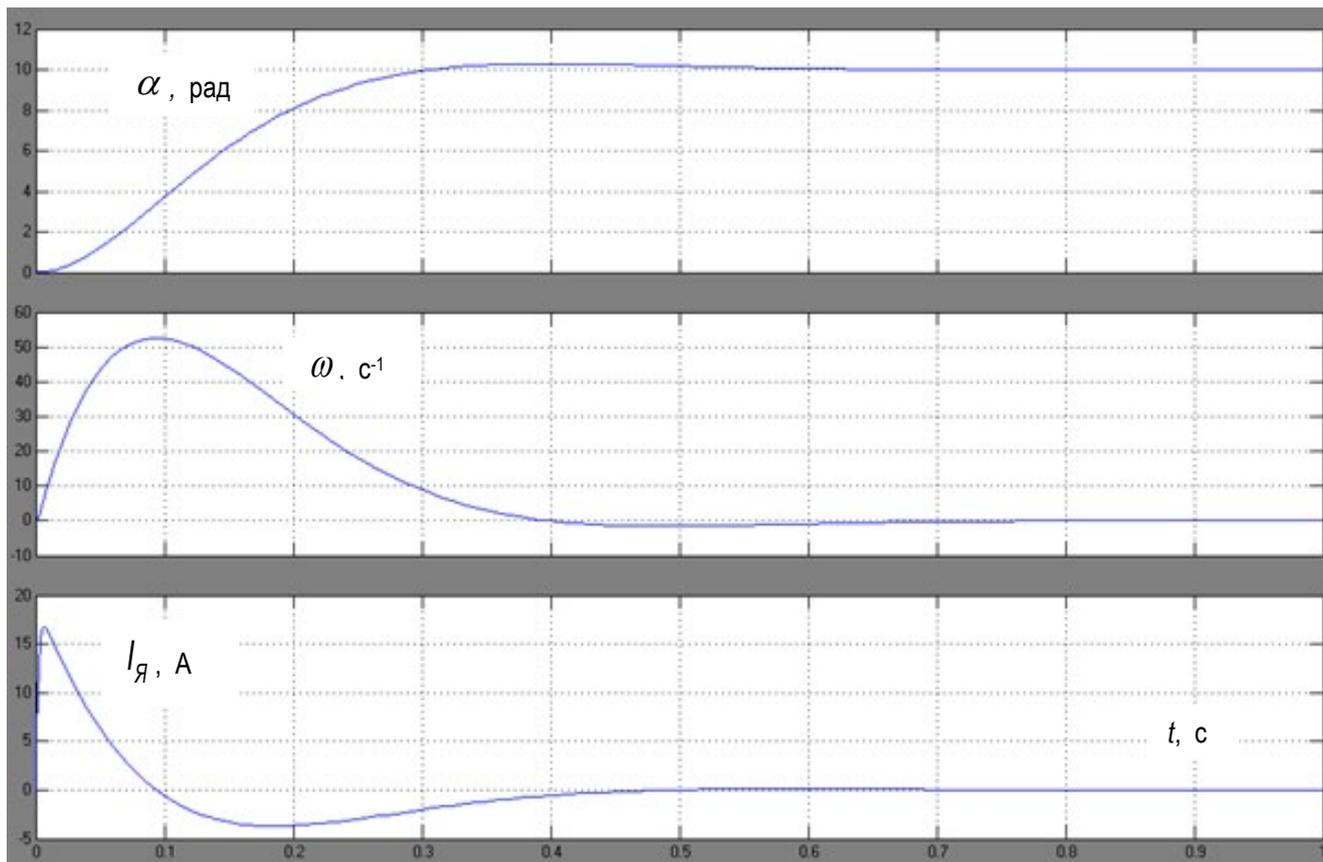


Рисунок 2 – Осциллограммы изменения угла поворота выходного вала, угловой скорости и тока двигателя

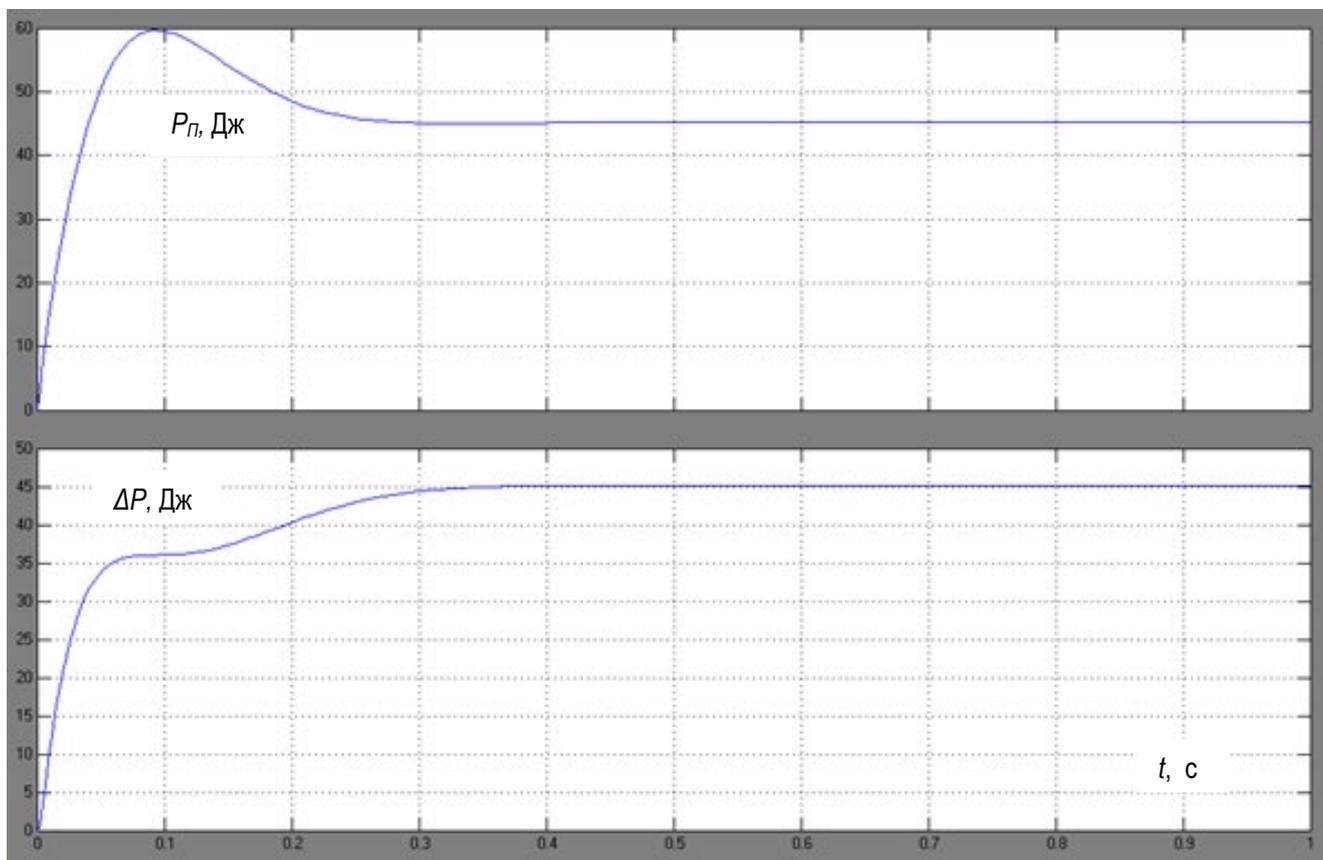


Рисунок 3 – Осциллограммы изменения потребленной энергии и потерь энергии

Таблица 1 – Результаты моделирования при $q_{11} = 1, q_{22} = 0, q_{33} = 0$

r	1	2	3	4	5	10
k_1	1,0000	0,7071	0,5774	0,5000	0,4472	0,3162
k_2	0,0393	0,0291	0,0244	0,0214	0,0194	0,0141
k_3	0,0189	0,0142	0,0119	0,0105	0,0095	0,0070
t_p, c	0,249	0,337	0,421	0,483	0,539	0,761
$\sigma, \%$	0	0	0	0	0	0
$\Delta P, Дж$	148	86	59	46	38	20

Таблица 2 – Результаты моделирования при $q_{11} = 1, q_{22} = 1, q_{33} = 0$

r	1	2	3	4	5	10
k_1	1,0000	0,7071	0,5774	0,5000	0,4472	0,3162
k_2	0,9503	0,6572	0,5275	0,4503	0,3977	0,2676
k_3	0,2846	0,2176	0,1843	0,1631	0,1479	0,1072
t_p, c	3,91	0,337	3,95	3,96	3,97	3,99
$\sigma, \%$	0	0	0	0	0	0
$\Delta P, Дж$	6,21	5,02	4,48	4,12	3,81	3,05

Таблица 3 – Результаты моделирования при $q_{11} = 1, q_{22} = 1, q_{33} = 1$

r	1	2	3	4	5	10
k_1	1,0000	0,7071	0,5774	0,5000	0,4472	0,3162
k_2	0,9585	0,6624	0,5315	0,4536	0,4005	0,2693
k_3	0,9067	0,6172	0,4900	0,4146	0,3635	0,2384
t_p, c	3,94	3,95	3,95	3,95	3,95	3,96
$\sigma, \%$	0	0	0	0	0	0
$\Delta P, Дж$	2,71	2,62	2,53	2,44	2,35	2,12

Таблица 4 – Результаты моделирования при $q_{11} = 1, q_{22} = 0, q_{33} = 1$

r	1	2	3	4	5	10
k_1	1,0000	0,7071	0,5774	0,5000	0,4472	0,3162
k_2	0,1181	0,0743	0,0560	0,0456	0,0388	0,0234
k_3	0,8243	0,5385	0,4142	0,3414	0,2925	0,1763
t_p, c	0,67	0,43	0,47	0,51	0,56	0,76
$\sigma, \%$	2,8	1,8	1,0	0,5	0	0
$\Delta P, Дж$	17,2	15,7	14,6	13,7	12,8	9,95

Из полученных результатов следует, что увеличение значения r матрицы R приводит к снижению потерь во всех случаях. Наиболее сильно данный эффект проявляется при $q_{11} = 1$ и нулевых значениях q_{22}, q_{33} . При последовательном увеличении до единицы элементов q_{22}, q_{33} влияние r на величину потерь ослабевает. Из таблиц 1–4 следует, что значение r целесообразно всегда принимать в пределах 4...10. При этом обеспечивается практически монотонный переходный процесс (отсутствие перерегулирования). Дальнейшее увеличение r снижает потери не существенно. В то же время увеличение r приводит к уменьшению k_1 , что в определенных случаях может иметь свои неудобства. Поэтому принимать $r > 10$ вряд ли целесообразно. При выборе r из указанного диапазона можно исходить, в том числе, из наиболее приемлемого значения k_1 .

Следует отметить, что увеличение q_{22} и q_{33} приводит к весьма интенсивному снижению потерь, но и столь же существенному увеличению длительности переходного процесса, как следует из таблиц 2, 3. Получаемое время регулирования (до 4 с) в большинстве случаев не приемлемо. Длительность переходного процесса при этом практически не зависит от r .

Наиболее предпочтительный вариант, когда элементы матрицы Q имеют значения $q_{11} = 1, q_{22} = 0, q_{33} = 1$ (см. таблицу 4). В сравнении с вариантом $q_{11} = 1, q_{22} = 0, q_{33} = 0$ (см. таблицу 1) в диапазоне $r = 4...10$ время регулирования практически одинаково, а потери уменьшились в 2...3,5 раза. Таким образом, при выборе элементов матрицы Q можно использовать следующий подход. Принять $q_{11} = 1, q_{33} = 1$, а q_{22} увеличивать, пока время регулирования не достигнет максимально допустимого значения. В этом случае потери будут минимальны при заданной длительности переходного процесса.

В соответствии с полученной аналитической зависимостью для оптимального значения коэффициента k_1 , оно определяется только соотношением q_{11}/r . Поэтому в соответствии с рекомендуемым диапазоном для выбора r (4...10) k_1 можно принимать в диапазоне 0,5...0,3. Для коэффициентов k_2 и k_3 соответствующие оптимальные значения можно определить только совместным решением (23), (24) итерационным методом.

Анализ результатов расчета показывает, что увеличение q_{22} , как и увеличение q_{33} , приводит к одновременному росту обоих коэффициентов k_2 и k_3 . В то же время увеличение r приводит к уменьшению всех трех коэффициентов обратной связи. Поэтому оценить влияние на величину потерь и показатели качества каждого коэффициента (k_1, k_2 и k_3) в отдельности сложно.

Заключение

В результате решения задачи оптимального управления для позиционного привода постоянного тока получены аналитические зависимости для расчета коэффициентов обратной связи по углу поворота выходного вала, угловой скорости и току двигателя. Это позволяет синтезировать оптимальный привод инженерным расчетом, не прибегая каждый раз к процедуре оптимизации. При этом коэффициент обратной связи по положению однозначно определяется значениями матриц Q и R , а коэффициенты обратной связи по скорости и току зависят также от параметров двигателя и могут быть вычислены на основе полученных аналитических выражений итерационным методом.

Анализ результатов расчета оптимального привода при варьировании значениями матриц Q и R показал, что увеличение значения r матрицы R во всех случаях приводит к уменьшению потерь в приводе, при этом целесообразно принимать r в диапазоне 4...10, что обеспечивает отсутствие перерегулирования. Увеличение элементов q_{22}, q_{33} матрицы Q приводит к интенсивному снижению потерь в приводе, сопровождающемуся интенсивным ростом времени регулирования (снижением быстродействия привода). Наиболее рациональным является сочетание $q_{11} = 1, q_{22} = 0, q_{33} = 1$, при котором обеспечивается существенное снижение потерь в приводе без заметного уменьшения быстродействия. При этом дальнейшее снижение потерь может быть достигнуто за счет увеличения q_{22} в пределах, определяемых допустимым увеличением времени регулирования. Выявленные закономерности и сформулированные на их основе рекомендации позволяют целенаправленно подойти к выбору матриц Q и R при проектировании оптимальных приводов.

Список цитированных источников

1. Солодовников, В. В. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования / В. В. Солодовников, В. Н. Плотников, А. В. Яковлев. – М. : Машиностроение, 1985. – 536 с.
2. Оптимизация привода постоянного тока с регулируемой скоростью / О. Н. Прокопеня [и др.] // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2023. – № 2. – С. 93–96.
3. Супрунчук, П. Д. Оптимальный электропривод постоянного тока / П. Д. Супрунчук, О. Н. Прокопеня, О. Г. Прожизко // Новые технологии и материалы, автоматизация производства : сборник статей / Брестский государственный технический университет. – Брест : БрГТУ, 2021. – С. 20–25.

References

1. Solodovnikov, V. V. Osnovy teorii i elementy sistem avtomaticheskogo regulirovaniya / V. V. Solodovnikov, V. N. Plotnikov, A. V. Yakovlev. – M. : Mashinostroenie, 1985. – 536 c.
2. Optimizatsiya privoda postoyannogo toka s reguliruemoy skorost'yu / O. N. Prokopenya [i dr.] // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2023. – № 2. – S. 93–96.
3. Suprunchuk, P. D. Optimal'nyy 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 : BrGTU, 2021. – S. 20–25.

Материал поступил 11.03.2024, одобрен 28.03.2024, принят к публикации 28.03.2024

БЕСПИЛОТНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ ТЕЛЕЖКИ – БУДУЩАЯ ОСНОВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛИНИЙ МЯСОЖИРОВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

В. С. Маковеев¹, Е. В. Швецова²

¹ Инженер-программист кафедры интеллектуальных информационных технологий УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: makoveyev.vitaliy@gmail.com

² Старший преподаватель кафедры интеллектуальных информационных технологий УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: helengood@gmail.com

Реферат

Предложена схема компоновки цеха мясожирового производства на базе беспилотных транспортных тележек. Такой подход имеет большие перспективы, так как объединяет в себе положительные качества двух топологий организации конвейерных линий: линейную и радиальную. Пока на предприятиях мясной индустрии роботизированные беспилотные тележки не используются. За ними – будущее.

Ключевые слова: мясожировой цех, топологический маршрут, беспилотная транспортная тележка, автоматизация операций.

UNMANNED TRANSPORT CARTS – THE FUTURE BACKBONE OF MEAT PROCESSING LINES

V. S. Makoveev, E. V. Shviatsova

Abstract

The scheme of the layout of meat and fat production shop based on unmanned transport carts is proposed. This approach has great prospects, as it combines the positive qualities of two topologies of conveyor lines organization: linear and radial. So far, robotic unmanned carts have not been used in the meat industry. They are the future.

Keywords: meat and fat workshop, topological route, unmanned transport truck, automation of operations.

Введение

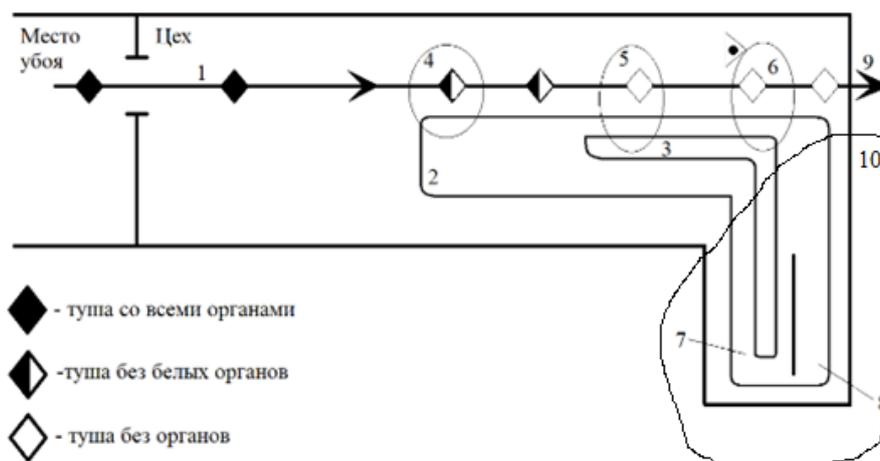
Основу мясной отрасли в Республике Беларусь и других стран СНГ составляют мясокомбинаты. Однако сегодня в этих странах создаются отдельные мясожировые и мясоперерабатывающие комплексы предприятий и производств [1].

В настоящей работе транспортное оборудование рассматривается, как центральное и основное в цепочке технологического оборудования (ТО) мясожировых производств. Транспортировка продукции – основная операция во всем технологическом процессе. Начинается она сразу после убоя животного и заканчивается складом готовой продукции (холодильная камера). При этом процесс транспортировки одновременно сопровождается выполнением различных технологических операций. Поэтому вокруг транспортного оборудования сосредоточены все машины и оборудование, способствующее быстрому и качественному процессу переработки животноводческого сырья.

1 Конвейеры, подвесной и напольный путь, межоперационный транспорт

Технологическая схема линейной топологии транспортировки при разделке свиней и КРС представлена на рисунке 1. Согласно классификации транспортных систем мясожировых производств данной в работе [2] линии транспортировки делятся на линейные и радиальные. В обеих транспортных системах общей частью является центральный конвейер 1 — подвесной трубчатый путь. Туши и полутуши по подвесному трубчатому пути транспортируются с помощью подвесных конвейеров от места убоя и вплоть до склада готовой продукции 9 (рисунок 1). Туша со всеми органами на рисунке

1 обозначена знаком (◆).



◆ – туша со всеми органами; ◆ – туша без белых органов; ◇ – туша без органов;

1 – центральный конвейер для туш; 2 – ленточный конвейер для белых органов; 3 – подвесной конвейер для красных органов;

4 – участок конвейера 1 для выемки белых органов; 5 – участок конвейера 1 для выемки красных органов;

6 – позиция ветеринарного осмотра субпродуктов и полутуш; 7 – участок обработки красных органов; 8 – участок обработки белых органов;

9 – холодильная камера; 10 – область транспортировки белых и красных органов

Рисунок 1 – Топологическая схема линейной линии разделки скота

Транспортирование белых органов от позиции нутровки 4 к позиции ветеринарной инспекции 6, и далее на участок их обработки 8, осуществляется с помощью ленточного транспортера 2, который представляет собой систему из двух ленточных транспортеров, перпендикулярно расположенных относительно друг друга, оснащенных стерилизаторами лент.

Красные органы вынимаются из туши на позиции 5 и транспортируются с помощью подвешного конвейера 3, оснащенного крюками и стерилизаторами через позицию 6 ветеринарного осмотра на участок их обработки 7.

Итак, в позиции 6 выполняется одновременный ветеринарный осмотр врачом белых, красных органов и туши (◇). Здесь знак (◇) означает, что после позиций 4 и 5 туша остается без внутренних органов и движется через площадку ветеринарного осмотра 6 (на рисунке 1 врач изображен треугольником с точкой внутри) в холодильную камеру 9. От позиции 6 все три конвейера (подвешной центральный 1, напольный ленточный белых органов 2 и подвешной красных органов 3) расходятся каждый по своему направлению.

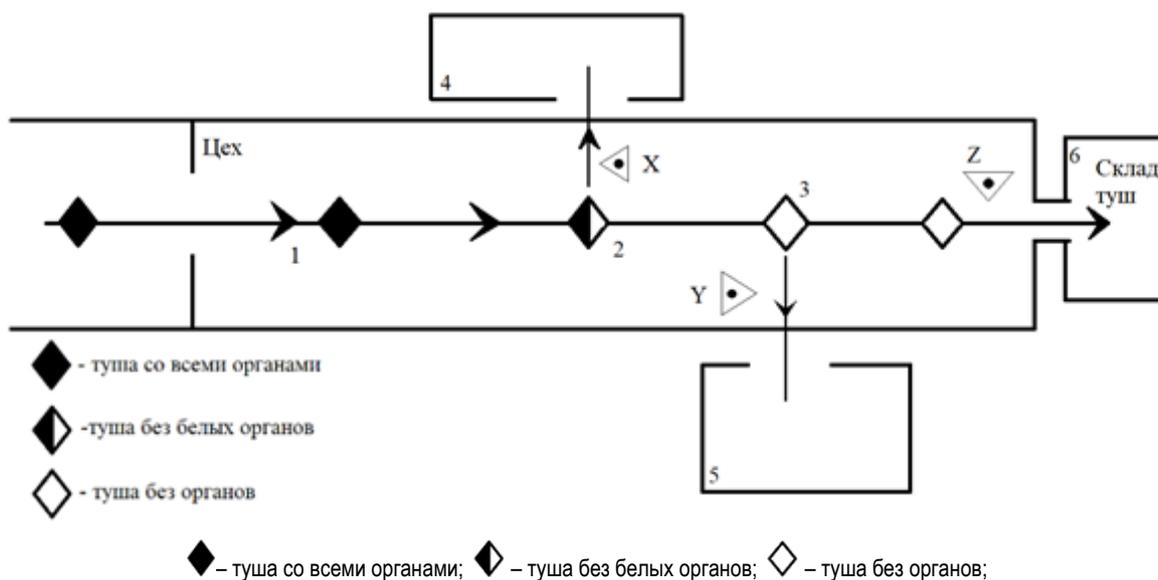
После ветеринарного осмотра туши и внутренностей принимается решение о качестве туши и целесообразности её дальнейшего использования. После чего туша отправляется в холодильную камеру 9 для дальнейшей реализации в торговой сети.

Линейную топологию транспортной системы цеха можно представить в форме двух частей. К первой части относится пространство цеха от места убоя животного вдоль центрального конвейера 1 до места осмотра ветврачом 6 всех составляющих частей животного. На этом участке, назовем его рабочим, выполняются две важные технологические операции по выемке внутренних органов туш и размещении их на конвейеры 2 и 3. После позиции 6 конвейера 2 и 3 выходят из рабочей зоны, и у них остается единственная функция, а именно, транспортировки их содержимого в места обработки 7 и 8.

Обозначение «классическая схема транспортировки» связано с тем, что данная топология широко используется на большинстве мясокомбинатов как в Республике Беларусь, так и в Российской Федерации.

Достоинством линейной топологии построения системы транспортировки является то, что ветеринарный осмотр всех составных частей одного животного делается одновременно и в одном месте, что позволяет при выявлении заболевания одного органа принимать решение о частичной или полной браковке других органов на основании диаграмм взаимовлияний органов друг на друга.

Другим типом организации цеха разделки скота является радиальная топология. Она более компактна, вспомогательные конвейера белых и красных органов при этой топологии имеют небольшую длину и не имеют изгибов. На рисунке 2 приведена радиальная топологическая схема линии.



1 – центральный конвейер для туш; 2 – участок конвейера 1 для выемки белых органов; 3 – участок конвейера 1 для выемки красных органов; 4 – участок переработки белых органов; 5 – участок переработки красных органов; 6 – холодильная камера

Рисунок 2 – Радиальная топологическая схема линии разделки скота

Так, от центрального конвейера 1, перпендикулярно ему от позиции 2 и 3 отходят вспомогательные конвейера белых и красных органов соответственно. То есть, в отличие от линейной схемы эти конвейера не следуют параллельно основному конвейеру до пункта 6 единого ветеринарного досмотра всех органов сразу, как это было при линейной топологии на рисунке 1.

Рассмотрим работу радиальной схемы компоновки цеха.

На первом этапе туша (◆), прошедшая первичную обработку в подготовительном пункте (обездвиживание, убой, снятие шкуры и т. д.), закрепляется на конвейере 1 для дальнейшей обработки. В позиции 2 вынимаются белые органы, в позиции X происходит их ветеринарный осмотр и принимается решение о дальнейшем использовании. Белые органы, удовлетворяющие качеству, транспортируются на переработку в позицию 4. Туша без белых органов (◆) направляется в позицию 3, где вынимают красные органы. Красные органы, прошедшие ветосмотр в позиции Y, отправляются на переработку в позицию 5.

Туша без органов (◇) проходит ветеринарный осмотр в позиции Z. После осмотра туша отправляется на склад в позицию 6.

Достоинством данной схемы является небольшая длина конвейеров для транспортирования белых и красных органов.

2 Беспилотные транспортные тележки для мясозирового производства

Беспилотные транспортные средства (БТС) в последние два десятилетия занимают существенную нишу в технологическом развитии общества [3–6]. Разработаны беспилотные автомобили, которые в настоящее время проходят тестирование на автомагистралях [7, 8]. В последние годы наблюдается рост интереса среди ученых и производителей автотранспорта к беспилотным автомобилям, способным перемещаться по дорогам без участия человека [9–13].

Особое место в развитии беспилотного транспорта занимают так называемые беспилотные тележки (БТ). Они уже сейчас используются в складских помещениях, заводских цехах, в некоторых крупных портах для автономного перемещения грузов. Перспектива их применения довольно широка: подвоз комплектующих со склада на сборочный участок, отвоз готовых изделий от металлообрабатывающих станков на промежуточный склад хранения и т. д. Многие передовые страны (Германия, Дания, Япония, Россия) производят их серийно.

Сегодняшний успех БТ на предприятиях можно объяснить тем, что маршруты их движения заранее запрограммированы, а все препятствия и «неожиданности» устранены. Кроме того, они движутся медленно, выдерживая между собой дистанцию около метра, для чего оснащены достаточно простыми и надежными устройствами безопасности, предотвращающими столкновения. Погодные условия для них совсем не проблема, так как они функционируют внутри помещения. А сбои в работе не страшны, поскольку техники по обслуживанию всегда рядом.

Кстати, сегодня только на больших заводах и крупных складах в Европе работает более 30 000 роботизированных тележек. В мясожировом производстве они пока не нашли применения, хотя их эффективность и возможности не вызывают сомнений. В следующем разделе будет приведена схема их использования в цехе на линии разделки скота.

Беспилотная тележка (AGV – Automatic guided vehicle) – транспортер с электроприводом, предназначенный для перемещения грузов. Тележка автоматическая, а это значит, что для ее обслуживания не нужен отдельный оператор – тележки движутся по заданной траектории в автономном режиме без участия человека.

Беспилотная тележка снабжена всеми необходимыми системами и элементами безопасности, может эксплуатироваться на вредных или опасных производствах, местах скопления людей и других движущихся тележек.

В зависимости от типа, беспилотная тележка работает:

- 1) буксиром, перевоза другие тележки;
- 2) перевозчиком, поднимая и перевоза на себе грузы (стеллажи, паллеты и т. д.).

Основные направления работы:

- 1) движение по предварительно определенной траектории различной формы, включая развилки;
- 2) поддержание постоянной скорости в случае сопровождения конвейера или других объектов;

- 3) остановки и продолжение движения как в заранее определенных позициях, так и "по требованию" оператора;
- 4) загрузка и разгрузка перевозимых компонентов;
- 5) беспроводная связь с другими тележками или центральным терминалом для создания сети тележек, движущихся без участия людей;
- 6) картографирование неподвижных препятствий для проезда на минимальном расстоянии;
- 7) распознавание перемещающихся препятствий, ожидание их исчезновения и продолжение работы.

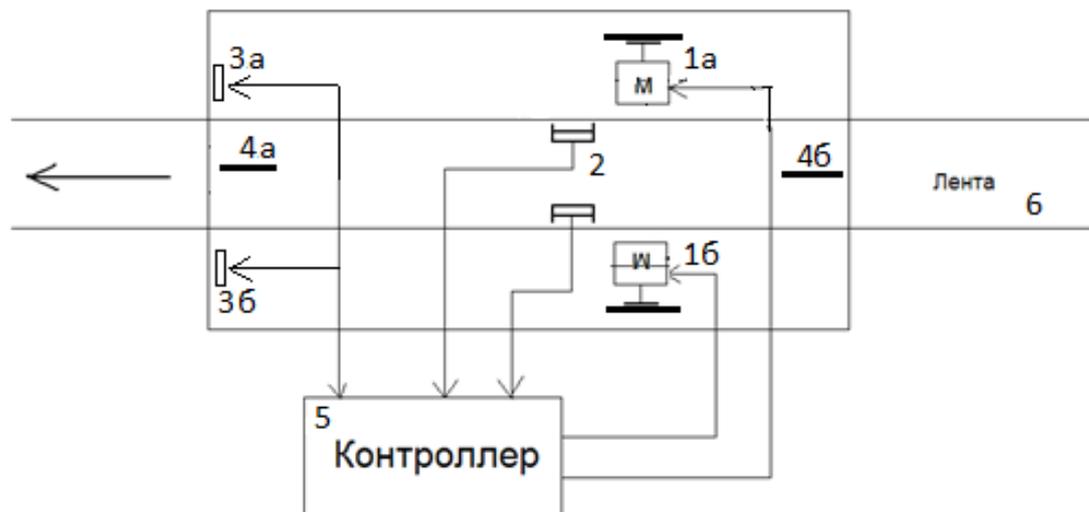
Следуя по маршруту, беспилотная тележка может:

- 1) останавливаться и снова начинать движение;
- 2) сопровождать конвейер на постоянной скорости;
- 3) выполнять другие запрограммированные действия.

В структуру автоматически управляемой тележки входят (рисунок 3):

- 1) блок привода, с двумя независимыми электромоторами, обеспечивающий тягу и поворот на маршруте следования;
- 2) блок энергообеспечения, содержащий набор герметичных необслуживаемых аккумуляторов (разрешены для применения в помещениях, где находятся люди, не требуют специальной комнаты для зарядки);
- 3) блок управления с программируемым контроллером, отвечающий за процесс движения;
- 4) система безопасности и оповещения, включающая в себя светозвуковую сигнализацию при движении и сертифицированный ультразвуковой дальномер;
- 5) система навигации, позволяющая реализовать движение по заданной траектории;
- 6) пульт управления.

Использование этих систем позволяет беспилотной тележке следовать по заданному маршруту, включая развилки и повороты, контролировать препятствия на пути следования, останавливаться при их наличии и продолжать движение при первой возможности.



1а, 1б – ведущие мотор-колеса; 2 – система навигации, состоящая из индукционных и инфракрасных датчиков; 3а, 3б – ультразвуковые датчики системы безопасности; 4а, 4б – поддерживающие поворотные колеса; 5 – блок управления (контроллер); 6 – металлическая лента

Рисунок 3 – Структура беспилотной тележки

Беспилотная тележка имеет четыре колеса: два из них ведущие, остальные поддерживающие. Поддерживающие колеса вращаются на 360 градусов, чтобы в случае чего тележка могла развернуться вокруг своей оси и продолжить движение без сторонней помощи. Также тележка имеет три типа датчиков. Индуктивные и инфракрасные датчики, расположенные в самом низу тележки, будут считывать траекторию магнитной ленты или чёрной линии. Датчики, расположенные впереди автоматического транспорта, должны предотвращать любое столкновение с препятствием, поэтому применяются ультразвуковые датчики расстояния. Все сигналы, получаемые датчиками, обрабатываются контроллером, который вырабатывает управляющий сигнал для драйверов привода.

Беспилотная тележка следует по предварительно определенной траектории. Старт движения может осуществляться по нажатию кнопки или событию: начало смены, прибытию груза, сигнал оператора.

Три варианта определения маршрута беспилотной тележкой:

1. По металлической ленте – наклеивается на пол, не мешает, легко создавать развилки, остановки и повороты. Дешевый способ, но лента изнашивается механически. При таком режиме работают индуктивные датчики, которые выдают сигнал при наличии магнитного поля.
2. По чёрной линии – рисуется на полу, не мешает, легко создавать развилки, остановки и повороты. Дешёвый способ, но при перестройке маршрута придётся стирать линию. При таком режиме работают ИК-датчики (датчики чёрной линии), которые работают по принципу отражения инфракрасного луча от поверхности пола.

3. Комбинированный режим – на пол наклеивается металлическая лента и покрывается чёрным матовым лаком. Более дорогой способ, однако, самый надёжный. При этом режиме работают одновременно два типа датчиков.

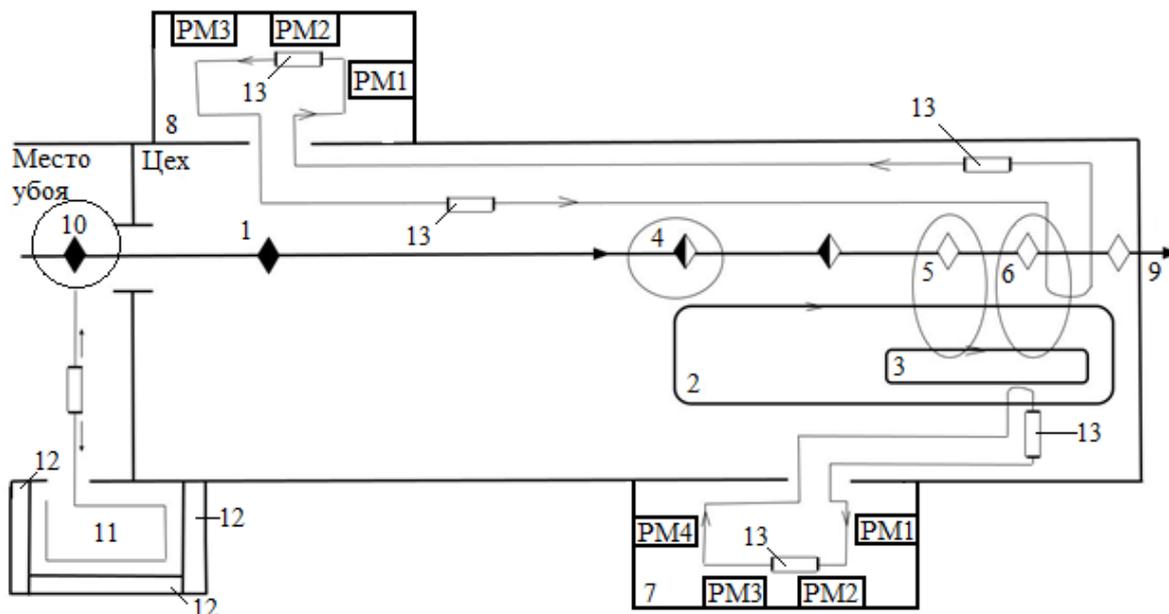
На панели управления находятся следующие кнопки:

- 1) кнопка «Питание»;
- 2) кнопка «Пуск»;
- 3) переключатели для смены режимов определения маршрута и смены направления движения.

Беспилотная тележка получает команды от металлической ленты (чёрной линии), наклеенной на пол.

3 Схема компоновки цеха мясозирового производства на базе беспилотных транспортных тележек

Первой операцией на центральном конвейере 1 после убоя животного идет снятие шкуры на позиции 10. Снятая шкура отвозится беспилотной тележкой 13 на склад шкур 11, где очередная шкура помещается на стеллаж 12. Так как склад шкур 11 расположен недалеко от места снятия шкур 10, то для этой операции достаточно только одной БТ, которая курсирует по одноподколейному маршруту в маятниковом режиме. БТ реверсивна по движению как вперед, так и назад без разворота.



- ◆ – туша со всеми органами; ◆ – туша без белых органов; ◆ – туша без органов;
- 1 – центральный конвейер для туш; 2 – ленточный конвейер для белых органов; 3 – подвесной конвейер для красных органов;
- 4 – участок конвейера 1 для выемки белых органов; 5 – участок конвейера 1 для выемки красных органов; 6 – позиция ветеринарного осмотра субпродуктов и полутуш; 7 – цех обработки красных органов; 8 – цех обработки белых органов; 9 – холодильная камера;
- 10 – область центрального конвейера 1 для снятия шкуры; 11 – склад для шкур; 12 – полки для размещения шкур;
- 13 – роботизированные беспилотные тележки; РМ – рабочие места обработки белых и красных органов

Рисунок 4 – Схема цеха разделки скота на базе роботизированных беспилотных тележек

Далее туша со снятой шкурой по конвейеру 1 поступает на позицию 4, где выполняется выемка белых органов и помещение их на транспортер 2. Транспортирование белых органов от позиции 4 к позиции ветеринарной инспекции 6 выполняется с помощью ленточного транспортера 2. После осмотра белых органов ветврачом на позиции 6 они перегружаются в беспилотную тележку 13, которая отвозит их на участок 8 обработки белых органов. Участок 8 состоит из трех рабочих мест РМ1, РМ2 и РМ3, на которые последовательно тремя тележками 12 подвозятся белые органы.

Аналогично красные органы вынимаются из туши на позиции 5 и транспортируются с помощью подвесного конвейера 3, оснащенного крюками и стерилизаторами на позицию 6 ветеринарного осмотра. После осмотра они перемещаются с подвесного конвейера 3 на БТ, которая отвозит их на участок обработки 7. Так как участок 7 находится недалеко от позиции ветосмотра 6, то для перевозки используются только две тележки, следующие по замкнутому контуру.

Итак, в позиции 6 выполняется одновременный ветеринарный осмотр врачом белых, красных органов и туши (◆). Здесь знак (◆) означает, что после позиций 4 и 5 туша остается без внутренних органов и движется через площадку ветеринарного осмотра 6 в холодильную камеру 9. После одномоментного ветеринарного осмотра туши и внутренностей принимается решение о качестве туши и целесообразности её дальнейшего использования.

На рисунке 5 изображена роботизированная беспилотная тележка на маршруте, двигающаяся вдоль направляющей магнитной лен-

ты. На БТ сверху могут устанавливаться емкости для белых и красных органов. При установке очередной емкости она своим весом нажимает на шток, расположенный на горизонтальной поверхности БТ, чем и сообщает системе управления тележки о необходимости начала движения.

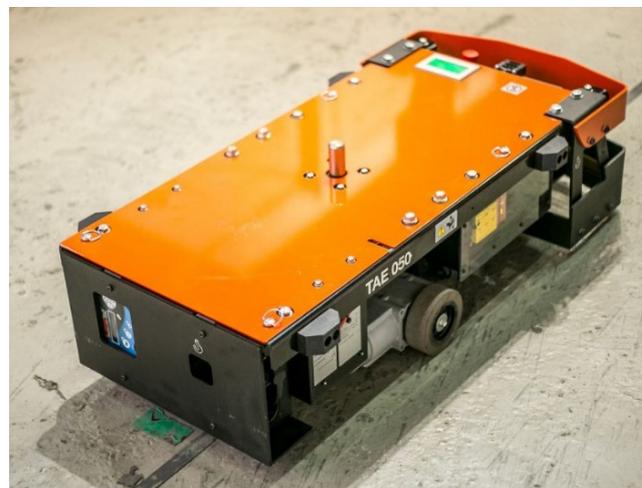


Рисунок 5 – Роботизированная беспилотная тележка на маршруте

Заключение

Предложенная схема компоновки цеха мясозирового производства на базе беспилотных транспортных тележек имеет большие перспективы, так как объединила в себе положительные качества двух топологий организации конвейерных линий: линейную и радиальную. Пока на предприятиях мясной индустрии роботизированные беспилотные тележки не используются. За ними, несомненно, будущее. Дальнейшим логическим продолжением данной работы является разработка АСУ ТП под управлением компьютера, который объединит управление всеми конвейерами, машинами, механизмами технологического цикла и беспилотными тележками в единый синхронизированный комплекс, направленный на решение одной задачи: качественного и быстрого получения готовой продукции из животноводческого сырья.

Список цитированных источников

1. Мясозировое производство: убой животных, обработка туш и побочного сырья / под ред. А. Б. Лисицына. – М. : ВНИИ мясной промышленности, 2007. – 285 с.
2. Транспортировка продукции на технологических линиях мясозировых производств / Н. У. Ляшук [и др.] // Мясная индустрия. – 2021. – № 11. – С. 35–39.
3. Пролиско, Е. Е. Динамическая модель работы транспортной системы «ИНФОБУС» / Е. Е. Пролиско, В. Н. Шуть // Искусственный интеллект. Интеллектуальные транспортные системы : материалы науч.-техн. конф., Брест, Беларусь, 25–28 мая 2016 г. – Брест : БрГТУ, 2016. – С. 49–54.
4. Шуть, В. Н. Интеллектуальные робототехнические транспортные системы / В. Н. Шуть, Л. Персия. – Брест : БрГТУ, 2017. – 230 с.
5. Shuts, V. System of urban unmanned passenger vehicle transport / V. Shuts, A. Shviatsova // ICCPT 2019: Current Problems of Transport : Proc. of the 1st Intern. Scientific Conf., 28–29 May 2019. – Ternopol : TNTU, 2019. – P. 174–184.
6. Shviatsova, A. The Smart Urban Transport System / A. Shviatsova, V. Shuts // Research Papers Collection of Open Semantic Technologies for Intelligent System, Minsk, 19–20 Feb. 2020. – Minsk : BSUIR, 2020. – P. 349–352.
7. Швецова, Е. В. Интеллектуальный транспорт с разделяющимися частями / Е. В. Швецова, В. Н. Шуть // Математические методы в технике и технологиях : сб. трудов XXXIII Междунар. науч. конф., 14–18 сент. 2020 г. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2020. – Т. 3. – С. 87–93.
8. Shviatsova, E. The Intellectual Transport with Divisible Parts / E. Shviatsova, V. Shuts // Society 5.0 : Human-Centered Society Challenges and Solutions / ed.: A. Kravets, A. Bolshakov, M. Shcherbakov. – Vol. 416. – Builder : Springer, 2022. – P. 265–274.
9. Shviatsova, A. The cassette method principles of passengers transportation through the intelligent transportation system / A. Shviatsova, V. Shuts ; Institute of Artificial Intelligence Problems // Штучний інтелект. – 2020. – No. 1. – P. 14–18.
10. Швецова, Е. В. Алгоритм составления плана перевозок на городских линиях в интеллектуальной системе управления беспилотными транспортными средствами / Е. В. Швецова, В. Н. Шуть // Вестник Херсонского национального технического университета. – Т. 2 (69), № 3. – 2019. – С. 222–230.
11. Швецова, Е. В. Алгоритмы функционирования беспилотной городской пассажирской транспортной системы / Е. В. Швецова, В. Н. Шуть // Математические методы в технике и технологиях : сб. тр. XXXII Междунар. науч. конф., Санкт-Петербург, 3–7 июня 2019 г. ; под общ. ред. А. А. Большакова. – Т. 12, ч. 2. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2019. – С. 32–39.

12. Shuts, V. The Drawing Up of the Motion Schedule in the Intelligent Urban Passenger Transport System / V. Shuts, A. Shviatsova ; Institute of Artificial Intelligence Problems // Штучний інтелект. – 2021. – No. 92. – P. 104–109.
13. Швецова, Е. В. О построении графика движения транспортных средств в городской пассажирской транспортной системе / Е. В. Швецова, В. Н. Шуть // Вестник БелГУТ : Наука и транспорт. – Гомель, 2021. – № 2. – С. 21–24.

References

1. Myasozhirovoe proizvodstvo: uboy zhivotnyh, obrabotka tush i pobochnogo syr'ya / pod red. A. B. Lisicyna. – M. : VNIИ myasnoj promyshlennosti, 2007. – 285 s.
2. Transportirovka produkciі na tekhnologicheskikh liniyah myasozhirovyh proizvodstv / N. U. Lyashuk [i dr.] // Myasnaya industriya. – 2021. – № 11. – S. 35–39.
3. Prolisko, E. E. Dinamicheskaya model' raboty transportnoj sistemy «INFOBUS» / E. E. Prolisko, V. N. SHut' // Iskusstvennyy intellekt. Intellektual'nye transportnye sistemy : materialy nauch.-tekhn. konf., Brest, Belarus', 25–28 maya 2016 g. – Brest : BrGTU, 2016. – S. 49–54.
4. SHut', V. N. Intellektual'nye robototekhnicheskie transportnye sistemy / V. N. SHut', L. Persia. – Brest : BrGTU, 2017. – 230 s.
5. Shuts, V. System of urban unmanned passenger vehicle transport / V. Shuts, A. Shviatsova // ICCPT 2019: Current Problems of Transport : Proc. of the 1st Intern. Scientific Conf., 28–29 May 2019. – Ternopol : TNTU, 2019. – P. 174–184.
6. Shviatsova, A. The Smart Urban Transport System / A. Shviatsova, V. Shuts // Research Papers Collection of Open Semantic Technologies for Intelligent System, Minsk, 19–20 Feb. 2020. – Minsk : BSUIR, 2020. – P. 349–352.
7. SHvecova, E. V. Intellektual'nyy transport s razdelayayushchimisya chastyami / E. V. SHvecova, V. N. SHut' // Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyah : sb. trudov XXXIII Mezhduнар. науч. konf., 14–18 sent. 2020 g. – SPb. : Izd-vo Politekhn. un-ta, 2020. – T. 3. – S. 87–93.
8. Shviatsova, E. The Intellectual Transport with Divisible Parts / E. Shviatsova, V. Shuts // Society 5.0 : Human-Centered Society Challenges and Solutions / ed.: A. Kravets, A. Bolshakov, M. Shcherbakov. – Vol. 416. – Builder : Springer, 2022. – P. 265–274.
9. Shviatsova, A. The cassette method principles of passengers transportation through the intelligent transportation system / A. Shviatsova, V. Shuts ; Institute of Artificial Intelligence Problems // SHtuchnij intellekt. – 2020. – No. 1. – P. 14–18.
10. SHvecova, E. V. Algoritm sostavleniya plana perevozok na gorodskikh liniyah v intellektual'noj sisteme upravleniya bespilotnymi transportnymi sredstvami / E. V. SHvecova, V. N. SHut' // Vestnik Hersonskogo nacional'nogo tekhnicheskogo universiteta. – T. 2 (69), № 3. – 2019. – S. 222–230.
11. SHvecova, E. V. Algoritmy funkcionirovaniya bespilotnoj gorodskoj passazhirskoj transportnoj sistemy / E. V. SHvecova, V. N. SHut' // Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyah : sb. tr. XXXII Mezhduнар. науч. konf., Sankt-Peterburg, 3–7 iyunya 2019 g. ; pod obshch. red. A. A. Bol'shakova. – T. 12, ch. 2. – SPb. : Izd-vo Politekhn. un-ta, 2019. – S. 32–39.
12. Shuts, V. The Drawing Up of the Motion Schedule in the Intelligent Urban Passenger Transport System / V. Shuts, A. Shviatsova ; Institute of Artificial Intelligence Problems // SHtuchnij intellekt. – 2021. – No. 92. – P. 104–109.
13. SHvecova, E. V. O postroenii grafika dvizheniya transportnyh sredstv v gorodskoj passazhirskoj transportnoj sisteme / E. V. SHvecova, V. N. SHut' // Vestnik BelGUT : Nauka i transport. – Gomel', 2021. – № 2. – S. 21–24.

Материал поступил 13.03.2024, одобрен 17.04.2024, принят к публикации 17.04.2024

УДК 631.371

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИЕМОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ АГРЕГАТА ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕ-ПОСЕВНОГО ШИРОКОФУНКЦИОНАЛЬНОГО АМПШ-6

С. В. Савчук¹, Ю. Н. Саливончик², В. А. Сокол³, Н. С. Ялковский⁴, Н. Д. Лепешкин⁵

¹ К. т. н., доцент кафедры «Машиностроение и эксплуатация автомобилей», УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: sergeyskb@tut.by

² Старший преподаватель кафедры «Машиностроение и эксплуатация автомобилей», УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: ynsalivonchik@mail.ru

³ Старший преподаватель кафедры «Машиностроение и эксплуатация автомобилей», УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: socolva@mail.ru

⁴ Старший преподаватель кафедры «Машиностроение и эксплуатация автомобилей», УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: nik_yal@tut.by

⁵ К. т. н., доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории обработки почвы и посева РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», Минск, Беларусь, e-mail: mehposev@mail.ru

Реферат

В статье рассмотрены результаты приемочных испытаний агрегата почвообрабатывающе-посевного широкофункционального АМПШ-6 для оценки соответствия определенных в техническом задании характеристик, а также проверки и подтверждения соответствия опытного образца требованиям технического задания.

Ключевые слова: агрегат, приемочные испытания, посев.

THE RESULTS OF ACCEPTANCE TESTS OF THE WIDELY FUNCTIONAL AMPSH-6 TILLAGE AND SOWING UNIT

S. V. Sauchuk, U. N. Salivonchik, V. A. Sokol, N. S. Yalkovskiy, N. D. Lepeshkin

Abstract

The article considers the results of acceptance tests of the widely functional AMPSH-6 tillage and sowing unit to assess compliance with the characteristics defined in the terms of reference, as well as verification and confirmation of compliance of the prototype with the requirements of the Technical Specifications.

Keywords: unit, acceptance tests, seeding.

Введение

В технологии возделывания сельскохозяйственных культур операции почвообработки и посева являются преобладающими при закладывании основ будущего урожая. С развитием производства энергонасыщенных тракторов стало возможным создание конструктивно сложных сельскохозяйственных машин, реализующих в своем составе комбинацию нескольких агротехнических операций. Данная особенность позволяет при сохранении или даже увеличении качественных показателей технологического процесса сократить основное и эксплуатационное время на выполнении представленных операций, снизить количество обслуживающего персонала, расход топлива, и, как результат, уменьшить себестоимость выполненных работ.

Разработка нового изделия имеет определенный утвержденный порядок действий. Так, в процессе выполнения научно-исследовательской работы необходимо обеспечить соблюдение требований технического задания и учесть и определить способы по реализации следующих требований по стандартизации, метрологическому обеспечению, составлению ограничительного перечня материалов и комплектующих изделий, применяемых при изготовлении опытного образца, выработке методов по обеспечению безопасности для жизни и здоровья людей и охраны окружающей среды, совместимости и взаимозаменяемости; формированию требований по экономному и рациональному использованию топливно-энергетических и материальных ресурсов при создании и эксплуатации создаваемой продукции, а также обеспечению конкурентоспособности создаваемой продукции и ее технологичности.

Экспериментальное подтверждение соответствия решений, принимаемых при разработке конструкторской документации, осуществляется путем разработки конструкторской документации, изготовления и испытания макетных и опытных образцов.

Макет разрабатывается на стадии эскизного, технического и рабочего проекта для выявления и проверки вариантов основных конструктивных решений, проверки основных конструктивных решений

разрабатываемого изделия или его составных частей, проверки целесообразности изменения отдельных частей изготавливаемого изделия до внесения этих изменений в рабочие чертежи.

Приемочные испытания проводятся для оценки соответствия определенных в техническом задании, характеристик, а также проверки и подтверждения соответствия опытного образца требованиям ТЗ в реальных условиях, или условиях максимально приближенных к условиям эксплуатации (применения, использования) продукции, и на основании выявленных результатов, принятия решений о возможности постановки данного вида продукции на производство и ее дальнейшей реализации [1].

Оконченными считаются испытания, если их результаты оформлены актом приемочных испытаний опытного образца или опытной партии продукции, в котором присутствуют данные, подтверждающие выполнение программы испытаний и содержащие оценку результатов испытаний с конкретными формулировками, отражающими соответствие испытываемого опытного образца продукции требованиям технического задания.

Исходные данные и результаты испытаний

Для достижения высоких качественных показателей при осуществлении агротехнического процесса сева в современных условиях, на ОАО «Брестский электромеханический завод» было принято решение о разработке конструкторской документации и освоении производства высокопроизводительного модифицированного полунавесного почвообрабатывающе-посевного агрегата с пассивными рабочими органами, шириной захвата 6 м, с целью оснащения сельхозпроизводителей Брестского региона и Республики. Впервые в Брестской области в Республике Беларусь был осуществлен и налажен выпуск подобных агрегатов полунавесного типа.

Работа данного агрегата, исключая дополнительные промежуточные операции при посеве, приведет к экономии топлива и экономии средств на заработную плату механизаторов.

Агрегат предназначен для обработки почвы после вспашки с одновременным высевом или для мульчированного сева зерновых, зернобобовых, крестоцветных культур и внесением гранулированных минеральных удобрений [2].

Благодаря гибким возможностям переоснастки и заменяемым рабочим органам в пяти функциональных зонах эта сеялка пригодна для всех типов дерново-подзолистых почв, незасоренных камнями, с абсолютной влажностью в слое (0–10) см в пределах 7 % – 28 %. При этом уклон поверхности поля не должен превышать 8 °; твердость почвы в обрабатываемом слое должна быть не более 2 МПа; семена должны удовлетворять требованиям соответствующих стандартов.

Загрузка агрегата семенным материалом должна производиться механизировано.

Специально закаленный материал в сочетании с оптимизированной конструкцией, гибким модульным строением и благоприятным положением центра тяжести обеспечивают этой эффективно и точно работающей машине славу надежного и прочного сельскохозяйственного агрегата. Оснащение рабочими органами дает возможность одновременно проводить подготовку поверхности почвы и сев. Кроме того, выгодное положение центра тяжести машины обеспечивает хорошее обратное уплотнение почвы. Так как обработка почвы осуществляется только прицепными рабочими органами, то и расход топлива является низким.

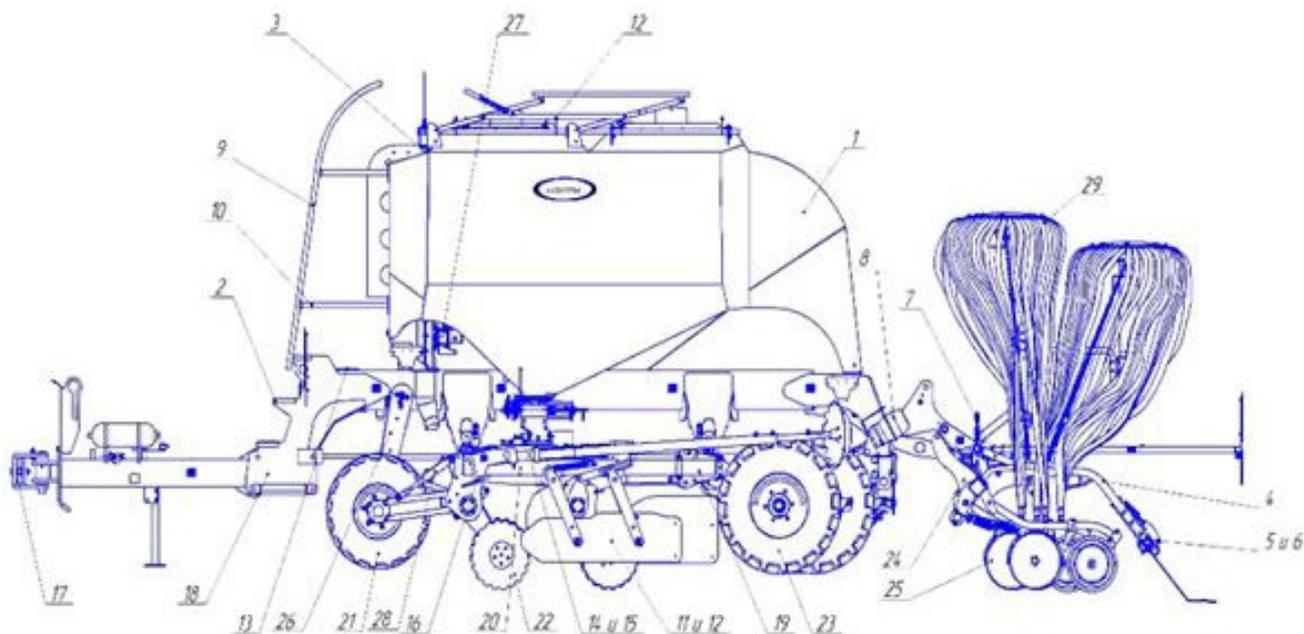
Конструктивные решения, реализованные при разработке рабочих органов для подготовки почвы, позволяют устанавливать необходимую глубину обработки с минимальной погрешностью. Широкопрофильные катки обеспечивают точное регулирование глубины хода.

Для обратного уплотнения поверхностного слоя и создания плотности, зафиксированной в техническом регламенте, разработан прикатывающий каток на пневмошинах.

Мульчирующий сошник согласован с особенностями машины. Конструкция сошника и применение его в различных почвенных условиях позволяет обеспечить более высокие скорости движения, чем при использовании других типов сошников. Локализация отечественных узлов, деталей и комплектующих изделий в конструкции агрегата составляет не менее 90 %.

Агрегат агрегатируется с тракторами «Беларус-3522» и другими тракторами класса 5.

Агрегат АМПШ-6ДСУ33 (рисунки 1–2) состоит из узлов складной трехсекционной рамы с передними и задними колесными опорами; двухсекционного сошникового бруса с дисковыми сошниками, навеской загорточных устройств и выравнивающей бороной; передних опорных колес; задних уплотняющих колес увеличенного диаметра и ширины, разнесенных в «шахматном» порядке; высевающей системы с распределителями семян и удобрений с гибкими семяпроводами, вентилятором с гидроприводом, приводным колесом для высевающих аппаратов для удобрений и для семян; гидросистемы; маркеров; электрооборудования и тормозной системы; двухсекционного бункера (по одному для семян и удобрений) с аппаратами высевающими, датчиком наличия семян; лестницей с поручнями и защитным тентом; автоматизированной системы контроля высева собственного (АСКВ). Технологический процесс работы, выполняемый агрегатом, осуществляется следующим образом: на краю поля агрегат переводится из транспортного положения в рабочее с раскладыванием рабочих боковых секций. Загрузка бункера семенами и удобрениями производится механизированными загрузчиками. После установки соответствующих регулировок агрегат движется по полю на выбранной рабочей скорости. Первый ряд опорных пневматических колес в результате движения разрушает большие комья почвы, выравнивает и уплотняет почвенный горизонт. Диски почвообрабатывающей части разрезают и крошат почву, а идущие следом опорные колеса второго ряда катков вновь уплотняют верхний слой с одновременным его выравниванием. Семена из бункера воздушным потоком подаются катушкой высевающего аппарата в шлюз инжекторный. Поток воздуха, создаваемый приводом вентилятора, транспортирует семена и удобрения из шлюзов инжекторных по семяпроводам к распределителям семян и удобрений, где семена и удобрения разделяются по семяпроводам и далее поступают к сошникам (или держателям дисковым). Дисковые сошники прорезают слой почвы на заданную глубину, образуя бороздку, семена укладываются на дно бороздки, удобрения заделываются в семенное ложе семян. Следующие за сошниками прикатывающие обрезиненные колеса прижимают семена к почве, обеспечивая их непосредственный контакт с почвой. Основные технические характеристики агрегата почвообрабатывающе-посевного широкофункционального АМПШ-6ДСУ33 приведены в таблице.



1 – бункер; 2 – лестница; 3 – лестница; 4 – держатель; 5 – навеска загорточного устройства; 6 – навеска загорточного устройства; 7 – талпег; 8 – тормозная система; 9 – поручень; 10 – поручень; 11 – ограждение; 12 – ограждение; 13 – площадка; 14,15 – маркер; 16 – ось; 17 – устройство прицепное с дышлом; 18 – рама центральной секции; 19 – собранная рама боковой секции левой, 20 – собранная рама боковой секции правой, 21 – передний пакерный каток в сборе; 22 – комплект деталей и сборочных элементов секции дисковой бороны; 23 – задний пакерный каток; 24 – балки крепления 2-х боковых секций сошников; 25 – сошник с прикатывающим катком; 26 – приводное колесо; 27 – высевающая часть в сборе с вентилятором; 28 – гидравлика в сборе; 29 – автоматическая система контроля высева в сборе

Рисунок 1 – Конструктивная схема агрегата АМПШ-6ДСУ33



Рисунок 2 – Агрегат АМПШ-6ДСУ33 в транспортном положении с трактором «John Deere 8430»

Таблица – Основные технические характеристики

Наименование показателя	Значение показателя
1	2
1. Тип	полунавесной
2. Производительность за 1 ч основного времени, га, не менее (при длине гона не менее 1000 м)	от 6,0 до 10,8
3. Производительность за 1 ч сменного времени, га, не менее	от 3,9 до 7,0
4. Рабочая скорость движения на основных операциях, км/ч	от 10 до 18
5. Транспортная скорость, км/ч, не более	10
6. Рабочая ширина захвата, м	6,0±0,01
7. Масса сухая конструкционная, кг, не более	9000
8. Габаритные размеры, мм, не более:	
– в рабочем положении	
ширина (без учета маркеров)	6500
длина	8000
высота	2800
– в транспортном положении	
ширина	3200
длина	8000
высота	4000
9. Дорожный просвет, мм, не менее	300
10. Вместимость бункера, дм ³	4350±10
11. Вместимость бункера с надставкой, дм ³	1740±10
12. Количество персонала по профессиям, необходимое для обслуживания операций, непосредственно связанных с работой агрегата	1 (тракторист-машинист)

На основании агротехнических требований почва под посев должна иметь подготовку. С помощью соответствующих зон обработки агрегата происходит обработка поля под дальнейший посев. Высота гребней и глубина борозд перед посевом не должна превышать 4 см. Слой почвы должен иметь однородную структуру по плотности на глубину заделки семян. Плотность почвы в обработанном слое: в верхней части – 0,8–1,1 г/см³, уплотненного семенно-

го ложа – 1,0–1,3 г/см³. Глубина взрыхленного слоя должна соответствовать глубине заделки семян. Допустимое отклонение глубины – ± 1 см. Семена должны удовлетворять требованиям соответствующих стандартов. На полях не должно быть камней со средним диаметром свыше 10 см, растительных остатков (стеблей, корней кукурузы, подсолнечника и др.) длиной более 5 см.

Зона применения сеялки – Республика Беларусь и страны СНГ.

Заделка семян происходит за счет естественного осыпания почвы со стенок бороздки, последующего прикалывания катками и заделки их S-образными пружинными загортачами. Глубина заделки семян – регулируемая. С помощью изменения натяжения пружины через систему гидроцилиндров возможна групповая регулировка давления каждого сошника.

Приемочные испытания агрегата почвообрабатывающе-посевого широкофункционального АМПШ-6ДСУ33 проводились с 26 февраля по 24 сентября 2020 года сотрудниками ИЦ ГУ «Белорусская МИС» с участием сотрудников ОАО «Брестский электромеханический завод» в сельхозпредприятии Каменецкого района Брестской области сельскохозяйственным филиале ОАО «Савушкина пуца».

Испытания проведены на соответствие агрегата почвообрабатывающе-посевого широкофункционального АМПШ-6ДСУ33 «Берестье» требованиям технического задания (ТЗ), утвержденного 30.04.2019, и действующих технических нормативных правовых актов (ТНПА), по рабочей программе-методике испытаний, утвержденной 10.12.2019 на основании договора заключенного между ОАО «Брестский электромеханический завод» и ГУ «Белорусская МИС».

Данная машина агрегатировалась с тракторами тягового класса 5. Функциональные показатели качества выполнения технологического процесса почвообрабатывающе-посевого агрегата широкофункционального определялись при стендовых испытаниях, а в условиях реальной эксплуатации – при эксплуатационно технологической оценке. Показатели, характеризующие условия испытаний агрегата при реальной эксплуатации, соответствовали требованиям технического задания и действующих ТНПА.

В результате испытаний было установлено, что высевальные механизмы сеялки обеспечивают высев семян зерновых колосовых культур, зернобобовых, рапса и семян трав (тимфеевки) на основании требований технического задания и действующих ТНПА. Произ-

водительность сеялки за час основного времени работы (при средней рабочей скорости 11,6 км/ч) составила 6,97 га, удельный расход топлива за сменное время работы сеялки в составе трактора «Беларус-3022» составил 7,2 кг/га. Отклонение средней глубины обработки от заданной составило 0,4 см, гребнистость поверхности поля после обработки почвообрабатывающей частью составила 3 см, стандартное отклонение глубины обработки почвообрабатывающей частью агрегата установлено в 2,4 см, отклонение глубины заделки семян от заданной – 1 мм, семена, не заделанные в почву – отсутствуют [3].

Испытания сеялки выполнены в полном объеме. Результаты испытаний и заключение изложены в протоколе ГУ «Белорусская МИС» № 062 Д 1/3 – 2020 от 21 декабря 2020 года. По данным ГУ «Белорусская МИС», годовой приведенный экономический эффект АМПШ-6ДСУ33 в сравнении с агрегатом почвообрабатывающе-посевным многофункциональным АППМ-6 составляет 92823,860 тыс. рублей.

Заключение

Разработанный опытный образец почвообрабатывающе-посевного агрегата широкофункционального АМПШ-6ДСУ33 соответствует требованиям технического задания и действующих ТНПА. По своим технико-экономическим характеристикам агрегат соответствует лучшим зарубежным образцам. Анализ экономических показателей агрегата свидетельствует, что при освоении серийного производства машины ее стоимость ориентировочно на 35 % меньше ее зарубежного аналога U-drill фирмы «Kverneland». Практическое применение агрегата АМПШ-6ДСУ33 в хозяйствах Республики Беларусь и странах СНГ позволит более эффективно использовать потенциальные возможности тракторов класса 5.

Список цитированных источников

1. Порядок постановки продукции на производство : ТКП 424-2012 (02260) // УП «ПРОМСТАНДАРТ». – Минск, 2012. – 24 с.
2. Руководство по эксплуатации агрегата почвообрабатывающе-посевного широкофункционального АМПШ-6 : утв. ОАО «Брестский электромеханический завод» 14.01.2019 г.: текст по состоянию на 01 февраля 2024 г. / В. Н. Жиян, С. В. Олесик, И. В. Синюкович. – Брест, 2019. – С. 10–17.
3. Протокол № 062 Д 1/3 - 2020 от 21 декабря 2020 приёмочных испытаний совмещенных с сертификационными агрегата почвообрабатывающе-посевного широкофункционального АМПШ-6ДСУ33 «Берестье» / ГУ «Белорусская МИС». – Минск, 2020. – 54 с.

References

1. Poryadok postanovki produkcii na proizvodstvo : ТКП 424-2012 (02260) // UP «PROMSTANDART». – Minsk, 2012. – 24 s.
2. Rukovodstvo po ekspluatatsii agregata pochvoobrabatyvayushche-posevnogo shirokofunktsional'nogo AMPSH-6 : utv. OAO «Brestskij elektromekhanicheskij zavod» 14.01.2019 g.: tekst po sostoyaniyu na 01 fevralya 2024 g. / V. N. ZHyan, S. V. Olesik, I. V. Sinyukovich. – Brest, 2019. – S. 10–17.
3. Protokol № 062 D 1/3 - 2020 ot 21 dekabrya 2020 priyomochnyh ispytaniy sovmeshchennyh s sertifikatsionnymi agregata pochvoobrabatyvayushche-posevnogo shirokofunktsional'nogo AMPSH-6DSU33 «Bereste» / GU «Belorusskaya MIS». – Minsk, 2020. – 54 s.

Материал поступил 11.03.2024, одобрен 01.04.2024, принят к публикации 28.05.2024

УДК 621.91

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ЗАКАЛЕННОЙ СТАЛИ 45 ИНСТРУМЕНТОМ ИЗ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ cBN, МОДИФИЦИРОВАННОГО АЛЮМИНИЕМ

В. И. Жорник¹, М. В. Нерода², О. В. Мартиновская³

¹ Д. т. н., профессор, заведующий лабораторией наноструктурных и сверхтвёрдых материалов ГНУ «Объединённый институт машиностроения НАН Беларуси», Минск, Беларусь, e-mail: zhornik@inmash.bas-net.by

² К. т. н., доцент, проректор по учебной работе, доцент кафедры машиноведения УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: nerodamv@mail.ru

³ Старший преподаватель кафедры машиноведения УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: qsha@mail.ru

Реферат

В данной статье рассматривается получение точных поверхностей, перспективы использования тонкого точения материалами на основе кубического нитрида бора. Проведённые исследования позволяют установить оптимальные режимы обработки поверхностно упрочнённых сталей новым композитом на основе кубического нитрида бора, модифицированного алюминием, обеспечивающие качество поверхности и наилучшую стойкость режущего инструмента.

Ключевые слова: высокоскоростная обработка, поликристаллические сверхтвёрдые материалы, упрочнённые стали, режимы обработки, шероховатость, стойкость режущего инструмента.

PERSPECTIVES OF APPLICATION OF HIGH-SPEED PROCESSING OF HARDENED STEEL 45 WITH ALUMINIUM MODIFIED cBN COMPOSITE TOOLS

V. I. Zhornik, M. V. Neroda, O. V. Martinovskaya

Abstract

This article discusses the production of precise surfaces and the prospects for using fine turning materials based on cubic boron nitride. The conducted research allows us to establish optimal processing conditions for surface-hardened steels with a new composite based on cubic boron nitride modified with aluminum, ensuring surface quality and the best durability of the cutting tool.

Keywords: high-speed processing, polycrystalline superhard materials, hardened steels, processing modes, roughness, durability of cutting tools.

Введение

В современном машиностроении большое внимание отводится вопросам долговечности и безотказности оборудования, а также снижению затрат на производство продукции, что напрямую зависит от экономии трудовых, материальных и энергетических ресурсов. Современные тенденции в развитии механической обработки состоят в увеличении скорости резания и динамической нагруженности, что возможно при ужесточении требований к прочности и жесткости узлов металлорежущего оборудования и инструмента. Повышение требований к точности и качеству получаемых поверхностей обуславливает использования современных технологий чистовой и финишной обработки.

Перед предприятиями, проводящими перевооружение производства, встаёт вопрос о выборе современного оборудования, позволяющего использовать новые технологии, в частности высокоскоростной обработки. Сегодня разработаны и внедряются методы формообразования, предполагающие получение заготовок, практически не требующих механической обработки. Однако механическая обработка всё ещё является наиболее распространённой и перспективной технологией, незаменимой на этапе последней операции для ответственных поверхностей. По сравнению с другими существующими методами получения и обработки деталей (аддитивными, лазерными, термоэлектрическими, электрохимическими, ультразвуковыми и др.), механическая обработка более универсальна, производительна, менее энергоёмка и легко поддается автоматизации [1]. Повышению производительности механической обработки способствует оснащение производства оборудованием, позволяющим проводить высокоскоростную обработку с частотой вращения шпинделя от 12000 до 40000 мин⁻¹ при скоростях резания до 3000...5000 м/мин.

Лезвийная обработка остаётся наиболее оптимальной в соотношении энергозатрат и производительности. В сравнении с ней шлифование – более дорогостоящая операция, что обусловлено высокой стоимостью шлифовального оборудования и инструмента,

продолжительностью основного и вспомогательного времени шлифовальных операций [2]. При этом качество получаемых поверхностей имеет ряд недостатков: вследствие высоких температур в зоне шлифования возможно изменение структуры, следовательно, и физико-механических свойств обработанной поверхности. При шлифовании закалённых сталей на поверхности возможно возникновение прижогов, микро- и макротрещин, царапин, вкраплений разрушившегося абразива и др. [3]. При шлифовании длинных поверхностей происходит интенсивное изнашивание шлифовального круга, что приводит к возникновению отклонений обработанной поверхности от цилиндричности. Эти недостатки отсутствуют при использовании «твёрдого точения» в качестве финишной обработки, а удельный объём стружки, снимаемый в единицу времени, увеличивается в несколько раз [1]. Ещё одним аргументом в пользу точения является появление сжимающих остаточных напряжений в поверхностном слое, в отличие от вредных, растягивающих, остающихся после шлифования.

Применение «твёрдого точения» повышает экологическую безопасность производства, так как в большинстве случаев не требует использования СОЖ, а стружка после точения либо полностью сгорает в процессе резания, так как 80 % теплоты отводится в стружку, либо может успешно подвергаться вторичной переработке.

Внедрение высокоскоростной обработки (ВСО) способствует высвобождению до 30 % станков, позволяет одновременно с обеспечением точностных и прочностных характеристик деталей заменить шлифование лезвийной обработкой, следовательно, сократить номенклатуру используемого оборудования предприятия, а также снизить затраты не только на оборудование и оснастку, но и на обслуживающий персонал. Однако ВСО требует перехода на современный режущий инструмент, материал и геометрия которого отвечали бы требованиям новых технологий. Одним из важнейших вопросов становится увеличение ресурса инструмента, повышение его износостойкости и вибростойкости [4].

Материалы и методы исследования

Современные направления развития режущего инструмента и инструментальных систем серьёзно изменили рынок применяемых инструментальных материалов. Анализ продаж инструмента для машиностроительных предприятий за последние десятилетия показал, что доля твёрдых сплавов составляет около 60 % всех инструментальных материалов, вытеснив быстрорежущие стали. Также выросла доля инструментов, изготовленных из керамики и на основе сверхтвёрдых материалов (СТМ), их общая доля приближается к 15 %. Однако из-за относительно низкой химической стабильности использовать твердосплавные пластины для «твёрдого точения» не рекомендуется [5]. Высокая скорость резания приводит к повышению температуры в зоне контакта и абразивно-окислительному изнашиванию, переходящему в стадию диффузионного-адгезионного взаимодействия материалов инструмента и обрабатываемой детали, что резко снижает стойкость инструмента.

Наиболее перспективные работы по совершенствованию режущего инструмента для ВСО материалов твёрдостью 45–62 HRC связаны с созданием и применением материалов на основе СТМ, а именно алмаза и кубического нитрида бора.

Кубический нитрид бора (сBN) – искусственно синтезированный материал, приближающийся по своим характеристикам к алмазу, а по термостойкости превосходящий его. Важнейшие свойства сBN, определяющие интерес к нему как к инструментальному материалу: высокая твердость (от 3000 до 5000 HV), низкий коэффициент трения (от 0,1 до 0,3), высокая термостойкость (до 1200–1350 °С), высокая химическая стойкость и стойкость к окислению и др.

Уникальная комбинация свойств сBN позволяет использовать его при обработке высоколегированных и закалённых сталей, чугунов, твердых сплавов и применять в условиях интенсивных истирающих воздействий. Термодинамические особенности полиморфизма нитрида бора позволяют создавать широкую номенклатуру материалов на основе его плотных модификаций, используя различные технологии получения исходного материала.

Поликристаллические сверхтвёрдые материалы (ПСТМ) в большинстве случаев получают спеканием мелкодисперсных порошков сBN и вюрцитного нитрида бора (wBN) в условиях термобарического воздействия, применяется также метод фазового превращения гексагонального нитрида бора в кубический (графитоподобного в алмазоподобный) либо частичного или полного превращением wBN в сBN. PSTM содержат частицы кубического нитрида бора либо в связующей матрице, либо спеченные в поликристаллические блоки без добавок связующих веществ. Созданные PSTM различаются размером, структурой и свойствами используемых зерен BN, применяемыми связующими материалами (металлы, карбиды, нитриды, карбонитриды, оксиды), а также параметрами структуры (дисперсность зерен) и их свойствами (твердость, трещиностойкость, химическая активность).

Поликристаллическими пластинами из сBN оснащаются режущий инструмент, применяемый для работы в тяжёлых эксплуатационных условиях. Наиболее известные зарубежные компании, зани-

мающиеся производством и реализацией инструментов на основе сBN – Kennametal, Kyocera, Mitsubishi, Sandvik, Seco, SCAR, Sumitomo, TaeguTec, Tungaloy. Работа над совершенствованием существующих и созданием новых материалов на основе сBN продолжается в лабораториях таких стран, как Беларусь, Россия, Украина, Япония, Швеция, Израиль и др.

Несмотря на разнообразие композитов, они не конкурируют друг с другом, каждый материал имеет свою нишу использования, оправданное эффективное применение при обработке определённых материалов и использовании конкретных режимов и условий работы [6].

Современные работы по синтезу материалов на основе сBN направлены на расширение возможности применения СТМ в зависимости от условий работы инструмента, оптимизации стойкостных характеристик эксплуатации в заданных условиях. При финишной обработке на первое место выступает износ по задней поверхности инструмента, поэтому задача стоит в увеличении твёрдости инструментального материала. Черновая обработка и обработка с ударами требует от материала режущего инструмента повышенной трещиностойкости, обеспечивающей уменьшение сколов режущей кромки.

На постсоветском пространстве работы по созданию новых материалов на основе кубического нитрида бора велись в Объединённом институте машиностроения НАН Беларуси (ОИМ НАН Беларуси), в Научно-практическом центре НАН Беларуси по материаловедению, Институте сверхтвёрдых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины [7–9].

В лаборатории наноструктурных и сверхтвёрдых материалов ОИМ НАН Беларуси проведены исследования в направлении синтеза плотных форм BN с применением каталитически активных добавок из порошка гексагонального BN, модифицированного алюминием. В результате осаждения на поверхности частиц BN алюминия в условиях высоких давлений и температур активируется фазовое превращение гексагонального BN в кубический. Полученный материал обладает твердостью (35–38,5 ГПа) и трещиностойкостью (11,5–12,9 МПа·м^{1/2}), имеет более низкую пористость и более высокую механическую прочность по сравнению с поликристаллами, синтезированными другими методами, и в перспективе может использоваться для чистовой лезвийной обработки закалённых сталей и износостойких покрытий [7, 10].

Задачей проводимых на кафедре машиноведения БрГТУ исследований является изучение режущих свойств вставок из сверхтвёрдых материалов сBN–wBN–AlB₂/AlN и сBN–Al, изготовленных ОИМ НАН Беларуси (рисунок 1), определение возможности их использования взамен шлифования, применяемого при обработке штоков гидроцилиндров, изготовленных из стали 45 после закалки ТВЧ до 50 и 60 HRC. Основными требованиями к поверхности, кроме твёрдости поверхностного слоя, являются шероховатость, точность обработки по 9 качеству и прямолинейность обрабатываемой поверхности 0,1 мм по всей длине штока. Так, шероховатость, получаемая после первого прохода шлифовального круга, соответствует Ra = 0,63.

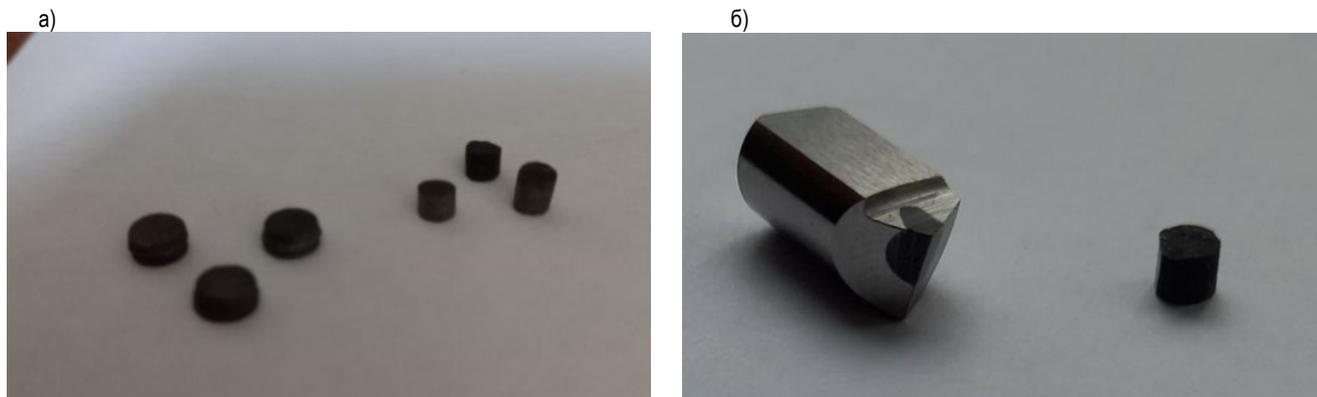
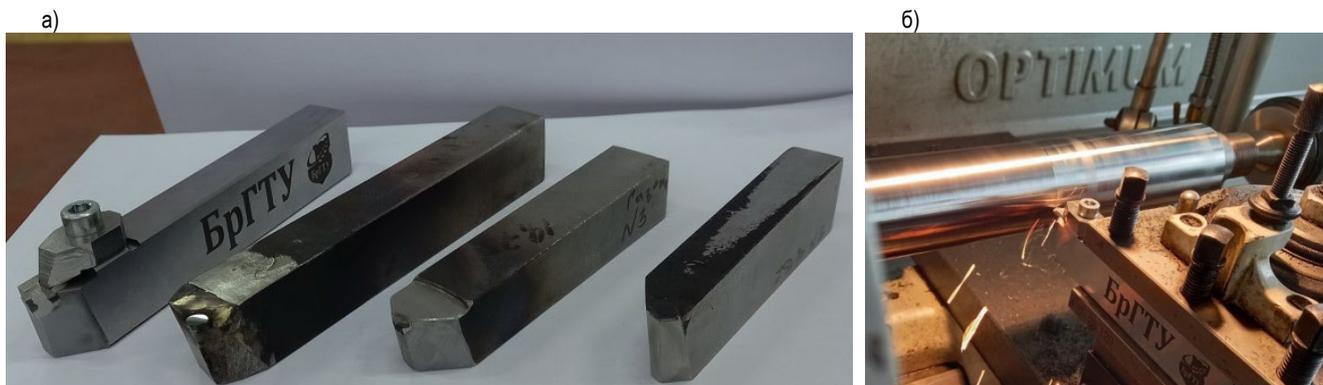


Рисунок 1 – а) пластины из сBN–А и сBN–wBN–AlB₂/AlN изготовленные в ОИМ НАН Беларуси; б) вставка для реза с впрессованной пластинкой из сBN–wBN–AlB₂/AlN

Экспериментальные исследования проводились с целью выявления влияния технологических факторов на шероховатость обработанной поверхности и стойкость инструмента. Использовался токарно-винторезный станок Optimum D460x1000 DPA, относящийся к средним станкам, отличающимся повышенной плавностью хода и отсутствием вибраций. Измеренное радиальное биение шпинделя составляет 0,005 мм, что соответствует требованиям к «твёрдому точению». На рисунке 2 представлены инструмент для токарной обработки, оснащенный вставками из ПСТМ и процесса тонкого точения закаленных образцов из стали 45.

При работе лезвийным инструментом с большой скоростью и малой глубиной резания в точке касания наблюдается локальное взаимодействие, не развивающееся в объеме детали и инструмента, благодаря этому не происходят серьезные изменения в обработанном слое. Большая часть тепла концентрируется в стружке, не успевая перейти в заготовку. На глубине 10 мкм она не превышает 100 °С [3], тем самым не допускается самоотпуск поверхности, и структура поверхностного слоя не изменяется.



а – прямые проходные резцы со вставками из ПСТМ; б – процесс тонкого точения образца из закалённой стали 45

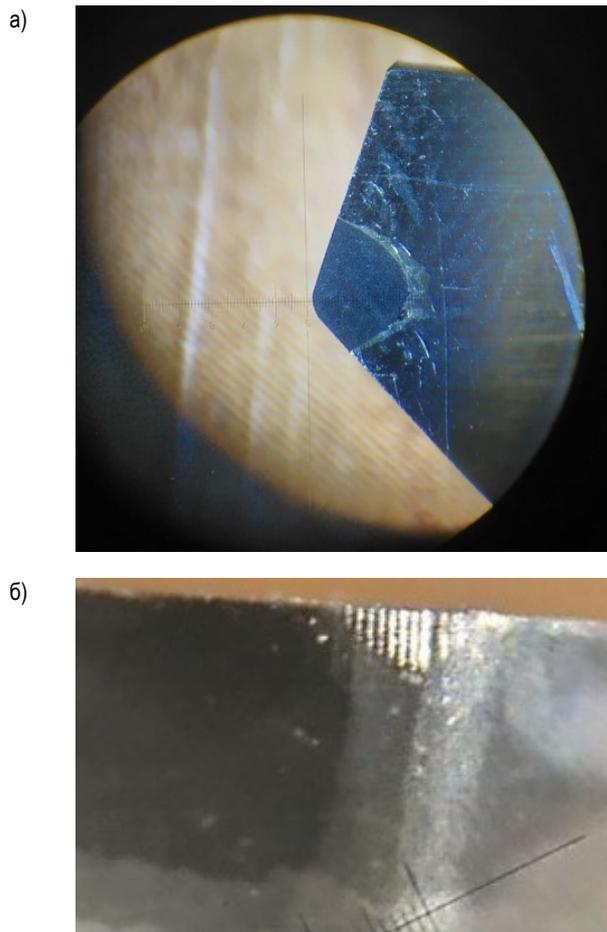
Рисунок 2 – Иллюстрация проведения экспериментальных исследований

Анализ литературных источников показал, что геометрия режущей части вставок из материалов на основе cBN, для работы на больших скоростях, должна обеспечивать прочность и вершины, и режущих кромок резца. Для обработки упрочнённых сталей рекомендуется переднему углу придать отрицательное значение от -5° до -10° , сопряжение между главной и вспомогательной режущими кромками выполнять с радиусом 0,1...0,6 мм, а задний угол выполнить $8...12^\circ$. Для увеличения прочности вершины резца углы в плане рекомендуется принимать 45° и 20° [11].

В данном случае инструмент для испытаний представляет собой прямой проходной резец со вставкой из cBN-Al, закреплённой на державке с помощью пайки и с механическим креплением вставки из cBN-wBN-AlB₂/AlN. Рабочая поверхность заточена по переднему углу $\gamma = -5^\circ$; заднему $\alpha = 10^\circ$, углы в плане выполнены $\phi = 45^\circ$, $\phi_1 = 15^\circ$. Радиус при вершине был выбран на основании предварительных испытаний, которые показали, что лучшие показатели шероховатости обеспечиваются при приработке вершины до $r = 0,6$ мм (рисунок 3).

Одной из важнейших характеристик режущего инструмента, влияющих на его эффективное использование, является стойкость режущей кромки. Повышение стойкости способствует снижению расходов на инструмент, затрат на его переточку, а также сокращает время простоя дорогостоящего станочного оборудования. При правильном подборе режимов обработки обеспечивается требуемое качество обработанной поверхности, высокая производительность, стойкость инструмента и, следовательно, повышается эффективность производства в целом [5].

Испытания проводились с целью исследования стойкости резцов с учётом режимов резания и геометрических параметров инструмента, полученных в предварительных экспериментах. В качестве заготовок использовались цилиндрические штоки из стали 45 длиной 300 мм, с твёрдостью поверхностного слоя HRC 55–60. Токарная обработка проводилась при постоянной скорости резания. После каждого опыта проводили контроль шероховатости обработанной поверхности профилометром TR200 компании Time Group Inc, внесённый в Государственный реестр средств измерений РФ; периодически контролировали величину износа резца по задней поверхности при помощи отсчётного микроскопа МПБ-3 с ценой деления 0,05 мм.

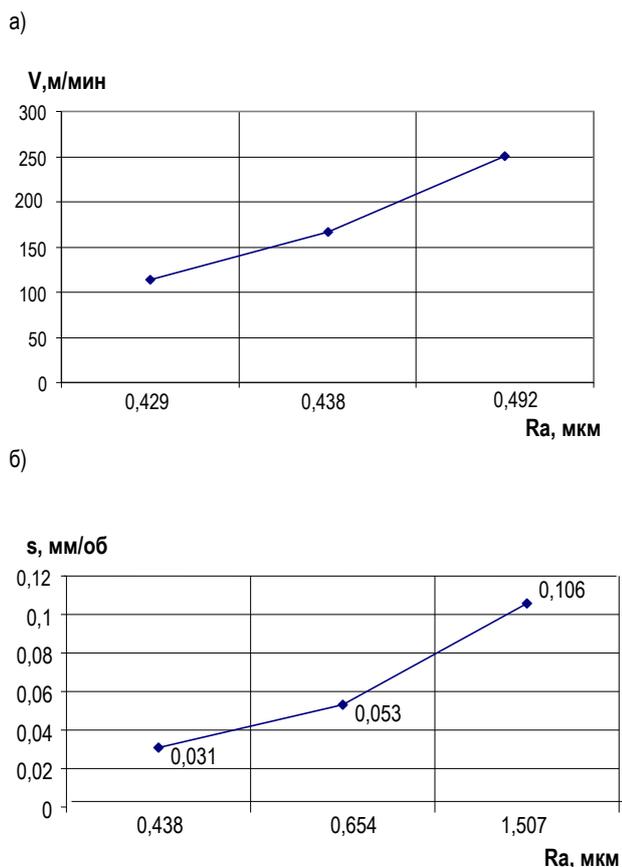


а) резец с напайной пластиной из композита cBN-Al;
б) износ пластины по передней поверхности
Рисунок 3 – Режущий инструмент для экспериментальных исследований

Критериями оценки стойкости инструмента были выбраны износ по задней поверхности инструмента $h_3 = 0,25$ мм и шероховатость обработанной поверхности $Ra = 0,7$ мкм. Износ по задней поверхности является наиболее распространённым показателем стойкости инструмента. Превысив оптимально установленные значения износа, инструмент некоторое время может быть использован, но при строгом контроле за качеством обработанной поверхности. Ещё одной причиной соблюдения допустимых величин износа является опасность резкого разрушения режущей кромки и поверхностей инструмента, ускорение процесса его затупления. По рекомендациям [13], для пластин из сверхтвёрдых материалов критерием затупления вставок является нормальный износ по задней поверхности 0,4 мм, согласно этому мы можем расширить диапазон экспериментирования, если шероховатость обработанной поверхности будет удовлетворять допустимому значению.

Результаты исследований и их обсуждение

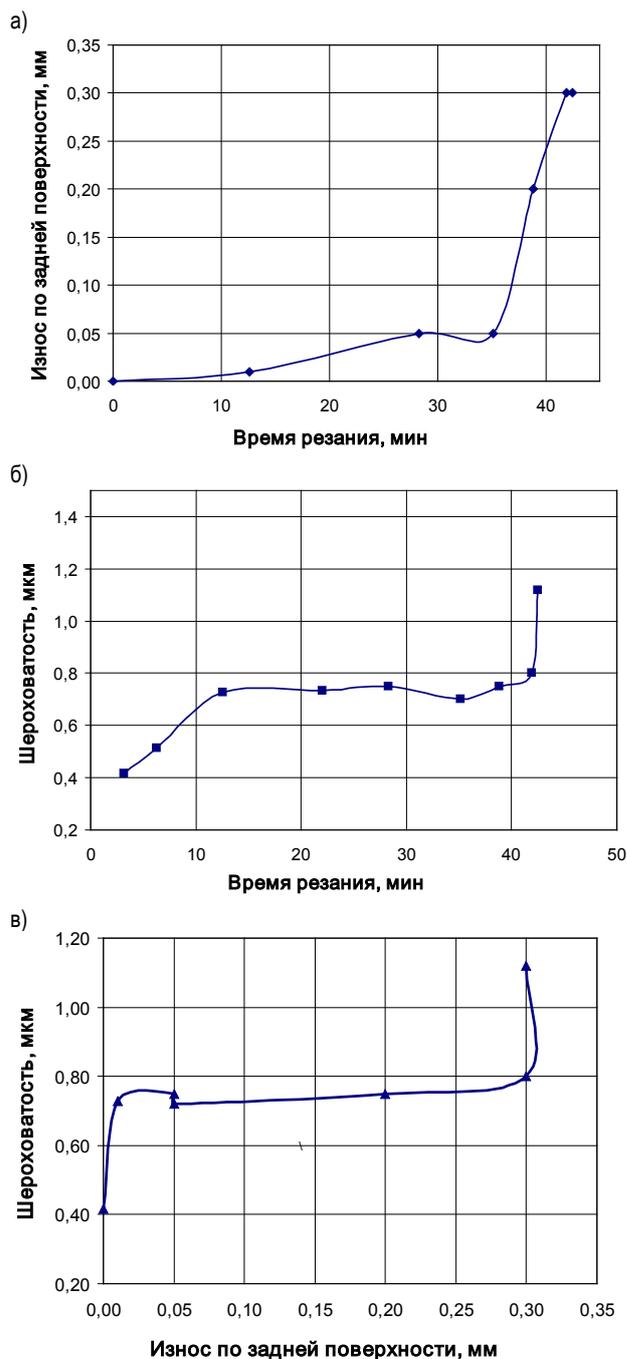
Для установления требуемого диапазона исследования режимов токарной обработки и выявления их влияния на изменение параметров шероховатости поверхности были проведены предварительные эксперименты, которые показали, что при увеличении подачи и скорости резания шероховатость увеличивается, а изменение глубины резания в пределах $t = 0,025...0,15$ мм, практически не сказывается на величине шероховатости. Выбор диапазона изменения параметров проведён в соответствии с научными публикациями [8, 6, 12] и согласно рекомендациям инструментальных фирм Seco и Sandvik. Диапазон подач изменяли в пределах $S = 0,031...0,106$ мм/об, скорость резания – $V = 114...251$ м/мин, глубину резания – $t = 0,025...0,075$ мм. На рисунке 4 показаны зависимости параметра шероховатости Ra обработанной поверхности от скорости резания и подачи при постоянной глубине резания 0,05 мм.



а) от скорости резания, при постоянных $t = 0,05$ мм, $s = 0,031$ мм/об;
 б) от подачи при постоянных $t = 0,05$ мм, $V = 167$ м/мин

Рисунок 4 – Зависимости шероховатости обработанной поверхности

В процессе проведённых экспериментов были получены зависимости величины износа резцов из композита cBN–Al и изменение параметра шероховатости обработанной поверхности Ra от продолжительности обработки. Экспериментальные данные представлены на рисунке 5. Их анализ свидетельствует об относительно стабильных режущих свойствах изучаемого материала. На рисунке 5а видно, что режущие свойства резца сохраняются при величине износа по задней поверхности 0,3 мм и его стойкость при этом составляет 42 мин, после этого режущие свойства инструмента резко снижаются. Интенсивное изнашивание пластины начинается после 36 мин обработки. При достижении величины износа 0,3 мм параметр шероховатости резко возрастает, достигая величин более $Ra = 1,1$ мкм (рисунок 5в). После этого обработку прекращали.



а) шероховатости обработанной поверхности от времени обработки;
 б) износа инструмента от времени работы резца;

в) шероховатости обработанной поверхности от износа инструмента по задней поверхности

Рисунок 5 – Зависимости

Зависимость, представленная на рисунке 5б, характеризует изменение параметра шероховатости от момента приработки инструмента до потери им допустимой режущей способности. После 10 мин резания шероховатость стабилизировалась на отметке $Ra = 0,7$ мкм и сохранялась на протяжении последующих 30 мин точения. Путь, пройденный вершиной реза за время достижения величины износа по задней поверхности $h_3 = 0,3$ мм, в среднем составил $L = 7175$ м.

Выводы

Стойкость режущего инструмента с напайной пластинкой из композита cBN–Al в среднем составляет $T = 42$ мин, что сопоставимо с рекомендациями ГОСТ [13], согласно которому нормативная стойкость пластин из композита 10, при скорости точения $V = 75$ м/мин, работающего в аналогичных условиях – $T = 58$ мин (что соответствует пути резания $L = 4350$ м). Сопоставив величины пути резания, можно констатировать, что производительность композита на основе cBN–Al выше производительности композита 10 в 1,65 раза.

В дальнейшем, в основе разработанной методики планируется получить исходные данные для разработки модели изнашивания материалов cBN–wBN–AlB₂/AlN и cBN–Al, используемых в качестве вставок лезвийных инструментов для «твёрдого точения», и оценить степень эффективности от замены операции шлифования длинных валов тонким точением инструментом, оснащённым вставками из вышеуказанных материалов.

Поставлена задача, на базе полученных экспериментальных данных, используя обобщающие эмпирические уравнения расчёта параметров обработки закалённых сталей резцами из нитрида бора, определить оптимальное соотношение стойкости материала с режимами работы при заданной шероховатости применительно к материалам систем cBN–Al и cBN–wBN–AlB₂/AlN.

Список цитированных источников

- Корнеева, В. М. Повышение качества изделий на этапе процесса механической обработки / В. М. Корнеева, С. С. Корнеев // Технология машиностроения. – 2014. – № 10. – С. 16–20.
- Солоненко, В. Г. Резание металлов и режущие инструменты : учеб. пособие / В. Г. Солоненко, А. А. Рыжкин. – М. : Высшая школа, 2008. – 414 с.
- Зубарь, В. П. Лезвийная обработка закалённых сталей и чугунов взамен шлифования [Электронный ресурс] / В. П. Зубарь, А. Г. Тимчук, М. В. Чопенко. – Режим доступа: http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/20359/1/STvMS_2010_5_Zubar_Lezviynaya.pdf. – Дата доступа: 10.04.2024.
- Шелег, В. К. Анализ и выбор рациональных режимов резания твердосплавным инструментом при точении валов / В. К. Шелег, Д. Г. Шатуров, Г. Ф. Шатуров // Наука и техника. – 2018. – Т. 17, № 1. – С. 14–20.
- Макаров, А. Д. Оптимизация процессов резания / А. Д. Макаров. – М. : Машиностроение, 1976. – 278 с.
- Грубый, С. В. Исследование режущих свойств резцов из нитрида бора / С. В. Грубый, В. В. Лапшин // Наука и образование. – 2012. – № 6. – С. 61–74.
- Витязь, П. А. Синтез и применение наноструктурных сверхтвёрдых материалов инструментального назначения / П. А. Витязь, В. Т. Сенють // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук. – 2015. – № 3. – С. 60–76.
- Клименко, С. А. Технологические возможности инструментов оснащённых композитами на основе кубического нитрида бора / С. А. Клименко, М. Ю. Копейкина, А. О. Чумак // Сучасні технології в машинобудуванні. – 2017. – Вип. 12. – С. 54–60.
- Получение сверхтвёрдого композита на основе cBN с повышенной трещиностойкостью конверсионным спеканием под высоким давлением / В. С. Урбанович [и др.] // Актуальные проблемы прочности : материалы междунар. науч. конф. – Минск : УП «ИВЦ Минфина», 2022. – С. 378–380.
- Спекание наноструктурных композитов на основе детонационных алмазов и плотных фаз BN / П. А. Витязь [и др.] // Процеси механічної обробки в машинобудуванні. – 2012. – № 13. – С. 1–13.
- Инструменты из сверхтвёрдых материалов / под ред. Н. В. Новикова. – М. : Машиностроение, 2005. – 555 с.
- Обработка и упрочнение поверхностей при изготовлении и восстановлении деталей / В. И. Бородавко [и др.] ; под общ. ред. М. Л. Хейфеца, С. А. Клименко. – Минск : Беларус. навука, 2013. – 463 с.
- Вставки перетачиваемые для сборного инструмента, оснащенные сверхтвёрдым материалом (композитом). Технические условия : ГОСТ Р 50302-92 / Госстандарт России. – М., 1992. – 16 с.

References

- Korneeva, V. M. Povyshenie kachestva izdelij na etape processa mekhanicheskoy obrabotki / V. M. Korneeva, S. S. Korneev // Tekhnologiya mashinostroeniya. – 2014. – № 10. – S. 16–20.
- Solonenko, V. G. Rezanie metallov i rezhushchie instrumenty : ucheb. posobie / V. G. Solonenko, A. A. Ryzhkin. – M. : Vysshaya shkola, 2008. – 414 s.
- Zubar', V. P. Lezviynaya obrabotka zakalyonnyh stalej i chugunov vzamen shlifovaniya [Elektronnyj resurs] / V. P. Zubar', A. G. Timchuk, M. V. Chopenko. – Rezhim dostupa: http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/20359/1/STvMS_2010_5_Zubar_Lezviynaya.pdf. – Data dostupa: 10.04.2024.
- Sheleg, V. K. Analiz i vybor racional'nyh rezhimov rezaniya tverdosplavnym instrumentom pri tochenii valov / V. K. Sheleg, D. G. Shaturov, G. F. Shaturov // Nauka i tekhnika. – 2018. – T. 17, № 1. – S. 14–20.
- Makarov, A. D. Optimizaciya processov rezaniya / A. D. Makarov. – M. : Mashinostroenie, 1976. – 278 s.
- Grubyy, S. V. Issledovanie rezhushchih svojstv rezcov iz nitrida bora / S. V. Grubyy, V. V. Lapshin // Nauka i obrazovanie. – 2012. – № 6. – S. 61–74.
- Vityaz', P. A. Sintez i primeneniye nanostrukturnykh sverhtvyordykh materialov instrumental'nogo naznacheniya / P. A. Vityaz', V. T. Senyut' // Izvestiya Nacional'noj akademii nauk Belarusi. Seriya fiziko-tekhnicheskikh nauk. – 2015. – № 3. – S. 60–76.
- Klimenko, S. A. Tekhnologicheskie vozmozhnosti instrumentov osnashchyonnykh kompozitami na osnove kubicheskogo nitrida bora / S. A. Klimenko, M. YU. Kopejkina, A. O. Chumak // Suchasni tekhnologii v mashinobuduvanni. – 2017. – Vip. 12. – S. 54–60.
- Poluchenie sverhtvyordogo kompozita na osnove cBN s povyshennoj treshchinostojkost'yu konvercionnym spekaniem pod vysokim davleniem / V. S. Urbanovich [i dr.] // Aktual'nye problemy prochnosti : materialy mezhdunar. nauch. konf. – Minsk : UP «IVC Minfina», 2022. – S. 378–380.
- Spekanie nanostrukturnykh kompozitov na osnove detonacionnykhalmazov i plotnykh faz BN / P. A. Vityaz' [i dr.] // Procеси механічної обробки в машинобудуванні. – 2012. – № 13. – S. 1–13.
- Instrumenty iz sverhtverdykh materialov / pod red. N. V. Novikova. – M. : Mashinostroenie, 2005. – 555 s.
- Obrabotka i uprochnenie poverhnostej pri izgotovlenii i vosstanovlenii detalej / V. I. Borodavko [i dr.] ; pod obshch. red. M. L. Hejfeца, S. A. Klimenko. – Minsk : Belarus. navuka, 2013. – 463 s.
- Vstavki peretachivaemye dlya sbornogo instrumenta, osnashchennye sverhtverdyim materialom (kompozitom). Tekhnicheskie usloviya : GOST R 50302-92 / Gosstandart Rossii. – M., 1992. – 16 s.

Материал поступил 22.04.2024, одобрен 22.05.2024, принят к публикации 22.05.2024

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ГИБКИ ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ШТАМПОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В. Н. Клочков¹, М. Э. Подымако², И. А. Колесов³

¹ Начальник бюро надёжности ОЛаб ЛМ ОАО «Могилевлифтмаш», Могилев, Беларусь, e-mail: vnklochkov@mail.ru

² Заведующий ОЛаб ЛМ ОАО «Могилевлифтмаш», Могилев, Беларусь, e-mail: podymako_m@mail.ru

³ Ведущий инженер-технолог ОГТ ОАО «Могилевлифтмаш», Могилев, Беларусь, e-mail: bn_ntc@liftmach.by

Реферат

В статье рассмотрен подход к моделированию холодной штамповки листовых материалов на конкретном примере. Осуществлена пошаговая реализация процесса моделирования, которая позволила определить геометрию заготовки, параметры оборудования, величину хода штампа. На основании феноменологической конститутивной модели Джонсона-Кука проведена оценка неповреждаемости листового материала.

Ключевые слова: штамповое оборудование, модель Джонсона-Кука, крепление направляющих, холодное деформирование.

MODELING OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF BENDING SHEET PARTS AT THE STAGE OF DESIGNING STAMPING EQUIPMENT

V. N. Klochkov, M. E. Podymako, I. A. Kolesov

Abstract

The article discusses an approach to modeling cold stamping of sheet materials using a specific example. A step-by-step implementation of the modeling process was carried out, which made it possible to determine the geometry of the workpiece, equipment parameters, and the amount of stamp stroke. Based on the Johnson-Cook phenomenological constitutive model, the damage integrity of sheet material was assessed.

Keywords: stamping equipment, Johnson-Cook model, guide fastening, cold forming.

Введение

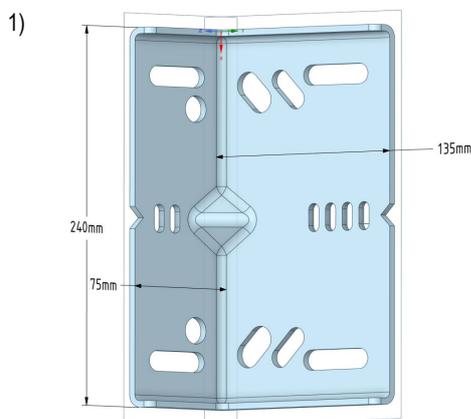
Несмотря на значительные объемы выпускаемых ОАО «Могилевлифтмаш» лифтов, в месяц (до 1400 лифтов), назвать производство серийным в полной мере нельзя. Причиной этому являются так называемые специальные лифты, которые требуют индивидуального подхода на всех этапах производства. Это отличает предприятие от конкурентов – реагирование на их потребности и подстраивание под них.

Однако в большинстве лифтов существуют повторяющиеся элементы, которые в составе одного лифта могут применяться не в единственном экземпляре. К таким элементам можно отнести комплектующие дверей шахты, которые устанавливаются на каждом этаже и их число соответствует этажности здания, а также элементы крепления направляющих в шахте, которые устанавливаются с определенным шагом с учетом грузоподъемности и форм-фактора лифта, а также сейсмичности района установки.

Повторяющиеся элементы ввиду большой серийности целесообразно изготавливать высокопроизводительными способами, такими на ОАО «Могилевлифтмаш» являются литье и штамповка. Выбор технологии изготовления [1] должен выполняться для каждого изделия индивидуально с учетом стоимостных аспектов, технологических и организационных ограничений.

Моделирование технологического процесса гибки

Объектом рассмотрения в статье является кронштейн установки направляющих 1010.05.00.002, имеющий треугольную выштамповку в средней части, которую в течение месяца на 1000 лифтов могут изготавливать 10000 штук (рисунок 1). Кронштейн служит для установки жестких направляющих, служащих для позиционирования лифта во время движения в нормальном режиме эксплуатации и остановки и удержания его при режиме аварийной остановки (посадки на ловители). Как следствие, точность геометрии штампованного кронштейна существенно влияет на характеристики движения лифта в процессе эксплуатации. Одним из лимитирующих параметров качества работы лифтового оборудования является вертикальная вибрация в кабине, величина которой в том числе зависит от прямолинейности установки ниток направляющих, закрепленных к строительной части лифтовой шахты с использованием данного кронштейна. Форма и перфорация кронштейна обусловлена его позиционированием и креплением к шахте лифта, к направляющей и вспомогательным кронштейнам, служащим для обеспечения необходимых параметров вылета направляющих по отношению к строительной части шахты установки лифтового оборудования.

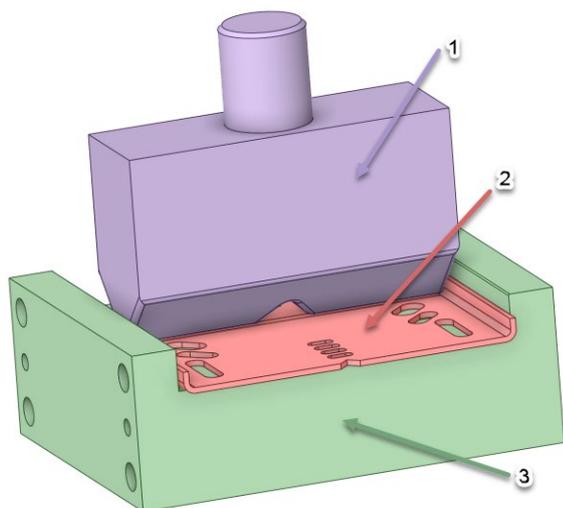


1 – 3D-модель проектируемого кронштейна; 2 – фото реального объекта
Рисунок 1 – Кронштейн 1010.05.00.002

После проведения стоимостной оценки, а также анализа логики, было принято решение о разработке штамповой оснастки. Штамповая оснастка – комплект изделий, ошибка при проектировании которых стоит очень дорого как в стоимостной, так и во временной составляющей. Для оптимального выбора геометрии и материалов штамповой оснастки требуется четкое определение силовых процессов, происходящих в процессе формообразования изделия с учетом трения взаимодействующих поверхностей и упругой деформативной составляющей. Ввиду этого было реализовано проведение численного моделирования процесса штамповки как для определения необходимых усилий прессового оборудования, так и проверки корректности оснастки, спроектированной технологической службой.

Последовательность подготовки математической модели процесса штамповки, как при моделировании любого процесса деформирования с использованием сеточных методов [2], включает в себя следующие этапы:

1. Подготовку геометрии, в нашем случае это исходная заготовка, а также матрица и пуансон (рисунок 2).



1 – пуансон; 2 – заготовка (карточка); 3 – матрица
Рисунок 2 – Геометрия заготовки и штамповой оснастки

Как следует из приведенного рисунка 2, заготовка представляет собой предварительно подготовленный объект с отгибами по краям полученных на предварительной операции холодного формообразования – гибкой. Получение готового изделия с одной установки на штамповом оборудовании сопряжено с непропорциональными затратами вследствие повышенной сложности.

2. Формирование конечно-элементной модели.

Конечно-элементная модель заготовки формировалась объемными гексаэдрическими элементами со сгущениями сетки в местах больших деформаций (рисунок 3), при этом матрица и пуансон рассматривались как абсолютно жесткие тела. Количество элементов составляет – 16110.

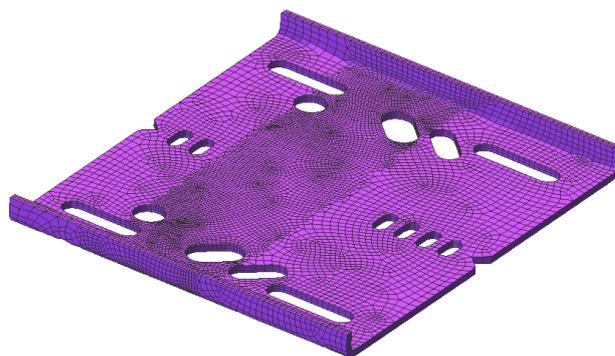


Рисунок 3 – Конечно-элементная модель заготовки

3. Задание свойств материалов и контактных взаимодействий.

Свойства материала заготовки (Ст 3 ГОСТ 14637-89) описывались диаграммой деформирования в истинных координатах, которая была получена после обработки и пересчета диаграмм по результатам испытаний образцов по ГОСТ 1497-84 на базе Центра структурных исследований и трибомеханических испытаний материалов и изделий машиностроения Государственного научного учреждения «Объединенный институт машиностроения НАН Б». Инженерная и истинная диаграммы деформирования для материала заготовки (Ст 3) приведены на рисунке 4.

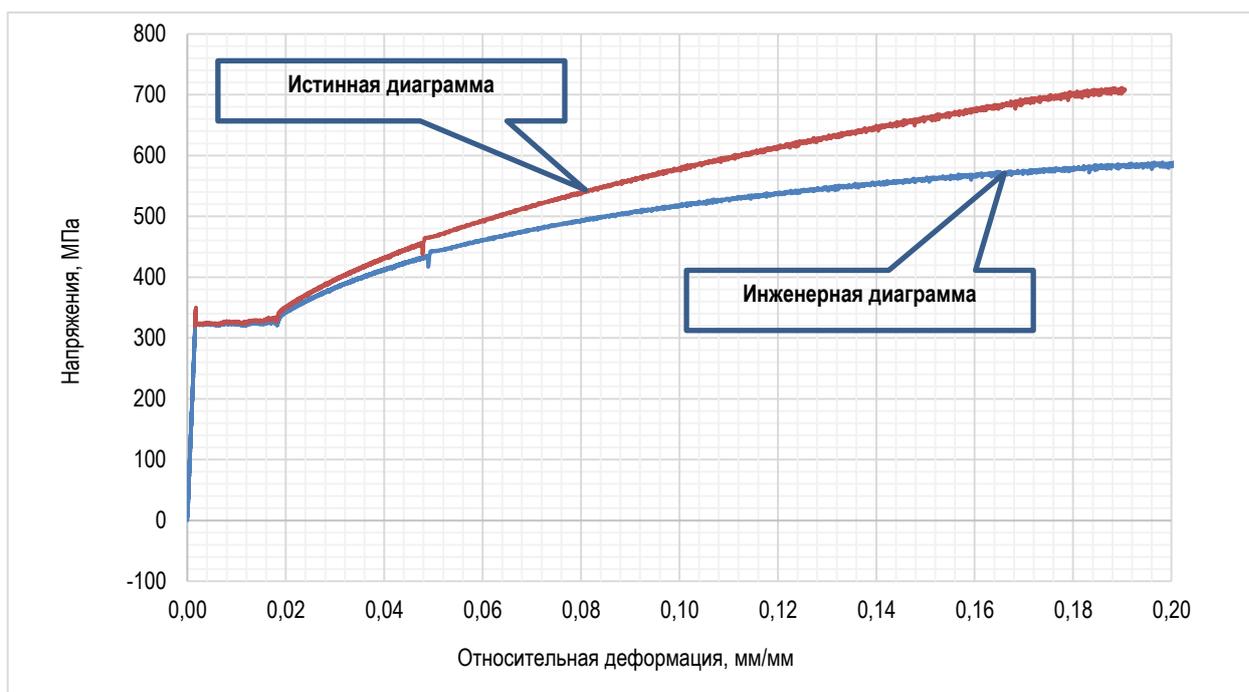


Рисунок 4 – Инженерная и истинная диаграммы напряжение-деформация стали Ст 3.

Контактные взаимодействия задавались между всеми телами в математической модели и представляли собой односторонние контакты с коэффициентом трения, равным 0,12.

4. Задание граничных условий и ходов инструмента.

Граничными условиями являлись фиксация матрицы и задание прямого и обратного хода пуансону с высвобождением детали, что позволяет учесть эффект обратного пружинения изделия. Следует отметить, что граничные условия, накладываемые в модели, соответствуют реальному закреплению и нагружению в условиях производства.

5. Оценки неповреждаемости листового материала.

С целью оценки неповреждаемости листового материала в процессе штамповки проведен расчет предельной пластической деформации с использованием феноменологической конститутивной модели Джонсона-Кука. Данная модель одна из самых распространенных при описании металлов при быстропотекающих процессах деформирования, к которым относится гибка листового материала в процессе штамповки. В данной модели учтены отдельные эффекты деформационного упрочнения, скорости деформации (вязкости), термического размягчения, что выражается зависимостью

$$\varepsilon_f = (D_1 + D_2 \cdot e^{D_3 \cdot \eta}) \cdot (1 + D_4 \cdot \ln \frac{\dot{\varepsilon}_p}{\dot{\varepsilon}_0}) \cdot (1 + D_5 \cdot \frac{T - T_0}{T_m - T_0}),$$

где ε_f – величина предельно допустимой деформации, мм/мм;

$D_1 \dots D_5$ – коэффициенты модели Джонсона-Кука для данного материала;

$\eta = \frac{\sigma_m}{\sigma_{eg}}$ – коэффициент, учитывающий тип напряженного состояния;

σ_m – среднее (гидростатическое) напряжение, МПа;

σ_{eg} – эквивалентные напряжения (Von Mises), МПа;

$\dot{\varepsilon}_p$ – скорость пластических деформаций, c^{-1} ;

$\dot{\varepsilon}_0$ – скорость деформации при определении коэффициентов $D_1 \dots D_5$, c^{-1} ;

T – температура заготовки в процессе штамповки, $^{\circ}C$;

T_m – температура плавления, $^{\circ}C$;

T_0 – комнатная температура, $^{\circ}C$.

Коэффициенты модели Джонсона-Кука в полном объеме имеются для ASTM A36 [3] и представлены в таблице 1. Ст3 является аналогом стали ASTM A36, и как следствие, для проведения дальнейших вычислений принимаем аналогичные значения приведенных коэффициентов.

Таблица 1 – Параметры модели Джонсона-Кука

Материал	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	$T_m, ^{\circ}C$	$T_0, ^{\circ}C$	$\dot{\varepsilon}_0, c^{-1}$
	0,403	1,107	0,1	0,00961	0	1430	25	1

Для определения величины предельной пластической деформации из реализованной математической модели определяем следующие параметры:

1. Скорость пластических деформаций $\dot{\varepsilon}_p$.

На рисунке 5 представлен график скорости пластической деформации по результатам численного моделирования технологического процесса, полученный путем дифференцирования пластических деформаций по времени.

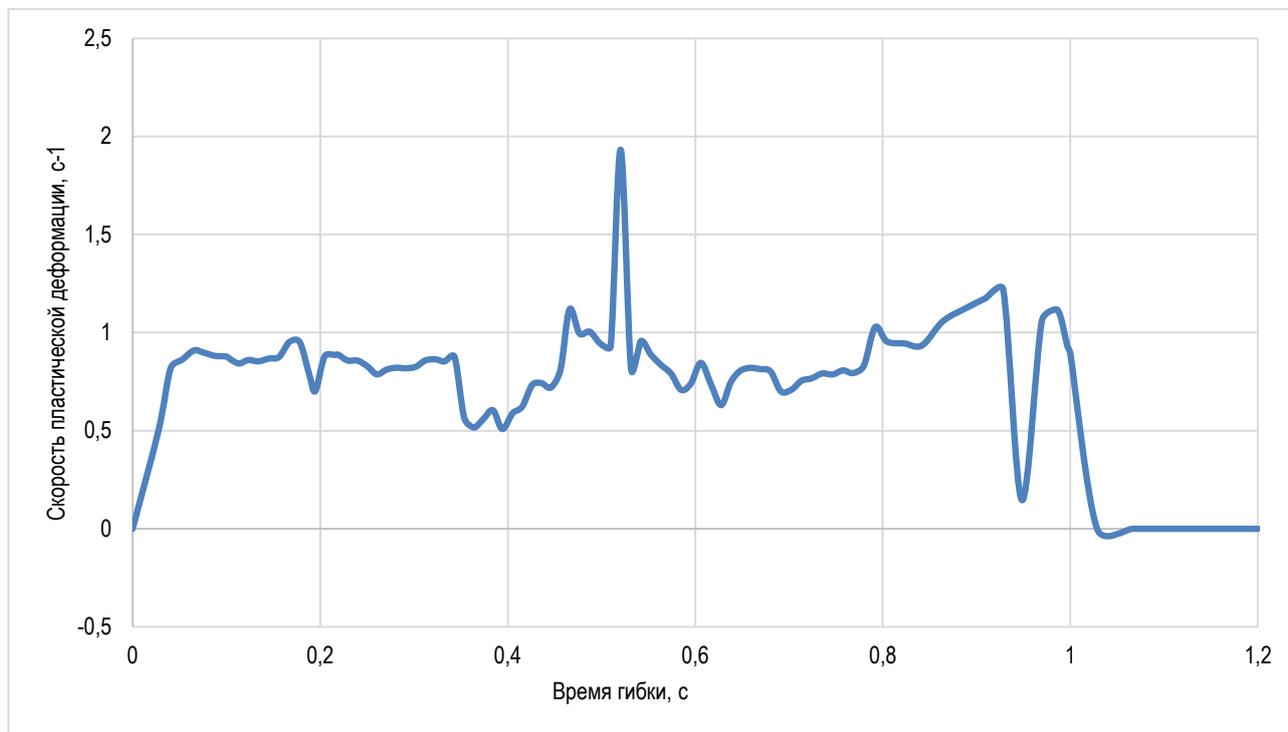


Рисунок 5 – Скорость пластической деформации

Анализ графика, приведенного на рисунке 5, показывает, что основная часть процесса гибки происходит со скоростями пластической деформации 0,5–1,2 c^{-1} .

2. Коэффициент, учитывающий тип напряженного состояния η .

На рисунке 6 приведена картина распределения коэффициента η , учитывающего тип напряженного состояния как отношения величины средних главных напряжений к эквивалентному напряжению.

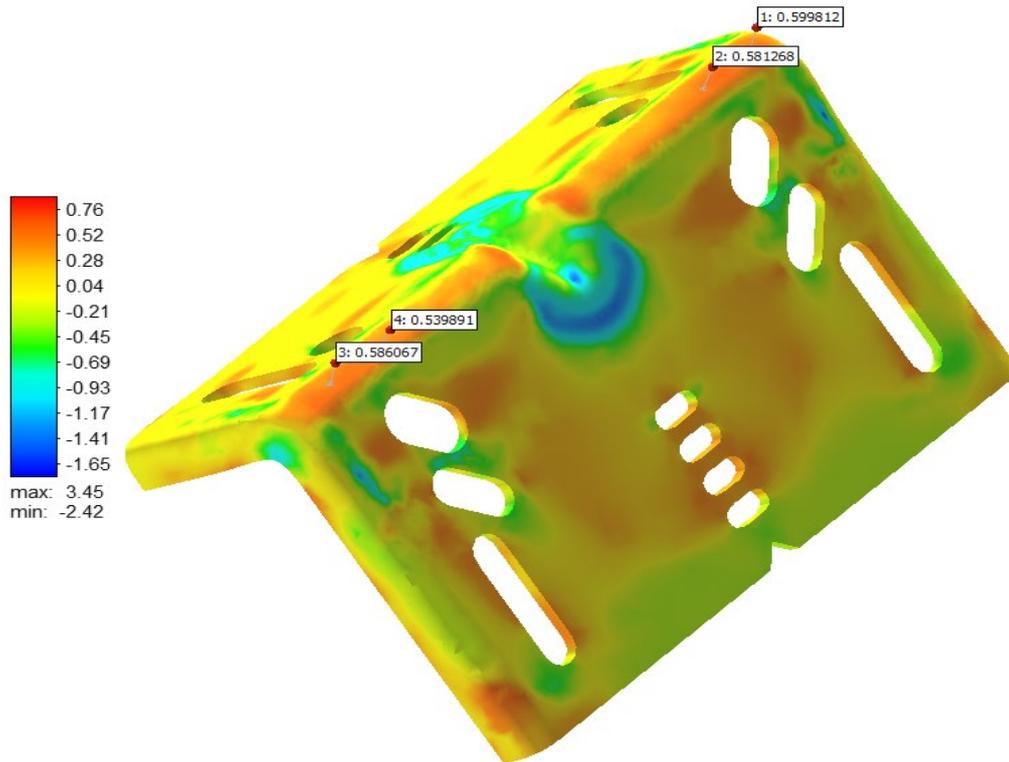


Рисунок 6 – Картина распределения коэффициента жесткости напряженного состояния

Исходя из приведенного рисунка принимаем величину коэффициента жесткости напряженного состояния – $\eta = 0,565$.

На рисунке 7 представлены графики фактических и предельных величин пластического деформирования

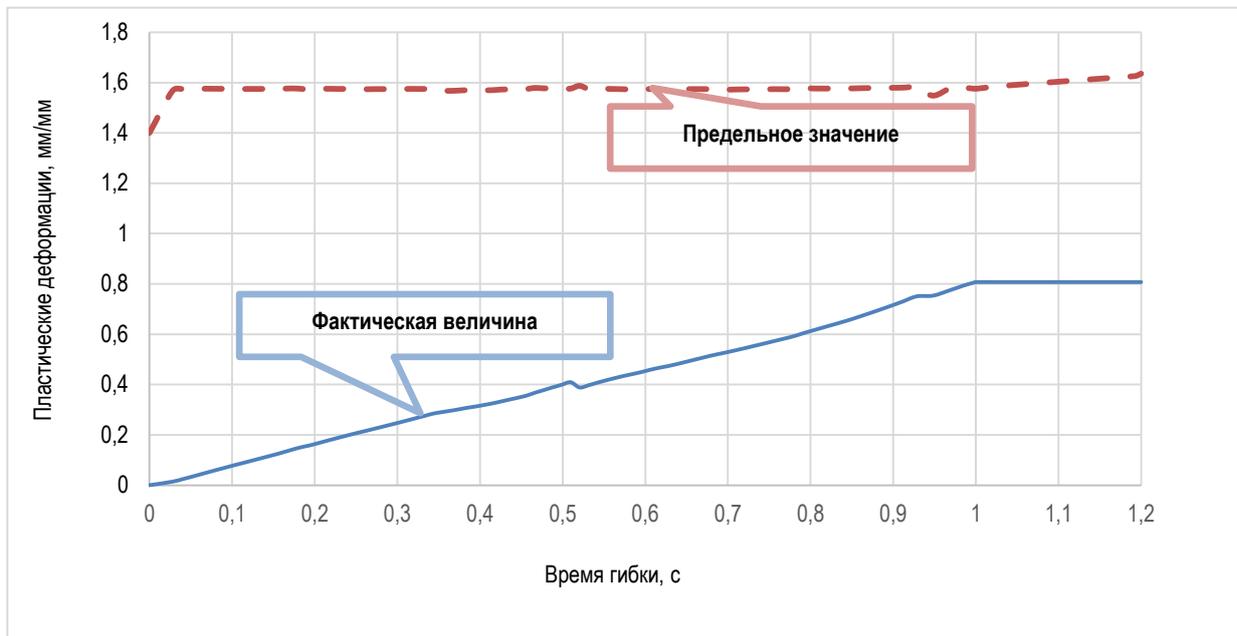


Рисунок 7 – График пластического деформирования изделия

Как видно из представленного рисунка, величина пластической деформации в процессе штамповки не превышает значений предельно допустимого значения определенному с использованием метода Джонсона-Кука, что гарантирует отсутствие повреждений изготавливаемого кронштейна.

3. Анализ результатов.

Основными данными, необходимыми для корректной разработки штампового оборудования, являются величина необходимого усилия

на пуансоне и геометрия штамповой оснастки. Результаты моделирования изготовления кронштейна путем пластического деформирования представлены на рисунках 8–11.

На рисунке 8 представлен характер изменения величины относительной пластической деформации и величины усилия на пуансоне от времени осуществления рабочего и части обратного хода достаточного для учета обратного пружинения.

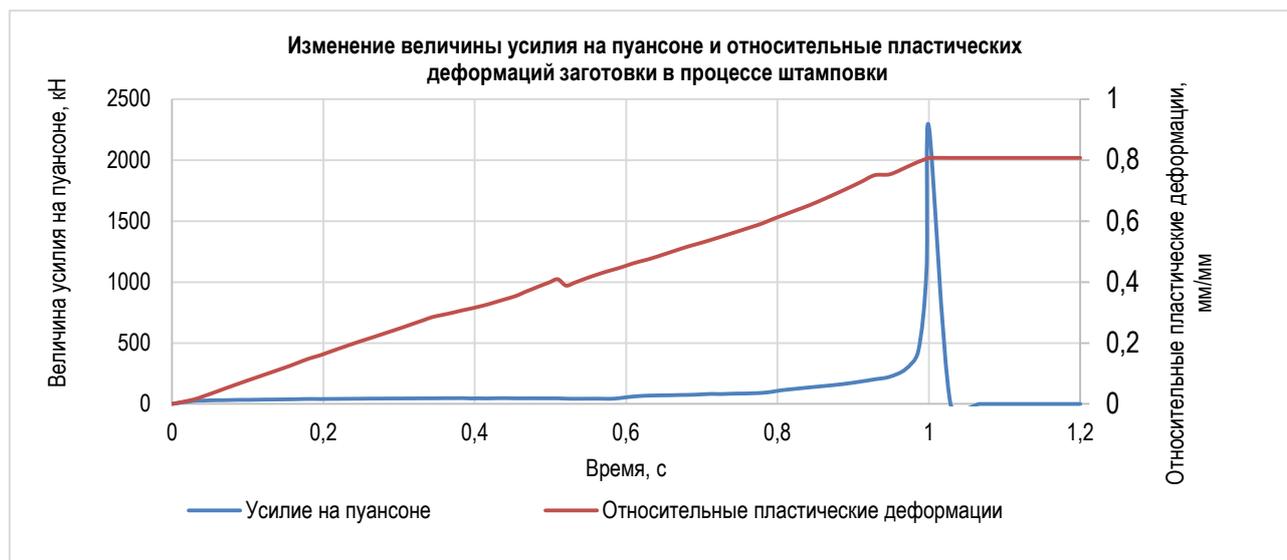


Рисунок 8 – Усилие на пуансоне и пластические деформации в процессе штамповки

Как следует из приведенного рисунка 8, усилие на пуансоне составило 2275 кН, а величина относительной пластической деформации 0,78 мм/мм.

На рисунке 9 показана динамика деформирования заготовки с дискретизацией по относительной величине рабочего хода пуансона в виде картин распределения относительных пластических деформаций.

На рисунке 10 приведены картины распределения зон контактного взаимодействия объекта штамповки и штамповой оснастки.

На рисунке 11 представлено сопоставление геометрии кронштейна в ходе математического моделирования и реально изготов-

ленного объекта, полученного путем штамповки, с применением определенных параметров геометрии штамповой оснастки и силовых параметров взаимодействия пуансона и объекта гибки.

Реальная 3D-модель геометрии кронштейна, изготовленного путем штамповки, получена методом лазерной триангуляции с использованием многофункционального ручного 3D-сканера Shining Free scan UE Pro. Расхождение реальной геометрии и полученной путем проведения математического моделирования (см. рисунок 11) лежит в области допусков на изготовление изделия.

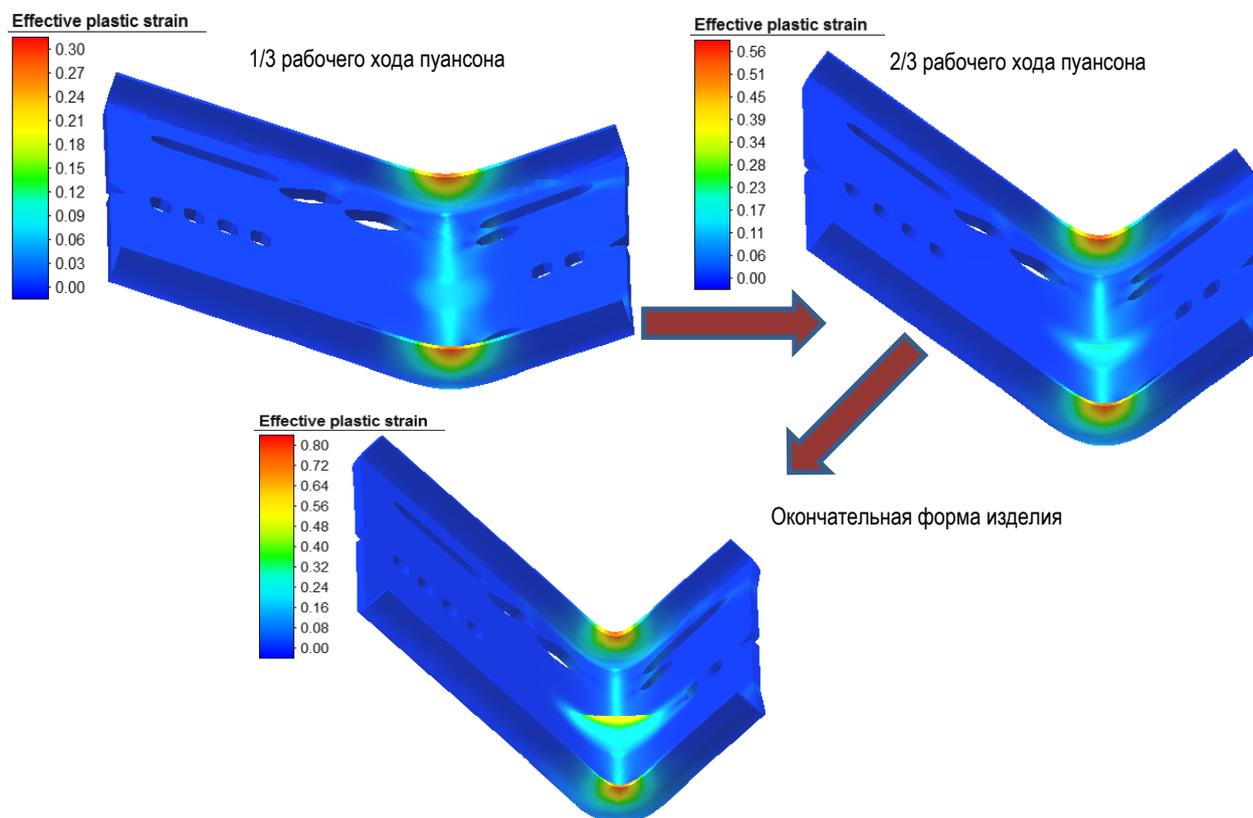


Рисунок 9 – Фазы деформирования заготовки

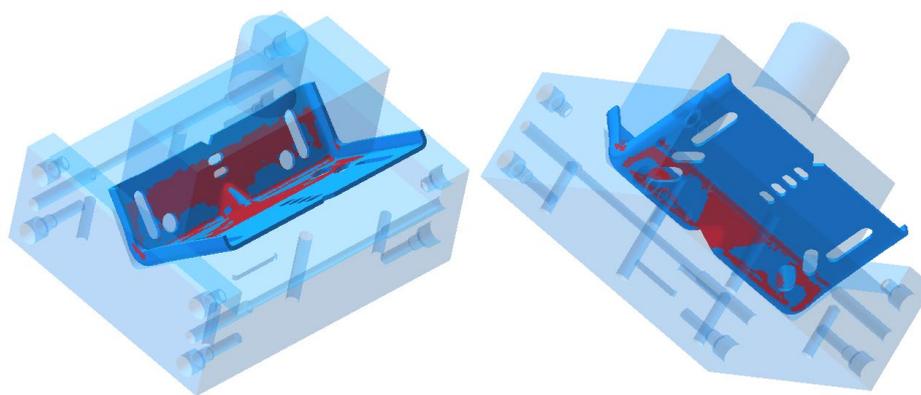
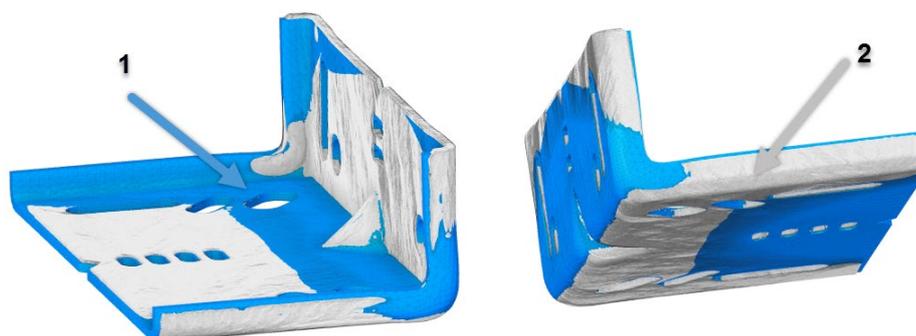


Рисунок 10 – Области контактирования заготовки и оснастки



1 – результат моделирования; 2 – реальная геометрия
Рисунок 11 – Сопоставление геометрий реального кронштейна и после процесса моделирования

Заключение

Математическое моделирование технологического процесса штамповки кронштейна установки направляющих позволило:

- проверить и довести формообразующие поверхности оснастки для получения кронштейна согласно конструкторской документации;
- определить необходимо усилие штамповки и выбрать прессовое оборудование;
- определить необходимый ход пуансона с учетом эффекта обратного пружинения;
- проверить отсутствие повреждаемости листового материала на основании метода Джонсона-Кука.

Проверка работоспособности кронштейна, спроектированного с использованием описанного подхода, была выполнена испытаниями в составе реального лифта с контролем возникающих напряжений методом тензометрии проволочными тензорезисторами [4].

Таким образом, были реализованы процессы математического моделирования технологического процесса штамповки кронштейна для получения годного изделия доведением формы заготовки и ее предварительного изготовления, что позволило за одну итерацию провести подготовку производства.

Список цитированных источников

1. Выбор конструкции детали как определяющий фактор технологичности и себестоимости ее изготовления на примере деталей ограничителя скорости лифта, получаемых лазерной резкой вместо их отливки с последующей механической обработкой / Т. В. Лапцевич [и др.] // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2022. – № 3(76). – С. 52–59. – https://doi.org/10.53078/20778481_2022_3_52. – EDN: GBNYMV.
2. Schäfer, M. Computational Engineering – Introduction to Numerical Methods / Michael Schäfer. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006. – 321 p.

3. Gomah, M. An Experimental and Numerical Investigation of an Improved Shearing Process with Different Punch Characteristics / Mahmud Gomah, Murat Demiral // Strojniški vestnik – Journal of Mechanical Engineering. – 2020. – Vol. 66, Iss. 6. – P. 375–384.
4. Методические принципы проектирования кронштейнов крепления лифтовых направляющих / В. Н. Ключков [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения. – 2022. – Т. 11. – С. 74–79. – EDN: DAQDMI.

References

1. Vybor konstrukcii detali kak opredelyayushchij faktor tekhnologichnosti i sebestoimosti ee izgotovleniya na primere detalej ogranichatelya skorosti lifta, poluchaemyh lazernoj rezkoj vmesto ih otlivki s posleduyushchej mekhanicheskoj obrabotkoj / T. V. Lapcevich [i dr.] // Vestnik Belorussko-Rossijskogo universiteta. – 2022. – № 3(76). – S. 52–59. – https://doi.org/10.53078/20778481_2022_3_52. – EDN: GBNYMV.
2. Schäfer, M. Computational Engineering – Introduction to Numerical Methods / Michael Schäfer. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006. – 321 p.
3. Gomah, M. An Experimental and Numerical Investigation of an Improved Shearing Process with Different Punch Characteristics / Mahmud Gomah, Murat Demiral // Strojniški vestnik – Journal of Mechanical Engineering. – 2020. – Vol. 66, Iss. 6. – P. 375–384.
4. Metodicheskie principy proektirovaniya kronshtejnov krepeleniya liftovyh napravlyayushchih / V. N. Klochkov [i dr.] // Aktual'nye voprosy mashinovedeniya. – 2022. – T. 11. – S. 74–79. – EDN: DAQDMI.

Материал поступил 05.06.2024, одобрен 12.06.2024, принят к публикации 12.06.2024

УДК 669.018.42

ЗЕРЕННАЯ СТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ ФОЛЬГ СПЛАВА AL-7 МАСС.% BI, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СПИННИНГОВАНИЯ

В. И. Гладковский¹, Т. Л. Кушнер², А. И. Пинчук³, В. Г. Шепелевич⁴, В. М. Шилько⁵

¹ К. ф.-м. н., доцент, доцент кафедры физики УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: vig4540@ya.ru

² К. ф.-м. н., доцент, заведующий кафедрой физики УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: apinchook@yandex.by

³ К. ф.-м. н., доцент, доцент кафедры физики УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: phys.gaa@tut.by

⁴ Д. ф.-м. н., профессор, профессор кафедры физики твердого тела и нанотехнологий Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь, e-mail: shepelevich@bsu.by

⁵ Выпускник физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь, e-mail: shilko62@gmail.com

Реферат

Традиционные технологии получения материалов, удовлетворяющих комплексу свойств, необходимых для постоянно совершенствующихся конструкций и механизмов, во многом себя исчерпали. Высокоскоростное затвердевание позволяет получить материалы с заданной структурой, свойствами и стабильностью. Сегодня в промышленности преимущественно применяется метод спиннингования, поскольку является наиболее производительным. Для получения сплава использовался алюминиевый лом, содержащий до 0.3 масс.% кремния и железа. Исследована микроструктура и микротвердость сплава Al-7 масс.% Bi, закристаллизовавшегося быстрой закалкой из расплава. Выделения висмута и железа преимущественно локализованы на границах зерен алюминия. Установлено, что доля висмутовых частиц уменьшается при возрастании их диаметра. При изохронном отжиге в интервале температур 100–150 °С и изотермическом отжиге при температуре 150 °С происходит уменьшение микротвёрдости сплава, обусловленное укрупнением частиц висмута и уменьшением их дисперсионного вклада в упрочнение сплава.

Ключевые слова: спиннингование, сплав, алюминий, висмут, зерно, микроструктура, микротвёрдость.

GRAIN STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF FAST-HARDNED FOILS OF Al-7 ALLOY WT.% Bi OBTAINED BY SPINNING

V. I. Hladcouski, T. L. Kushner, A. I. Pinchuk, V. G. Shepelevich, V. M. Shilko

Abstract

Traditional technologies for obtaining materials that satisfy a set of properties necessary for constantly improving structures and mechanisms have practically exhausted themselves. High-speed solidification of materials makes it possible to obtain materials with a given structure, properties and stability. Today in industry, the spinning method is predominantly used, since it is the most productive. To obtain the alloy, aluminum scrap containing up to 0.3 wt.% silicon and iron was used. The microstructure and microhardness of the Al-7 wt.% Bi alloy, crystallized by rapid quenching from the melt, is investigated. Precipitates of bismuth and iron are predominantly localized at the boundaries of aluminum grains. It has been established that the proportion of bismuth particles decreases with an increase in their diameter. During isochronous annealing in the temperature range of 100–150 °C and isothermal annealing at a temperature of 150 °C, the microhardness of the alloy decreases due to the enlargement of bismuth particles and a decrease in their dispersion contribution to the hardening of the alloy.

Keywords: spinning, alloy, aluminum, bismuth, grain, microstructure, microhardness.

Введение

Важнейшая задача современного материаловедения – получение новых высокоэффективных материалов с заданной структурой, свойствами и стабильностью. В настоящее время традиционные технологии не всегда позволяют получить технологические материалы, удовлетворяющие комплексу механических, физических и химических свойств, необходимых для постоянно совершенствующихся конструкций и механизмов. В частности, улучшение технических характеристик за счёт легирования металлов практически исчерпало себя. Поэтому в последние десятилетия активно развиваются новые подходы к разработке и получению новых материалов. В практике современной металлургии нашли применение модифицирования структуры и свойств путём ионной имплантации, лазерной и взрывной обработки материалов, плазменной закалки, электроискрового плакирования, пластификации немагнитных металлов в электрическом и магнитном поле и др. [1–5].

К числу таких научных направлений относится также получение материалов из жидкой фазы высокоскоростным охлаждением, при котором скорость охлаждения расплава достигает 10^5 К/с и выше. Высокоскоростное затвердевание материалов позволяет получить различные состояния: аморфное, квазикристаллическое и микрокристаллическое. Оно вызывает измельчение структурных составляющих и значительное увеличение взаимной растворимости компонентов при образовании твердых растворов [6].

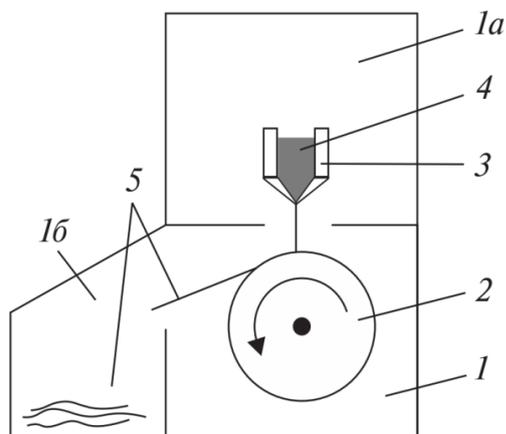
В этой связи установление закономерностей формирования структуры и определение свойств фольг сплавов, полученных сверхбыстрой закалкой из жидкой фазы, имеет научную актуальность. Важным параметром, характеризующим быстро затвердевшие материалы и имеющим практическое значение, является их стабильность. Поэтому изучение стабильности быстро затвердевших материалов, определение изменений их структуры и различных свойств под воздействием термической обработки является практически значимым.

Физические свойства и технические характеристики сплавов алюминия, содержащие индий, свинец и висмут (Al–In, Al–Pb и Al–Bi), изучены недостаточно. Это объясняется их ограниченным применением в промышленности. Однако в последние два десятилетия к этим сплавам проявляется научный и практический интерес [7–10]. Например, сплавы системы Al–Pb находят применение в качестве антифрикционных и демпфирующих материалов. При этом их механические и эксплуатационные характеристики определяются как химическим составом, так и размером, морфологией и распределением фаз, а также условиями эксплуатации. Структурные дефекты (дислокации, границы зерен, дефекты упаковки и др.) также влияют на их механические и электрохимические свойства. Установлено, что сплавы алюминия и висмута могут быть использованы в качестве анодных материалов при защите металлов, например железа и сталей от коррозии, что имеет важное практическое значение в разных

отраслях промышленности, строительстве и транспорте. Экспериментально выявлено, что сплавы системы алюминий-висмут при определенных условиях взаимодействуют с водой, вызывая выделение тепла и водорода, что имеет важное практическое значение для развития водородной энергетики. При этом расширяются возможности использования водорода в различных областях деятельности человечества, например, в медицине, автомобильном транспорте и др. Также установлено, что такое взаимодействие зависит от температуры и давления, а также и от химического состава сплава и его микроstructures, формируемой при кристаллизации и термической обработке. При взаимодействии воды и алюминия происходит образование различных соединений, в том числе и окислов алюминия, которые также могут быть использованы в промышленности. Для уменьшения стоимости получения водорода предполагается использовать алюминиевый лом (например, алюминиевые трубки из отработавших свой эксплуатационный срок холодильных установок, алюминиевый провод из выработавших свой ресурс линий электропередач, вышедшая из употребления алюминиевая посуда, отслужившие свой срок конструкционные алюминиевые изделия и др.) вместо алюминия, получаемого при помощи дорогостоящего электролиза. Концентрация кремния и железа в алюминиевой трубке составляет $\approx 0,3$ масс.%. В связи с этим проведено исследование микроstructures и микротвердости сплава Al-7 масс.% Вi, изготовленного на основе алюминиевых трубок, содержащих $\approx 0,3$ масс.% кремния и железа, и висмута чистотой 99,999 %, а также исследована его термическая стабильность путем измерения микротвердости сплава при изохронном и изотермическом отжиге.

Методика эксперимента

Главное условие реализации сверхбыстрой закалки из расплава состоит в необходимости формирования тонкого слоя жидкости, находящегося в хорошем тепловом контакте с теплоприемником. Наиболее удобным методом в этом плане является использование быстрого охлаждения, основанного на явлении теплопроводности. Основное условие сверхбыстрого охлаждения – толщина расплава в направлении отдачи тепла должна быть как можно меньше. Для эффективного теплоотвода необходимы также хороший контакт расплава с охладителем и высокая теплопроводность последнего. По типу охлаждения различают три метода сверхбыстрой закалки: с односторонним, двусторонним и многосторонним охлаждением [11]. Методы с односторонним охлаждением сводятся к инжектированию капель или струи расплава на хорошо отводящую тепло подложку. Увеличение площади контакта достигается за счет расплывания капли при ударе о подложку. Сегодня в промышленности применяются все эти методы, но преимущественно спиннингование. Метод спиннингования наиболее производителен и позволяет автоматизировать процесс получения фольг. Схема установки для данного метода показана на рисунке 1.



1 – отсекающая камера для формирования фольги, 1а – отсекающая камера для нагрева металла, 1б – отсекающая камера для сбора фольги; 2 – вращающийся цилиндр; 3 – устройство нагрева металла; 4 – расплавленный металл; 5 – фольга

Рисунок 1 – Схема установки получения фольг методом спиннингования

Сплав Al-7 масс.% Вi получен путем сплавления алюминиевых трубок и висмута чистотой 99,999 % при температуре 750 °С. Затем расплав заливался при комнатной температуре в графитовую изложницу, где закристаллизовывался в виде слитка с поперечным сечением 6×6 мм² и длиной 7 см.

Быстрозатвердевшие фольги сплава Al-7 масс.% Вi получены инжектированием капли расплава ($\approx 0,2$ г) на внешнюю полированную поверхность быстро вращающегося медного цилиндра диаметром 20 см. Линейная скорость движения поверхности цилиндра была равна 15 м/с. Толщина исследуемых фольг составляла от 30 до 80 мкм. Скорость охлаждения расплава, как показал расчет, составила $\sim 10^6$ К/с. Поверхность фольги, прилегающая к поверхности кристаллизатора, имела зеркальный вид, хотя и содержала небольшие раковины. Противоположная сторона фольги была бугристой, состояла из впадин и выступов. Из средней части фольги вырезались образцы для исследования микроstructures.

Исследования микроstructures фольг полученного сплава проводились с помощью растрового электронного микроскопа LEO-1455 VP. Микроскоп имеет приставку для проведения рентгеноспектрального микроанализа. Рабочее напряжение электронного микроскопа составляло 20 кВ. Определение параметров микроstructures (средней хорды зерен алюминия и выделений висмута, удельной поверхности межзеренных границ алюминия и межфазной границы алюминия и висмута) осуществлялось с помощью стереометрического анализа измерений, полученных методом случайных секущих [12]. Относительная погрешность измерения параметров микроstructures составила 8–15 %.

Микротвердость, H_v , фольг измерялась на микротвердомере ПМТ-3 с использованием нагрузки 20 г. Относительная погрешность измерения H_v составила 4 %. Время действия нагрузки при измерении микротвердости составляло 80 с. Значение микротвердости рассчитывалось по измерению диагоналей десяти отпечатков алмазного индентора на зеркальной поверхности фольг исследуемого сплава. Относительная погрешность определения микротвердости составила 4 %.

Быстро затвердевшие фольги подвергались изохронному и изотермическому отжигам. Термическая стабильность полученных образцов исследована методом микротвердости с помощью изохронного отжига, проводимого от 20 до 160 °С через 20 °С и выдержкой при каждой температуре в течение 30 минут, и изотермического отжига, проводимого при температуре 150 °С в течение 16 часов.

Результаты и обсуждение

Изображения зеркальной поверхности фольг исследуемого сплава Al-7 масс.% Вi при различном увеличении представлены на рисунке 2. При большом увеличении (рисунок 2б) наблюдаются темный фон, белые и серые выделения. Темный фон соответствует алюминию. Белые выделения, как показал рентгеноспектральный микроанализ, соответствуют висмуту. Границы зерен алюминия декорируются светлыми выделениями других фаз. Средняя хорда сечений алюминиевых зерен равна $d_A = 25$ мкм, рассчитанный средний размер зерен алюминия $D = 40$ мкм. Удельная поверхность границ зерен алюминия равна $S_A = 0,12$ мкм⁻¹. Большинство частиц висмута имеют шарообразную форму. Среднее значение диаметров их сечений равно $d_B = 1,5$ мкм. Удельная поверхность межфазной границы алюминий-висмут составляет $S_{A-B} = 0,062$ мкм⁻¹, что в два раза меньше S_A .

Выделения, имеющие серый оттенок и полосатую структуру, в области их скопления содержат железо. В этих областях средняя концентрация железа достигает 10 масс.%. Распределение кремния характеризуется незначительными пиками (величиной до 2 масс.%), находящихся на расстоянии ~ 1 мкм друг от друга, что свидетельствует о более однородном распределении выделений кремния, чем распределение выделений висмута и железа в исследуемом сплаве Al-7 масс.% Вi после кристаллизации при скорости охлаждения 10^6 К/с. Распределение длин хорд случайных секущих на выделениях висмута по размерным группам приведено на рисунке 3. Общее количество изображений выделений висмута, используемых при построении гистограммы, составляло не менее 150. Наибольшая доля (0,27) хорд приходится на группу с минимальным размером 0,5 мкм. С увеличением длины хорд на сечениях висмута их доля уменьшается. Доля хорд группы с максимальной их длиной (4 мкм) равна 0,05. Расстояния между выделениями висмута достигают 2 мкм и более.

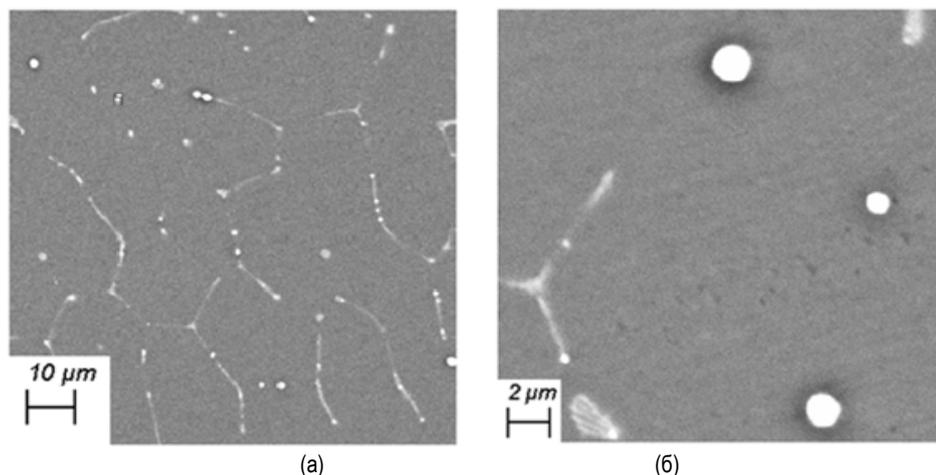


Рисунок 2 – Выделения фаз висмута и железа на границах зерен алюминия (а) и (б) сплава Al-7 масс.% Вi при различном увеличении

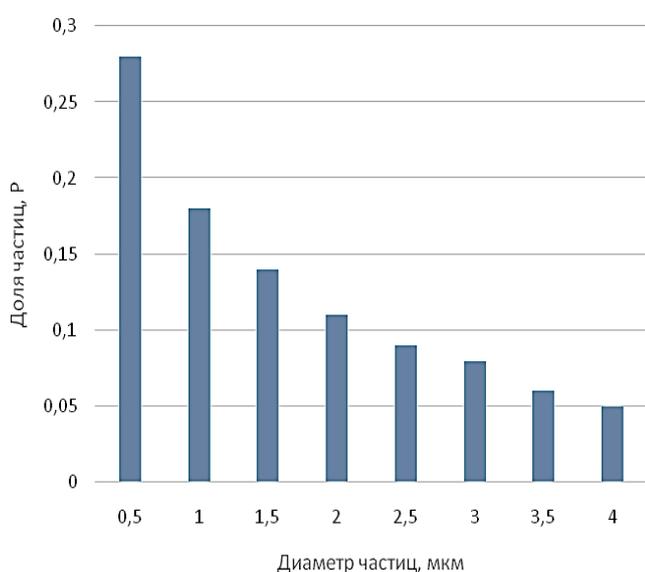


Рисунок 3 – Распределение длин хорд сечений висмутовых частиц сплава Al-7 масс.% Вi по размерным группам [16]

Образование неоднородной структуры в массивном сплаве Al(Fe, Si)-7 масс.% Вi обусловлено особенностями диаграммы состояния системы Al–Bi [13]. Взаимная растворимость компонентов в твердом состоянии составляет величину менее 1 масс.%. В сплавах системы имеет место расслоение жидкой фазы L на две жидкости L_1 и L_2 , отличающихся составом, при нагреве выше 657 °С. Объемная доля жидкости L_1 значительно больше объемной доли жидкости L_2 . При охлаждении расплава ниже 657 °С сначала происходит монотектическое превращение жидкости L_1 . При этом сначала выделяется алюминий, а атомы висмута и железа оттесняются к границам алюминиевых зерен. Жидкость L_2 , богатая висмутом, при дальнейшем охлаждении ниже 270 °С испытывает эвтектическое превращение, при котором выделяются висмут и алюминий. Выделения висмута являются более крупными, предпочтительно располагаются в областях, расположенных на стыках трех зерен. Выделяемый алюминий присоединяется к зернам алюминия, которые образовались ранее при монотектическом превращении. Выделения железа, а также их скопления, преимущественно располагаются на границах зерен алюминия. Наблюдаются скопления дисперсных выделений висмута и железа, расположенных на границах зерен.

Кристаллизация сплава Al-7 масс. % Вi, изготовленного на основе алюминиевого лома, в котором концентрация железа и кремния $\approx 0,3$ масс. %, при средней скорости охлаждения $\sim 10^6$ К/с приводит к формированию микрокристаллической структуры. Средняя хорда сечений алюминиевых зерен равна $d_{Al} = 25$ мкм, средний размер зерен алюминия 40 мкм. Удельная поверхность границ зерен алюми-

ния равна $S_{Al} = 0,12$ мкм⁻¹. На границах зерен локализованы преимущественно дисперсные выделения висмута и железа. Распределение кремния в сплаве более однородно по сравнению с распределением выделений железа и висмута. Среднее значение диаметров частиц висмута равно $d_{Bi} = 1,5$ мкм. Удельная поверхность межфазной границы алюминий-висмут равна $S_{Al-B} = 0,062$ мкм⁻¹.

В ходе исследования термической стабильности полученных фольг установлено, что микротвердость исследуемого сплава Al-7 масс.% Вi равна (323 ± 13) МПа. При проведении изохронного отжига в интервале температур 100–160 °С наблюдается монотонное уменьшение микротвердости исследуемого сплава.

Изотермический отжиг исследуемого сплава, проводимый при температуре 150 °С, вызывает также монотонное уменьшение микротвердости (рисунок 4). Изменение микротвердости на начальном этапе изотермического отжига описывается соотношением

$$(H_0 - H_t) = (H_0 - H_k) \cdot \exp(-at),$$

где H_0 , H_k и H_t – значения микротвердости при начальном, конечном и текущем времени t изотермического отжига. Расчет показал, что значение коэффициента $a = 0,3$ час⁻¹.

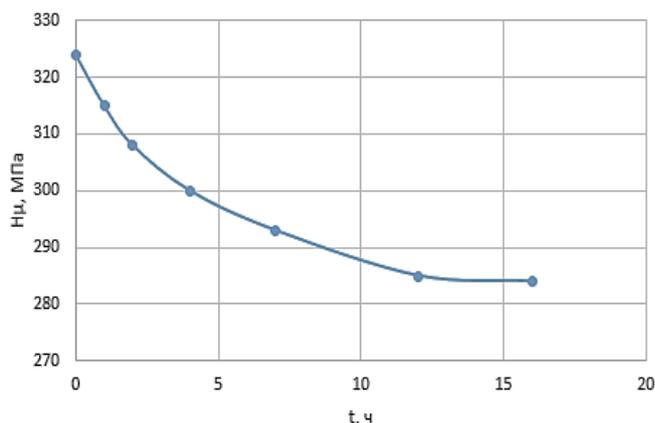


Рисунок 4 – Зависимость микротвердости сплава Al-7 масс.% Вi от времени выдержки при изотермическом отжиге

Отношение температур изотермического отжига и начала плавления исследуемого сплава по шкале Кельвина равно $\approx 0,45$, то есть при температуре 150 °С активно происходят диффузионные процессы в объеме зерен и их границах сплава, вызывающие растворение мелких частиц второй фазы (висмута) и рост более крупных его частиц [14]. Это уменьшает общее количество частиц висмута, увеличивает их средний размер и расстояния между ними. Поэтому такой процесс энергетически выгоден и приводит к уменьшению вклада дисперсионного механизма в упрочнение сплава, обуславливая тем самым уменьшение микротвердости [15] при изохронном и изотермическом отжиге.

Заключение

Установлены закономерности формирования структуры быстрозатвердевших фольг сплава Al-7 масс.% Вi, полученных односторонним охлаждением, состоящие в том, что доля висмутовых частиц уменьшается при возрастании их диаметра; при изохронном отжиге в интервале температур 100–150 °С и изотермическом отжиге при температуре 150 °С происходит уменьшение микротвердости сплава, обусловленное укрупнением частиц висмута и уменьшением их дисперсионного вклада в упрочнение сплава.

Список цитированных источников

- Шепелевич, В. Г. Быстрозатвердевшие легкоплавкие сплавы / В. Г. Шепелевич. – Минск : БГУ, 2015. – 192 с.
- Демидчик, А. В. Сверхбыстрая закалка спиннигованием и прокаткой висмут-сурьмянистых сплавов / А. В. Демидчик, В. Г. Шепелевич // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. Серия: Машиностроение и машиноведение. Энергетика. – 2007. – № 3. – С. 17–23.
- Верещагин, М. Н. Негомогенная пластическая деформация аморфных сплавов на основе железа : монография / М. Н. Верещагин, В. Г. Шепелевич, О. М. Остриков. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2004. – 133 с.
- Shepelevich, V. G. The microstructure and microhardness of rapidly solidified foils of eutectic alloy In-47 at.% / V. G. Shepelevich, L. P. Shcherbachenko // British Journal of Science, Education and Culture. – 2015. – Vol. 3, № 1 (7). – P. 863–871.
- Pinchook, A. I. On the nature of the low-field electromagneto-plastic effect / A. I. Pinchook // J. Appl. Phys. – 2002. – Vol. 92, № 5. – P. 2343–2345.
- Высокоскоростное затвердевание расплава (теория, технология и материалы) / В. А. Васильев [и др.] ; под общ. ред. Б. С. Митина. – М. : СП «Интерметинжиниринг», 1998. – 400 с.
- Interface and Phase Transitions in Al-In Monotectic Alloys / I. Kaban [et al.] // Acta Mater. – 2010. – Vol. 58. – P. 3406–3414.
- Козин, Л. Ф. Водородная энергетика и экология / Л. Ф. Козин, С. В. Волков. – Киев : Наукова Думка, 2020. – 396 с.
- Кинетика и механизм коррозионного растрескивания алюминия / Л. Ф. Козин [и др.] // Украинский химический журнал. – 2009. – Т. 75, № 11. – С. 3–11.
- Кинетика и механизм взаимодействия с водой алюминия и магния тройной системы Al-Mg-Vi / Л. Ф. Козин [и др.] // Физико-химия поверхности материалов. – 2011. – Т. 47. – С. 144–153.
- Мирошниченко, И. С. Закалка из жидкого состояния / И. С. Мирошниченко. – М. : Metallurgiya, 1982. – 168 с.
- Салтыков, С. А. Стереометрическая металлография / С. А. Салтыков – М. : Metallurgiya, 1976. – 272 с.
- Шепелевич, В. Г. Структура быстрозатвердевших фольг сплавов Al-Bi / В. Г. Шепелевич // Журнал Белорусского государственного университета. Физика. – 2022. – № 1. – С. 71–79.
- Новиков, И. И. Теория термической обработки металлов : учебник / И. И. Новиков. – М. : Metallurgiya, 1986. – 480 с.
- Шепелевич, В. Г. Структурно-фазовые превращения в металлах / В. Г. Шепелевич. – Минск : БГУ, 2021. – 201 с.
- Microstructure and microhardness of Al-7 alloy WT% Bi / V. I. Hladkouski [et al.] // Vestnik of Brest State Technical University. – 2023. – № 3 (132). – P. 61–64. – <https://doi.org/10.36773/1818-1112-2023-132-3-61-64>.

References

- SHepelevich, V. G. Bystrozatverdevshie legkoplavkie splavy / V. G. SHepelevich. – Minsk : BGU, 2015. – 192 s.
- Demidchik, A. V. Sverhbystraya zakalka spinnigovaniem i prokatkoj vismut-sur'myanistykh spлавov / A. V. Demidchik, V. G. SHepelevich // Vestnik Gornel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni P. O. Suhogo. Seriya: Mashinostroenie i mashinovedenie. Energetika. – 2007. – № 3. – S. 17–23.
- Vereshchagin, M. N. Negomogennaya plasticheskaya deformatsiya amorfnykh spлавov na osnove zheleza : monografiya / M. N. Vereshchagin, V. G. SHepelevich, O. M. Ostrikov. – Gornel' : GGTU im. P. O. Suhogo, 2004. – 133 s.
- Shepelevich, V. G. The microstructure and microhardness of rapidly solidified foils of eutectic alloy In-47 at.% / V. G. Shepelevich, L. P. Shcherbachenko // British Journal of Science, Education and Culture. – 2015. – Vol. 3, № 1 (7). – P. 863–871.
- Pinchook, A. I. On the nature of the low-field electromagneto-plastic effect / A. I. Pinchook // J. Appl. Phys. – 2002. – Vol. 92, № 5. – P. 2343–2345.
- Vysokoskorostnoe zatverdevanie rasplava (teoriya, tekhnologiya i materialy) / V. A. Vasil'ev [i dr.] ; pod obshch. red. B. S. Mitina. – M. : SP «Intermetinzhiniring», 1998. – 400 s.
- Interface and Phase Transitions in Al-In Monotectic Alloys / I. Kaban [et al.] // Acta Mater. – 2010. – Vol. 58. – P. 3406–3414.
- Kozin, L. F. Vodородnaya energetika i ekologiya / L. F. Kozin, S. V. Volkov. – Kiev : Navukova Dumka, 2020. – 396 s.
- Kinetika i mekhanizm korrozionnogo rastreskivaniya alyuminiya / L. F. Kozin [i dr.] // Ukrainskij himicheskij zhurnal. – 2009. – T. 75, № 11. – S. 3–11.
- Kinetika i mekhanizm vzaimodejstviya s vodoj alyuminiya i magniya trojnoy sistemy Al-Mg-Vi / L. F. Kozin [i dr.] // Fiziko-himiya poverhnosti materialov. – 2011. – T. 47. – S. 144–153.
- Miroshnichenko, I. S. Zakalka iz zhidkogo sostoyaniya / I. S. Miroshnichenko. – M. : Metallurgiya, 1982. – 168 s.
- Saltykov, S. A. Stereometricheskaya metallografiya / S. A. Saltykov. – M. : Metallurgiya, 1976. – 272 s.
- SHepelevich, V. G. Struktura bystrozatverdevshih fol'g spлавov Al-Bi / V. G. SHepelevich // ZHurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Fizika. – 2022. – № 1. – S. 71–79.
- Novikov, I. I. Teoriya termicheskoy obrabotki metallov : uchebnik / I. I. Novikov. – M. : Metallurgiya, 1986. – 480 s.
- SHepelevich, V. G. Strukturno-fazovye prevrashcheniya v metallakh / V. G. SHepelevich. – Minsk : BGU, 2021. – 201 s.
- Microstructure and microhardness of Al-7 alloy WT% Bi / V. I. Hladkouski [et al.] // Vestnik of Brest State Technical University. – 2023. – № 3 (132). – P. 61–64. – <https://doi.org/10.36773/1818-1112-2023-132-3-61-64>.

Материал поступил 20.06.2024, одобрен 05.07.2024, принят к публикации 05.07.2024

УДК 631.445.52

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ КАУСТОБИОЛИТОВ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВЫ В ТЕХНОГЕННО НАРУШЕННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

А. А. Хрипович¹, А. А. Цыганова², Е. А. Тишковская³

¹ К. т. н., доцент кафедры «Инженерная экология», Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, e-mail: anna.hriповich@gmail.com

² К. с.-х. н., доцент, заведующий кафедрой «Инженерная экология», Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, e-mail: anna-1981-81@mail.ru

³ Аспирант, Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, e-mail: elizaveta.tishkowskaya@yandex.ru

Реферат

Исследованы основные агрохимические и агрофизические свойства засоленной почвы, отобранной в зоне складирования галитовых отходов ОАО «Беларуськалий». Установлено повышение содержания солей и изменение кислотности почвенной вытяжки до 8–9 pH на значительном (до 300 м) удалении от террикона и вглубь почвы. В модельных опытах показана положительная динамика снижения содержания хлорид-ионов в почве в присутствии торфа различного видового состава и степени разложения.

Ключевые слова: засоленная почва, техногенно нарушенные экосистемы, содержание хлорид-ионов, торф, кислотность почвы, миграция солей.

USE OF NATURAL CAUSTOBIOLITES TO MINIMISE SOIL SALINIZATION IN TECHNOGENICALLY DISTURBED ECOSYSTEMS

A. A. Khrypovich, A. A. Tsyganova, E. A. Tsishkouskaya

Abstract

The basic agrochemical and agrophysical properties of saline soil sampled in the zone of halite waste storage of JSC "Belaruskali" have been investigated. Increase of salt content and change of acidity of soil extract up to 8-9 pH at a significant (up to 300 m) distance from the heap and deep into the soil were established. In modelling experiments the positive dynamics of chloride ions content decrease in soil in the presence of peat of different species composition and degree of decomposition is shown.

Keywords: saline soil, technogenically disturbed ecosystems, chloride ion content, peat, soil acidity, salt migration.

Введение

По оценкам [1] получение одной тонны калийных удобрений приводит к образованию от 0,99 до 4,97 т твердых и от 0,3 до 1,1 т жидких отходов. До 75 % массы добываемой сильвинитовой руды переходит в отходы, представляющие собой галит (хлорид натрия, содержащий также хлориды магния и кальция) и жидкие глинисто-солевые шламы. Ежегодно в ОАО «Беларуськалий» образуется свыше 17 млн галитовых и около 2,0 млн глинисто-солевых шламов [2]. Складирование галитовых отходов, образующих при производстве калийных удобрений, является одним из важнейших фактов, определяющих техногенное воздействие на экосистемы Солигорского района. В результате деятельности ОАО «Беларуськалий» за последние десятилетия на территории района уже размещены галитовые отходы на более чем 1,9 тыс. га, объем отходов превысил 1 млрд т [2]. К сожалению, только на одном из пяти рудоуправлений предприятия внедрена технология складирования отходов в выведенные из эксплуатации шахтные стволы. При самых благоприятных прогнозах освоения этой передовой технологии на всех подразделениях предприятия уже находящиеся на территории Солигорского района галитовые отходы будут оставаться источником засоления почвы в обозримом будущем. Эмиссия и хлоридов из террикона происходит не только с помощью осадков и миграцией по почвенному профилю, но и с помощью ветра вследствие увеличения высоты террикона при складировании более интенсивными способами. Интенсивные технологии складирования позволяют размещать отходы на уже эксплуатируемых площадках, не увеличивая площадь земель, отчуждаемых под полигоны размещения галитовых отходов [2]. Однако увеличение высоты террикона приводит к увеличению площади зоны воздействия галитовых отходов. В этой связи поиск новых технических решений по минимизации засоления почвы в техногенно нарушенных экосистемах является своевременным и актуальным.

Агрохимические свойства засоленной почвы и их изменения в присутствии природных каустобиолитов

Методы и объекты исследования. Для исследований были отобраны образцы засоленной почвы в зоне воздействия второго рудоуправления ОАО «Беларуськалий» в радиальном направлении с шагом 100 м (образцы 1, 2, 3). На расстоянии 200 м от террикона были также отобраны пробы почвы по глубине с шагом 0,15 м (образцы 2–1, 2–2, 2–3, 2–4).

Процентное соотношение первичных частиц различной крупности по фракциям определяли согласно ГОСТ 12536-2014 «Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состояния». Определение влажности производили согласно ГОСТ 28268-89 «Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений», зольность – согласно ГОСТ 27784-88 «Метод определения зольности торфяных и оторфованных горизонтов почв». Определение кислотности анализируемых образцов почвы, позволяющее определить тип засоления, – согласно ГОСТ Р 58594-2019. Массовая концентрация хлорид-ионов в водных вытяжках проводилась потенциометрическим методом с использованием ионселективного электрода. Метод заключается в измерении разности потенциалов измерительного ионселективного электрода и электрода сравнения в растворе с помощью иономера. Концентрацию определяемого иона находят по градуировочному графику зависимости потенциала от отрицательного логарифма молярной концентрации ионов хлора в градуировочных растворах.

Выполненная в предыдущих исследованиях [3] агрофизическая и агрохимическая характеристика засоленной почвы позволяет сделать вывод о том, что тип почвы дерново-подзолистый, гранулометрический состав почвы с преобладанием фракции средней крупности (крупность частиц от 1 до 5 мм) определяет связно-песчаный состав почвы по классификации Н. А. Качинского [4].

Влажность исследуемых образцов [3] составила 5–9 %, зольность 98,2–99,6 %, содержание органического вещества менее 1 %, что подтверждает потерю почвой гумуса за счет выщелачивания и повышенной миграции органических веществ почвенного поглощающего комплекса. Для условий Беларуси, когда среднее содержание гумуса составляет 2,24 %, а треть пахотных земель содержит менее 2,0 % гумуса [5], такая утрата плодородия может являться критичным фактором изменения ландшафта.

Как следует из данных таблицы 1, содержание хлорид-ионов в образцах почвы снижается при удалении от террикона, однако даже на расстоянии 300 м остается достаточно высоким для того, чтобы отрицательно сказываться на росте и развитии растений. На расстоянии 300 м уже начинается территория сельскохозяйственных угодий.

Таблица 1 – Химические свойства засоленной почвы

Образец	ЭДС электродной системы, мВ	Отрицательный логарифм молярной концентрации ионов хлора pC_m	Молярная концентрация ионов хлора C_m , ммоль/дм ³	pH
Проба 1	98,0	1,47	33	9,0
Проба 2.1	191,1	3,36	0,436	8,7
Проба 2.2	204,5	4,36	0,043	8,6
Проба 2.3	207,0	4,61	0,024	8,6
Проба 2.4	203,1	4,24	0,057	8,4
Проба 3	166,6	2,51	3,058	8,1

Из анализа данных таблицы 1 следует, что проникновение солей зафиксировано на глубине 0,6 м при общей тенденции к уменьшению количества солей. Увеличение содержания хлорид-ионов в образце 2–3 по сравнению с предыдущим слоем возможно объяснить различием в составе почвы и присутствием повышенного содержания глины в данном образце, что способствовало более медленной эмиссии почвенного раствора в нижние слои почвы и накоплению солей именно на этом уровне.

В условиях Беларуси для структурирования засоленных почв наиболее перспективно применение торфа и сапропеля, по запасам которых наша страна занимает первое место в Европе. Сапрпель – илистые отложения озер с высоким содержанием органического вещества и полезных микроэлементов. Сапрпель успешно применяется как мелиорант и удобрение в сельском хозяйстве Беларуси и может использоваться при рекультивации не только как источник минерального питания растений и успешный фактор структурирования почвенного горизонта, но и эффективный сорбент катионов.

Внесение торфа более целесообразно на супесчаных и песчаных почвах, характеризующихся слабой влагоудерживающей способностью и высокой водопроницаемостью. Эти свойства песчаных почв являются основополагающим фактором миграции ионов в сильно засоленных почвах. На тяжелых суглинистых и глинистых почвах внесение торфа менее эффективно, но сорбционные способности торфяной матрицы по отношению к одно- и двухвалентным катионам позволяют прогнозировать достаточно успешное применение торфа как сорбента.

Для модельных опытов изучения миграции солей в присутствии природных каустобиолитов были выбраны образцы торфа различного генезиса (низинный и верховой) наиболее распространенные в Республике Беларусь. Характеристика образцов торфа представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристика образцов торфа, использованных в модельных опытах

Тип торфа	Степень разложения, %	pH водной вытяжки	Содержание веществ, %				
			Битумы	Водорастворимые легкогидролизуемые	Гуминовые с фульвокислотами	Трудногидролизуемые	Лигнин
Верховой пушицево-сфагновый	20	4,2	4,0	47,0	24,9	5,9	18,2
Низинный осоковый	45	5,3	1,2	33,0	43,4	7,2	15,2

Как следует из данных таблицы 2, верховой пушицево-сфагновый торф отличается низкой степенью разложения и кислотностью, а также повышенным содержанием водорастворимых и легкогидролизуемых соединений. Низинный осоковый торф характеризуется высокой степенью разложения и высоким содержанием гуминовых и фульвокислот, его кислотность близка к нейтральной и составила 6,4. Это дает основания предполагать хорошую сорбционную способность верхового торфа и характеризует низинный торф как хороший источник питательных веществ для произрастания растений. Определение проводили потенциометрическим ионселективным методом при экстрагировании засоленной почвы и торфа в соотношении 30:1.

Результаты модельных опытов, приведенные на рисунках 1 и 2, свидетельствуют о снижении концентрации хлорид-ионов в присутствии торфа на 27–37 %. При экстрагировании большее снижение концентрации наблюдалось при добавлении осокового торфа низинного типа.

Результаты модельных опытов с использованием торфа, представленные на рисунке 3, показали не только положительную динамику уменьшения миграции катионов до 10–20 % по почвенному горизонту, но и снижение кислотности почвы. Внесение торфа, имеющего кислую и слабокислую реакцию среды, позволяет нивелировать щелочную реакцию засоленной почвы до нейтральной, что положительно сказывается на произрастании растений.

На первом этапе биологической рекультивации выращивают «авангардные» культуры, способные развиваться в условиях нару-

шенных экосистем и оказывать положительное воздействие на их биоту. В зависимости от направления дальнейшего использования земель этот этап может продолжаться 3–7 лет.

В качестве таких культур для засоленных земель используют ромашку непахучую [6], амарант, полынь [7], костер полевой, ежа сборная, овсяница обыкновенная и др. Перспективными являются неиспользуемые пока в Беларуси сорго обыкновенное и солодка голая.

Для фитомелиорации засоленных, песчаных, сухих, щелочных почв в качестве растений-галофитов были протестированы мятлик, фацелия, свекла и ячмень, как распространенные в растениеводстве Беларуси культуры различных классов: мятлик – кормовая трава, фацелия – популярный медонос и сидерат, свекла – овощная культура, ячмень – зерновая культура.

Всхожесть семян в отобранных образцах почвы. Для этого поместили в контейнеры 3 пробы почвы и универсальный грунт, полили водой и оставили на некоторое время для впитывания влаги. Затем в подготовленные субстраты произвели посев семян. Уход за растениями заключался в поливе водой комнатной температуры по мере высыхания верхнего почвенного слоя. Универсальную почву поливали 2–3 раза в неделю, почву районов деятельности калийного производства 3–4 раза в неделю, т. к. она высыхала быстрее. Наблюдения проводили в течение 15 дней. Результаты анализа всхожести полевых культур, выбранных для фитомелиорации, представлены в таблице 3.

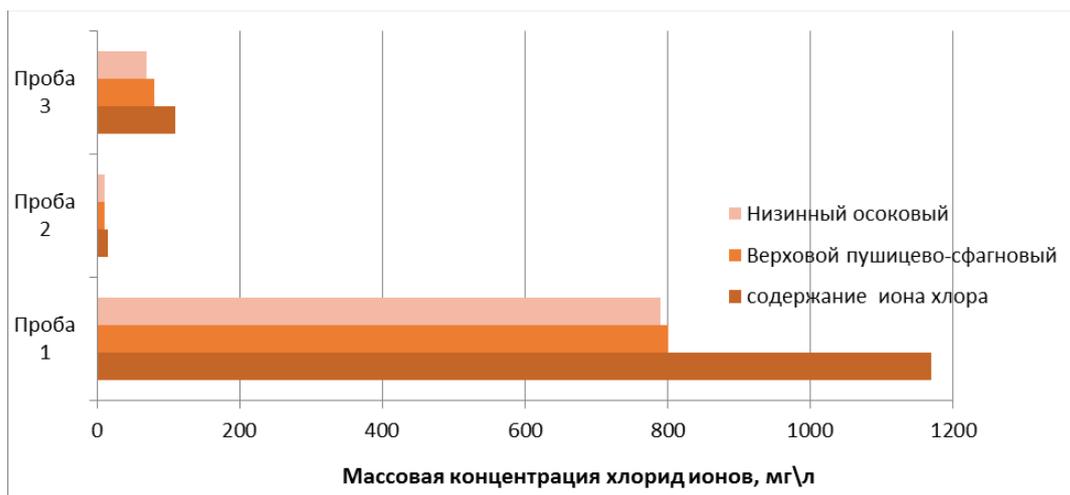


Рисунок 1 – Влияние торфа на содержание хлорид-ионов в засоленной почве при удалении от террикона

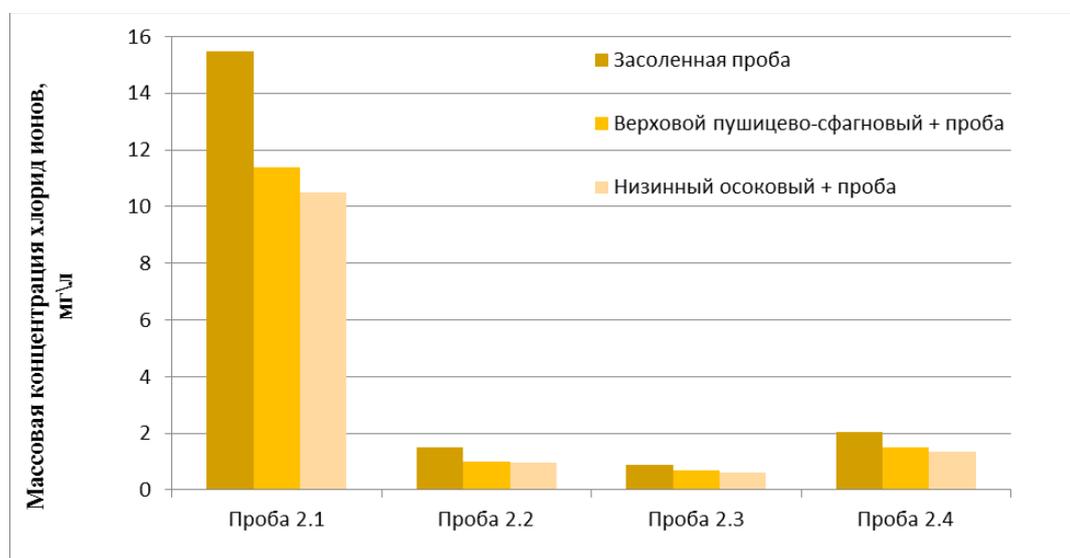


Рисунок 2 – Влияние торфа на содержание хлорид-ионов в засоленной почве по глубине почвенного горизонта

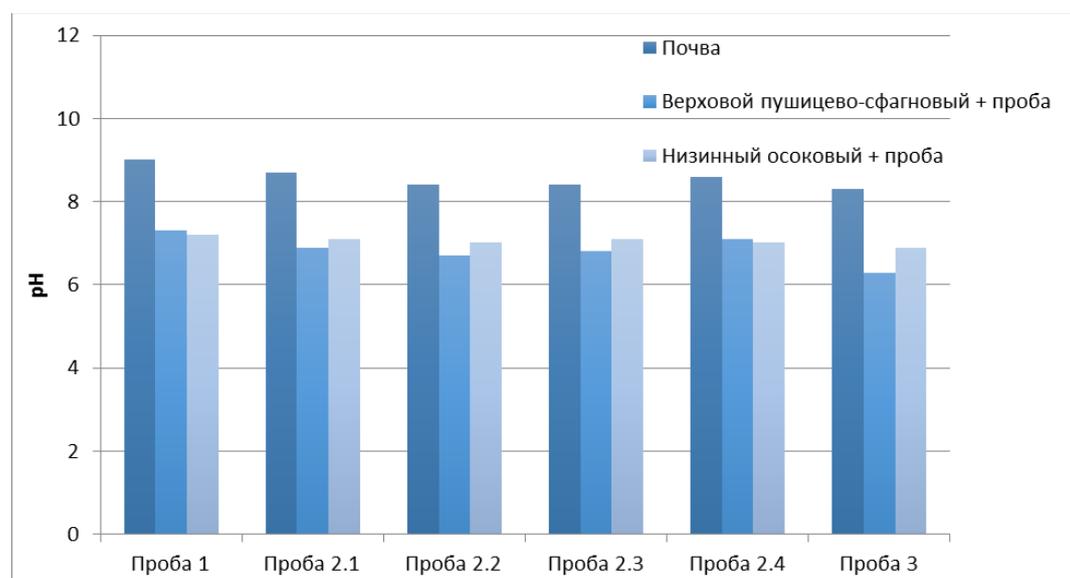


Рисунок 3 – Изменение кислотности засоленной почвы в присутствии торфа

Таблица 3 – Всхожесть семян полевых культур на почвах различной степени засоленности

Культура	Проба 1		Проба 2		Проба 3		Контроль
	%	% к контролю		% к контролю		% к контролю	
Мятлик	66,7	76,9	70,0	80,7	70,0	80,7	86,7
Фацелия	66,7	71,5	73,0	78,2	70,0	75,0	93,3
Ячмень	70,0	75,0	73,7	79,0	83,3	89,3	93,3
Свекла	66,7	80,0	73,0	87,6	76,7	92,1	83,3

Как видно из таблицы 3, наиболее чувствительны к засолению почвы оказались семена фацелии, достаточно толерантны даже в условиях высокой засоленности (проба 1) мятлик и ячмень. Наибольшую всхожесть в % к контролю проявили семена свеклы на всех исследуемых образцах почвы (100 м, 200 м, 300 м от террикона) – 80,0 %, 87,6 %, 92,1 % соответственно. Угнетение прорастания семян относительно контроля составило 10–20 %, что позволяет сделать вывод необходимости увеличения нормы высева семян на 20–30 % при проведении биологической рекультивации на засоленных почвах, а также учитывать этот факт при хозяйственной деятельности на пахотных землях, находящихся в непосредственной близости от террикона.

Заключение

Засоление почв в зоне влияния складирования галитовых отходов уменьшается при удалении от террикона, даже на расстоянии 300 м (начало пахотных площадей) остается высоким как по кислотности почвы (рН достигает 8,3), так и по содержанию хлорид-ионов (более 3 ммоль/мл). Установлена миграция солей по почвенному профилю на глубину более 0,6 м. Внесение торфа позволяет снизить значения кислотности до величин более комфортных для произрастания растений и уменьшить концентрацию подвижных хлорид-ионов в водной почвенной фазе на 25–35 %, что позволит предотвратить миграцию солей вглубь почвенного горизонта и снизить поступление солей в растения. В качестве растений-галофитов для биологического этапа рекультивации засоленных почв были протестированы мятлик луговой, фацелия пижмолистная, свекла сахарная, ячмень. Выбор культур проводился с учетом результатов определения физико-химических свойств почв, устойчивости к болезням и экстремальным погодным условиям, а также перспектив их возможного дальнейшего использования. Наибольшую толерантность к засолению почвы проявили свекла сахарная и ячмень, при этом необходимо увеличивать норму высева семян на 20–30 %.

Список цитированных источников

1. Rauche, H. Die Kaliindustrie im 21. Jahrhundert / H. Rauche. – Germany : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015. – 580 p.
2. Шемет, С. Ф. Снижение геоэкологических последствий при подземной разработке калийных месторождений / С. Ф. Шемет, А. А. Кологривко // Горный журнал. – 2015. – № 5. – С. 100–105.
3. Качинский, Н. А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения / Н. А. Качинский. – М. : АН СССР, 1958. – 192 с.

4. Хрипович, А. А. Influence of halite waste storage on soil salinization in anthropogenically disturbed landscapes / А. А. Хрипович, Е. А. Тишковская // Химия и инженерная экология : сб. трудов XXIII Междунар. науч. конф. – Казань : КНИТУ-КАИ, 2023. – С. 63–66.
5. Повышение запасов органического вещества в почвах пахотных земель Республики Беларусь / Т. М. Серая [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 2 (67). – С. 49–63.
6. Фоминых, Д. Е. Техногенное засоление почв как геоэкологический фактор при разработке нефтяных месторождений среднего Приобья: дис. ... канд. геол.-мин. наук, 25.00.36 / Д. Е. Фоминых ; НИ ТПУ. – Томск, 2013. – 22 с.
7. Способ рекультивации почв, загрязненных минерализованными водами: Пат. RU 2459398 / Г. Г. Ягафарова, Л. Р. Акчурина, Ю. А. Федорова, И. Р. Ягафаров, А. В. Московец, С. М. Лавренчук. – Оpubl. 27.08.2012.

References

1. Rauche, H. Die Kaliindustrie im 21. Jahrhundert / H. Rauche. – Germany : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015. – 580 p.
2. SHemet, S. F. Snizhenie geoekologicheskikh posledstvij pri podzemnoj razrabotke kalijnykh mestorozhdenij / S. F. SHemet, A. A. Kologrivko // Gornyj zhurnal. – 2015. – № 5. – S. 100–105.
3. Kachinskij, N. A. Mekhanicheskij i mikroagregatnyj sostav pochvy, metody ego izucheniya / N. A. Kachinskij. – M. : AN SSSR, 1958. – 192 s.
4. Hripovich, A. A. Influence of halite waste storage on soil salinization in anthropogenically disturbed landscapes / A. A. Hripovich, E. A. Tishkovskaya // Himiya i inzhenernaya ekologiya : sb. trudov НКНIII Mezhdunar. nauch. konf. – Kazan' : KNITU-KAI, 2023. – S. 63–66.
5. Povyschenie zapasov organicheskogo veshchestva v pochvah pahotnyh zemel' Respubliki Belarus' / T. M. Seraya [i dr.] // Pochvovedenie i agrohimiya. – 2021. – № 2 (67). – S. 49–63.
6. Fominyh, D. E. Tekhnogennoe zasolenie pochv kak geoekologicheskij faktor pri razrabotke neftyanykh mestorozhdenij srednego Priob'ya: dis. ... kand. geol.-min. nauk, 25.00.36 / D. E. Fominyh ; NI TPU. – Tomsk, 2013. – 22 s.
7. Sposob rekul'tivacii pochv, zagryaznennykh mineralizovannymi vodami: Pat. RU 2459398 / G. G. YAgafarova, L. R. Akchurina, YU. A. Fedorova, I. R. YAgafarov, A. V. Moskovec, S. M. Lavrenchuk. – Opubl. 27.08.2012.

Материал поступил 02.04.2024, одобрен 25.04.2024, принят к публикации 25.04.2024

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБРАБОТКИ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАГНИТНЫХ СОРБЕНТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА

Е. Н. Казимирская¹, А. В. Лихачева²

¹ Аспирант кафедры «Промышленная экология», УО «Белорусский государственный технологический университет», Минск, Беларусь, e-mail: kazimirskaaekaterina@gmail.com

² К. т. н., доцент, заведующий кафедрой «Промышленная экология», УО «Белорусский государственный технологический университет», Минск, Беларусь, e-mail: alikhachova@mail.ru

Реферат

Магнитные сорбенты из отходов производства получены традиционным методом соосаждения, который был модифицирован с учетом использования в качестве сырьевого ресурса отходов. Последующая обработка полученных сорбентов показала, что на их свойства существенное влияние оказывают условия температурной обработки.

В результате проведенных исследований было установлено, что перспективным направлением является использование полученных из отходов производства магнетитовых ядер в качестве магнитной составляющей при получении композиционных магнитных сорбентов.

Исследование свойств сорбентов проводилось с использованием следующих параметров: насыпная плотность, влагоемкость, нефтеемкость, краевого угла скачивания, адсорбция по метиленовому голубому.

Ключевые слова: отход, магнитный сорбент, метод соосаждения, нефтеемкость, температурная обработка.

THE EFFECT OF TEMPERATURE TREATMENT ON THE PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF MAGNETIC SORBENTS OBTAINED FROM INDUSTRIAL WASTE

E. N. Kazimirskaya, A. V. Likhacheva

Abstract

Magnetic sorbents from production waste were obtained by the traditional method of co-deposition, which was modified to take into account the use of waste as a raw material resource. Subsequent processing of the obtained sorbents showed that their properties are significantly influenced by the conditions of temperature treatment.

As a result of the conducted research, it was found that a promising direction is the use of magnetite nuclei obtained from production waste as a magnetic component in the production of composite magnetic sorbents.

The properties of sorbents were studied using the following parameters: bulk density, moisture capacity, oil capacity, edge angle of loading, adsorption by methylene blue.

Keywords: waste, magnetic sorbent, co-precipitation method, oil capacity, temperature treatment.

Введение

Среди всего многообразия методов очистки сточных вод наиболее выгодно выделяются сорбционные методы, обладающие рядом преимуществ: простота осуществления, возможность глубокой очистки обрабатываемых сред от различных загрязняющих веществ, высокая эффективность при малых концентрациях выделяемых соединений; возможность рекуперации различных веществ [1–2]. Наибольшее распространение среди сорбционных материалов ввиду высокой эффективности получили активные угли и их производные. При выборе сорбционного материала большое внимание уделяется его сорбционным характеристикам, способам регенерации и утилизации отработанного материала, а также стоимости получения и доступности сырьевой базы.

В последние годы применение наноматериалов в качестве сорбентов привлекает внимание исследователей. Особый интерес вызывают магнитные наноматериалы, преимущественно магнетит (Fe₃O₄), и сорбенты на их основе, поскольку можно управлять их перемещением в обрабатываемых средах с помощью внешнего магнитного поля. В настоящее время синтезировано много магнитных сорбентов. В основном это сорбенты со структурой «ядро-оболочка» – магнитные наночастицы (МНЧ) с иммобилизованными на их поверхности различными неорганическими или органическими соединениями [1, 2]. Относительно недавно стали появляться работы, посвященные получению нанокompозитных сорбционных материалов, содержащих инкапсулированные магнитные наночастицы. Эти сорбенты получают относительно просто: сорбцией МНЧ или обработкой сорбентов растворами солей железа (II, III) при последующем формировании МНЧ на их поверхности. В настоящее время такие сорбенты на основе углерода и органополимерных матриц, в частности сверхсшитого полистирола, известны и успешно применяются в аналитической практике [3].

Модификация поверхности угля позволяет повысить управляемость сорбента, а также легко извлекать его из обрабатываемой среды.

Получение магнитных сорбентов на данный момент осуществляют из чистых химических веществ или природного минерала [4–5]. Кроме этого, известен способ получения магнитного сорбента из измельченных частиц отхода, такого как окалина, которые в дальнейшем связываются парафином [6].

Целью работы являлось получение композиционного магнитного сорбента, обладающего улучшенными характеристиками, а также исследование влияния температурной обработки полученных материалов на их характеристики.

Экспериментальная часть

В данной работе в качестве сырья для получения магнитных сорбентов рассматривался отход – железная окалина [7].

Получение магнитного сорбента состояло из нескольких стадий:

1. Выщелачивание ионов железа из железной окислы раствором серной кислоты.
2. Осаждение магнетита из полученного раствора гидроксидом калия при pH 8.12.
3. Сушка полученного материала в сушильном шкафу до постоянной массы при температуре 105 °С.
4. Температурная обработка магнитных сорбентов при температурах от 300 до 800 °С.

В работе было синтезировано два вида магнитных сорбентов: один получен из железной окислы и представлял собой частицы магнетита (MC), второй был получен методом химического соосаждения солей железа в порах активированного угля раствором гидроксида калия при pH 8–12 (KMC).

Для оценки свойств полученных сорбентов использовали растворы красителя метиленового голубого (концентрация 0,3 г/дм³), йода (концентрация 0,1 н). Для определения нефтеемкости использовали отработанное печное топливо.

Определение влияния температурной обработки на физико-химические характеристики разных видов сорбентов проводили при температуре от 300 до 800 °С с шагом 100 °С. При этом наблюдалось изменение окраски частиц магнитных сорбентов с черной мато-

вой на ярко-бурюю, что свидетельствовало о структурных превращениях, происходящих в обрабатываемых образцах. В ходе эксперимента выявлено, что лучшим условием температурной обработки является прокалывание при 300 °С.

Результаты исследования влияния температурной обработки на величину физико-химических свойств полученных частиц представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты исследования физико-химических свойств магнитных сорбентов

Вид сорбента	Температура обработки, °С	Насыпная плотность, г/см ³	Влагоемкость, г/г	Нефтеемкость, г/г	Краевой угол смачивания, град.		Адсорбция по МГ, мг/г
					вода	нефть	
МС	105	0,922	1,518	0,97	44	43	23,27
	300	0,938	1,523	0,98	49	53	25,77
	400	0,873	1,735	0,86	55	60	24,57
	500	0,844	1,547	0,91	26	53	8,33
	600	0,849	1,524	0,92	48	49	4,33
	700	0,843	1,234	0,86	34	54	0,83
	800	0,901	1,192	0,745	52	51	2,33
КМС	105	0,685	1,068	1,45	30	55	66,77
	300	0,509	1,404	1,60	35	49	67,15
	400	0,465	1,861	1,63	32	60	66,65
	500	0,391	2,842	2,20	42	44	32,88
	600	0,312	3,834	2,49	56	53	22,83
	700	0,329	4,107	2,73	48	68	28,3
800	0,401	3,145	1,8	39	45	1,83	
АУ	–	0,423	4,243	2,43	–	–	72,24

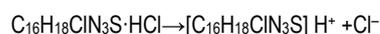
Примечание – МС – магнитный сорбент, представляющий собой частицы Fe₃O₄; КМС – композиционный магнитный сорбент, полученный в результате осаждения Fe₃O₄ на поверхности активированного угля (АУ); АУ – активированный уголь; МГ – метиленовый голубой.

В качестве органического модельного загрязнителя применяли широко используемый для этой цели краситель – метиленовый голубой (МГ). На рисунке 1 представлены результаты изучения влияния условий температурной обработки МС на величину сорбционной емкости (СЕ) синтезированных магнитных сорбентов по отношению к МГ.

Метиленовый голубой – катионный краситель, на адсорбцию которого влияет заряд поверхности адсорбента. Поверхность адсорбента будет отрицательно заряженной выше рН точки нулевого заряда (рН_{тнз}) и положительно заряженной ниже рН_{тнз}. Согласно литературным данным, рН_{тнз} Fe₃O₄ (магнетита) лежит в диапазоне от 6 до 8 в зависимости от способа его получения.

Кроме того, были проведены исследования процесса адсорбции ионов Cl⁻, которые показали, что ионы Cl⁻ практически не сорбируются как МС, так и КМС.

Высокая адсорбция МГ обусловлена силами притяжения между катионами красителя, который диссоциирует согласно уравнению



и отрицательными зарядами адсорбирующей поверхности сорбентов. Отрицательный заряд поверхности также обуславливает и практически нулевую адсорбционную способность к ионам Cl⁻.

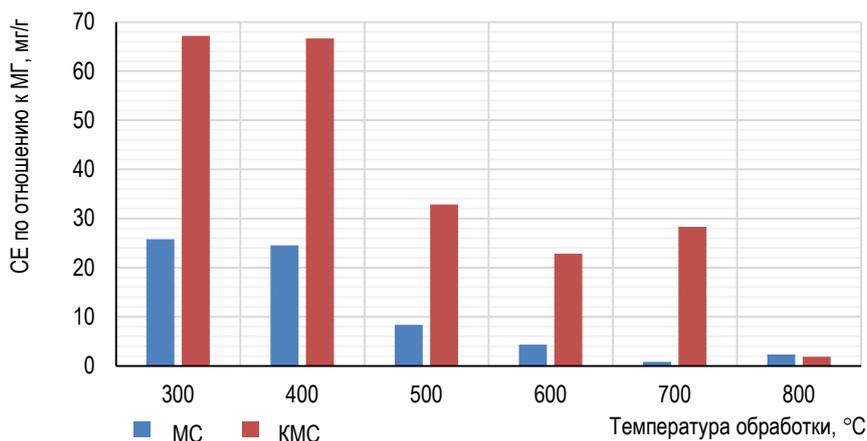


Рисунок 1 – Зависимость СЕ синтезированных сорбентов по отношению к МГ от условий их температурной обработки

Таким образом, можно сделать вывод о том, что полученные наночастицы магнитного сорбента обладают отрицательным зарядом поверхности.

Несмотря на то, что СЕ МС по отношению к МГ ниже СЕ КМС и АУ, данные значения превышают СЕ магнитных сорбентов, полученных из чистых веществ (Fe₃O₄/SiO₂ [5] – максимальная СЕ по отношению к МГ составляет 14,7 мг/г).

Снижение сорбционной емкости активированного угля объясняется уменьшением его удельной поверхности вследствие введения наночастиц, что согласуется с данными исследований [8, 9]. По данным [10–12], одной из причин снижения удельной поверхности является уменьшение доли углеродной составляющей адсорбента, кроме того, в [13–15] показано, что соединения железа при нанесении их на углеродную поверхность приводят к блокировке на ней микропор.

Как отмечено в [16], соли, включая $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$, FeC_2O_4 , $\text{FeC}_6\text{H}_5\text{O}_7$ и $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, ингибируют развитие пор, что приводит к более низким значениям удельной поверхности и, следовательно, к низким значениям сорбционной емкости.

Однако увеличить значение сорбционной емкости магнитного углеродного сорбента по сравнению с исходным углеродным сорбентом можно следующим образом:

- 1) за счет модификации исходного углеродного сорбента железом;
- 2) в результате возникновения электростатического притяжения между магнетитом и ионами извлекаемого вещества [16].

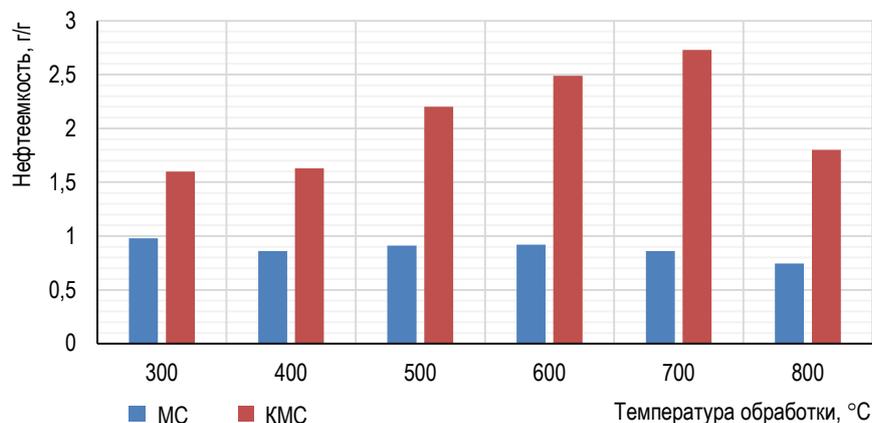


Рисунок 2 – Зависимость нефтеемкости синтезированных магнитных сорбентов от условий температурной обработки

Как видно из графика, максимальными значениями нефтеемкости обладает KMC. При этом, наибольшее значение нефтеемкости KMC приобретает в результате обработки при температуре 700 °C. Однако стоит отметить, что по достижении температуры обработки магнитных сорбентов в 600 °C их магнитные свойства резко снижаются.

Увеличение значений нефтеемкости KMC с увеличением температуры обработки связано с образованием трещин и пор большего размера, вследствие чего происходит снижение значений удельной поверхности.

Если сравнивать синтезированные магнитные сорбенты со схожими магнитными сорбентами, то полученные значения сопоставимы с магнитным сорбентом, полученным из измельченного отхода окалины, связанного парафином – 2,3 г/г [6], магнитным сорбентом, полученным из железосодержащих отходов водоподготовки при температуре 300 °C – 2,96 г/г [17], магнитным сорбентом, полученным из отходов животноводческих хозяйств – 2,8 г/г [18].

Заключение

В работе использовались два вида магнитных сорбентов, полученных различным путем: один представляет собой наночастицы магнетита, полученного из железосодержащих отходов производства модифицированным методом Массара, второй – путем осаждения частиц магнетита в порах активированного угля. Исследования по получению второго вида сорбента проводились с целью установления возможности получения композиционного магнитного сорбента из немагнитной матрицы растительного происхождения и частиц магнетита, полученных из железосодержащих отходов.

Как показывают результаты исследований, в связи с тем, что магнитные сорбенты имеют высокую влагоемкость их применение в исходном виде не эффективно, требуется гидрофобизирующая обработка магнитных сорбентов.

Полученные MC и KMC характеризуются такими же значениями нефтеемкости, как и у магнитных сорбентов, полученных как из отходов производства, так и из чистых веществ. Однако данные значения и не ниже.

Определенные значения адсорбции МГ полученных магнитных сорбентов подтверждают, что данные MC являются перспективными сорбционными материалами и могут быть использованы для очистки сточных вод от органических загрязнителей.

Изучив влагоемкость и нефтеемкость полученных сорбентов, заключили, что их применение в исходном виде неэффективно, требуется гидрофобизирующая обработка магнитных сорбентов. Приме-

Определение краевого угла смачивания поверхности полученных материалов водой и нефтепродуктом (печного топлива) позволило установить, что магнитные сорбенты обладают высокими гидрофильными и олеофильными свойствами, что может оказывать негативный эффект на значения нефтеемкости магнитных сорбентов при их использовании в практике очистки вод от разливов нефтепродуктов. На рисунке 2 представлены результаты изучения влияния условий температурной обработки на значения нефтеемкости синтезированных магнитных сорбентов.

ром такой обработки является нанесение гидрофобизирующего реагента на гранулы магнитного сорбента [19].

Сравнив физико-химические характеристики MC и KMC, можно сделать вывод о целесообразности использования синтезированных магнитных частиц в качестве магнитной матрицы при получении композиционных магнитных сорбентов.

Модифицирование активированного угля (АУ) магнетитом уменьшает сорбционную способность полученных композиционных магнитных сорбентов (KMC) по сравнению с исходным активированным углем. Однако при этом стоит отметить, что сорбционные свойства полученных KMC в сравнении с MC улучшаются, а обработанный АУ приобретает магнитные свойства.

При температурной обработке происходит изменение структуры синтезированных магнитных сорбентов, что приводит к изменению их свойств.

Список цитированных источников

1. Chen, J. Magnetic solid phase extraction using ionic liquid-coated core-shell magnetic nanoparticles followed by high-performance liquid chromatography for determination of Rhodamine B in food samples / J. Chen, X. Zhu // Food Chemistry. – 2016. – Vol. 200. – P. 10–15.
2. Roto, R. Magnetic adsorbent of $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ core-shell nanoparticles modified with thiol group for chloroauric ion adsorption / R. Roto, Y. Yusran, A. Kuncaka // Applied Surface Science. – 2016. – Vol. 377. – P. 30–36.
3. Facile synthesis of magnetic hypercrosslinked polystyrene and its application in the magnetic solid-phase extraction of sulfonamides from water and milk samples before their HPLC determination / V. V. Tolmacheva [et al.] // Talanta. – 2016. – Vol. 152. – P. 203–208.
4. Чан Туан Хоанг Магнетит с модифицированной поверхностью для водоочистки / Чан Туан Хоанг, Т. А. Юрмазова, Е. А. Вайтулович // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330, № 8. – С. 163–172.
5. Алексеева, О. В. Адсорбция метиленового голубого из водных растворов на композите галлуазит/магнетит: эксперимент и моделирование / О. В. Алексеева, А. В. Носкова, Д. Н. Смирнова // Журнал физической химии. – 2022. – Т. 96, № 4. – С. 547–552.
6. Магнитосорбенты на основе отходов стальной окалины для удаления разливов нефтепродуктов / Л. Н. Ольшанская [и др.] // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2019. – № 2. – С. 92–105.

7. Казимирская, Е. Н. Производственные отходы как сырьевой ресурс для получения магнитных сорбентов / Е. Н. Казимирская, А. В. Лихачева // Химия и жизнь : сб. статей XXI Междунар. науч.-практ. студ. конф., Новосибирск, 19 мая 2022 г. – Новосибирск : Издательский центр Новосибирского государственного аграрного университета "Золотой колос", 2022. – С. 322–324.
8. Teresa, J. B. Activated carbon surfaces in environmental remediation / J. B. Teresa // Journal of Colloid and Interface Science. – New York : Elsevier, 2006. – Vol. 298, Iss. 1. – P. 572–576.
9. Baghdadi, M. Removal of carbamazepine from municipal wastewater effluent using optimally synthesized magnetic activated carbon: Adsorption and sedimentation kinetic studies / M. Baghdadi, E. Ghaffari, B. Aminzadeh // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2016. – Vol. 4, No. 3. – P. 3309–3321.
10. Preparation, characterization, and application of magnetic activated carbon for treatment of biologically treated papermaking wastewater / Zhuqing Feng [et al.] // Science of The Total Environment. – 2020. – Vol. 713. – P. 136423.
11. Early Transmission Dynamics in Wuhan, China, of Novel Coronavirus-Infected Pneumonia / H. Luo [et al.] // Bioresource Technology. – 2019. – Vol. 282. – P. 310–317.
12. Dysbiosis of Gut Microbiota (DOGMA)--a novel theory for the development of Polycystic Ovarian Syndrome / E.-A. Moaca [et al.] // Molecules. – 2019. – Vol. 24. – P. 2–18.
13. Lompe, K. M. The influence of iron oxide nanoparticles upon the adsorption of organic matter on magnetic powdered activated carbon / K. M. Lompe, D. Menard, B. Barbeau // Water Research. – 2017. – Vol. 123. – P. 30–39.
14. Nano-Scale Pore Structure and Fractal Dimension of Longmaxi Shale in the Upper Yangtze Region, South China: A Case Study of the Laifeng–Xianfeng Block Using HIM and N₂ Adsorption / C. Huang [et al.] // Minerals. – 2019. – Vol. 9 (6). – P. 356.
15. Fast nitrate and fluoride adsorption and magnetic separation from water on α -Fe₂O₃ and Fe₃O₄ dispersed on Douglas fir biochar / N. B. Dewage [et al.] // Biores. Technol. – 2018. – Vol. 263. – P. 258–265.
16. Магнитные железосодержащие углеродные материалы как сорбенты для извлечения загрязнителей из водных сред (обзор) / М. Д. Веденяпина [и др.] // Химия твердого топлива. – 2021. – № 5. – С. 15–37.
17. Горелая, О. Н. Магнитный сорбент из отходов водоподготовки для удаления нефтепродуктов из водных сред / О. Н. Горелая, Н. Л. Будейко, В. И. Романовский // Вестник Полоцкого государственного университета. Строительство. Прикладные науки. – 2020. – № 16. – С. 52–57.
18. Процесс получения магнитного сорбента в лабораторных условиях / Е. А. Квашева [и др.] // Сборник материалов IX Всероссийской науч.-практ. конф. молодых ученых с междунар. участием «Россия молодая» : конференция проходит при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Кемерово, 18–21 апреля 2017 г. – Кемерово : Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2017.
19. Ушакова, Е. С. Влияние процесса гидрофобизации на свойства магнитных углеродных сорбентов / Е. С. Ушакова, А. Г. Ушаков, Л. В. Соловьева // Южно-Сибирский научный вестник. – 2020. – № 1. – С. 39–44.
20. CHan Tuan Hoang Magnetit s modifirovannoj poverhnost'yu dlya vodoочистki / CHan Tuan Hoang, T. A. YUrmazova, E. A. Vajtulevich // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. – 2019. – T. 330, № 8. – С. 163–172.
21. Alekseeva, O. V. Adsorbciya metilénovogo golubogo iz vodnyh rastvorov na kompozite galluazit/magnetit: éksperiment i modelirovanie / O. V. Alekseeva, A. V. Noskova, D. N. Smirnova // Zhurnal fizicheskoj himii. – 2022. – T. 96, № 4. – S. 547–552.
22. Magnitosorbenty na osnove othodov stal'noj okaliny dlya udaleniya razlivov nefteproduktov / L. N. Ol'shanskaya [i dr.] // Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika. – 2019. – № 2. – S. 92–105.
23. Kazimirskaia, E. N. Proizvodstvennye othody kak syr'evoj resurs dlya polucheniya magnitnyh sorbentov / E. N. Kazimirskaia, A. V. Lihacheva // Himiya i zhizn' : sb. statej XXI Mezhdunar. nauch.-prakt. stud. konf., Novosibirsk, 19 maya 2022 g. – Novosibirsk : Izdatel'skij centr Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta "Zolotoj kolos", 2022. – S. 322–324.
24. Teresa, J. B. Activated carbon surfaces in environmental remediation / J. B. Teresa // Journal of Colloid and Interface Science. – New York : Elsevier, 2006. – Vol. 298, Iss. 1. – P. 572–576.
25. Baghdadi, M. Removal of carbamazepine from municipal wastewater effluent using optimally synthesized magnetic activated carbon: Adsorption and sedimentation kinetic studies / M. Baghdadi, E. Ghaffari, B. Aminzadeh // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2016. – Vol. 4, No. 3. – P. 3309–3321.
26. Preparation, characterization, and application of magnetic activated carbon for treatment of biologically treated papermaking wastewater / Zhuqing Feng [et al.] // Science of The Total Environment. – 2020. – Vol. 713. – P. 136423.
27. Early Transmission Dynamics in Wuhan, China, of Novel Coronavirus-Infected Pneumonia / H. Luo [et al.] // Bioresource Technology. – 2019. – Vol. 282. – P. 310–317.
28. Dysbiosis of Gut Microbiota (DOGMA)--a novel theory for the development of Polycystic Ovarian Syndrome / E.-A. Moaca [et al.] // Molecules. – 2019. – Vol. 24. – P. 2–18.
29. Lompe, K. M. The influence of iron oxide nanoparticles upon the adsorption of organic matter on magnetic powdered activated carbon / K. M. Lompe, D. Menard, B. Barbeau // Water Research. – 2017. – Vol. 123. – P. 30–39.
30. Nano-Scale Pore Structure and Fractal Dimension of Longmaxi Shale in the Upper Yangtze Region, South China: A Case Study of the Laifeng–Xianfeng Block Using HIM and N₂ Adsorption / C. Huang [et al.] // Minerals. – 2019. – Vol. 9 (6). – P. 356.
31. Fast nitrate and fluoride adsorption and magnetic separation from water on α -Fe₂O₃ and Fe₃O₄ dispersed on Douglas fir biochar / N. B. Dewage [et al.] // Biores. Technol. – 2018. – Vol. 263. – P. 258–265.
32. Magnitnye zhelezosoderzhashchie uglevodnye materialy kak sorbenty dlya izvlecheniya zagryaznitelej iz vodnyh sred (obzor) / M. D. Vedenyapina [i dr.] // Himiya tverdogo topliva. – 2021. – № 5. – S. 15–37.
33. Gorelaya, O. N. Magnitnyj sorbent iz othodov vodopodgotovki dlya udaleniya nefteproduktov iz vodnyh sred / O. N. Gorelaya, N. L. Budejko, V. I. Romanovskij // Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. Stroitel'stvo. Prikladnye nauki. – 2020. – № 16. – S. 52–57.
34. Process polucheniya magnitnogo sorbenta v laboratornyh usloviyah / E. A. Kvashevaya [i dr.] // Sbornik materialov IX Vserossijskoj nauch.-prakt. konf. molodyh uchenyh s mezhdunar. uchastiem «Rossiya molodaya» : konferenciya prohodit pri podderzhke Rossijskogo fonda fundamental'nyh issledovanij, Kemerovo, 18–21 aprelya 2017 g. – Kemerovo : Kuzbasskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet imeni T.F. Gorbacheva, 2017.
35. Ushakova, E. S. Vliyanie processa gidrofobizacii na svojstva magnitnyh uglevodnyh sorbentov / E. S. Ushakova, A. G. Ushakov, L. V. Solov'eva // YUzhno-Sibirskij nauchnyj vestnik. – 2020. – № 1. – S. 39–44.

References

1. Chen, J. Magnetic solid phase extraction using ionic liquid-coated core-shell magnetic nanoparticles followed by high-performance liquid chromatography for determination of Rhodamine B in food samples / J. Chen, X. Zhu // Food Chemistry. – 2016. – Vol. 200. – P. 10–15.
2. Roto, R. Magnetic adsorbent of Fe₃O₄@SiO₂ core-shell nanoparticles modified with thiol group for chloroauric ion adsorption / R. Roto, Y. Yusran, A. Kuncaka // Applied Surface Science. – 2016. – Vol. 377. – P. 30–36.
3. Facile synthesis of magnetic hypercrosslinked polystyrene and its application in the magnetic solid-phase extraction of sulfonamides from water and milk samples before their HPLC determination / V. V. Tolmacheva [et al.] // Talanta. – 2016. – Vol. 152. – P. 203–208.

Материал поступил 26.04.2024, одобрен 21.05.2024, принят к публикации 21.05.2024

УДК 551.582(476.2+476.7)

ТЕПЛО- И ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ ЮЖНОЙ ЧАСТИ ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ В ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ПЕРИОД

Г. А. Камышенко

К. т. н., доцент, ученый секретарь Института природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: kamyshenka@tut.by

Реферат

Учет изменчивости температурно-влажностного режима территории в значительной степени определяет успешность ведения аграрного производства, является важнейшей составляющей комплексного подхода к решению задач устойчивого и эффективного использования агроресурсного потенциала пахотных земель в условиях изменения климата.

В данной статье представлены результаты исследования тепло- и влагообеспеченности южной части территории Беларуси в вегетационный период. Выполнен статистический анализ динамики и частоты проявления значений гидротермического коэффициента за май – июль 1891–2022 гг., а также в 1945–2022 гг. по данным отдельных метеостанций. Показаны результаты сравнительного анализа изменения данного показателя для временного интервала до начала потепления и в период потепления климата.

Ключевые слова: температура воздуха и атмосферные осадки, потепление климата, гидротермический коэффициент, динамика, частота.

HEAT AND MOISTURE SUPPLY IN THE SOUTHERN PART OF BELARUS DURING THE GROWING PERIOD

H. A. Kamyshenka

Abstract

Taking into account the variability of temperature and moisture regime of the territory largely determines the success of agricultural production, is the most important component of an integrated approach to solving the problems of sustainable and effective use of agro-resource potential of arable land in the context of climate change.

This paper presents the results of the study of heat and moisture availability in the southern part of the territory of Belarus during the growing season. The statistical analysis of the dynamics and frequency of occurrence of the hydrothermal coefficient values for May–July 1891–2022, as well as in 1945–2022 according to the data of some meteorological stations is carried out. The results of comparative analysis of changes in this indicator for the time interval before the beginning of warming and during the period of climate warming are shown.

Keywords: air temperature and precipitation, hydrothermal coefficient, dynamics, frequency.

Введение

Одна из наиболее актуальных проблем как в области научных геоэкологических исследований, так и в сфере планирования социально-экономического развития регионов – оценка значимости происходящих изменений климата для природной среды и климатозависимых отраслей народного хозяйства. Воздействиям климатических изменений особенно подвержено сельскохозяйственное производство. Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 27 ноября 2019 г. № 800 определен перечень на 2020–2024 годы районов, относящихся к неблагоприятным для производства сельскохозяйственной продукции. Согласно Положению о порядке отнесения районов к неблагоприятным для производства сельскохозяйственной продукции, утвержденному постановлением Правительства от 15 августа 2014 г. № 796, таковым признается район, на территории которого в связи с природно-климатическими, почвенными, экологическими и социально-экономическими показателями (факторами) организация высокорентабельного производства не представляется возможной. В указанный перечень внесено 66 районов республики, значительное количество из которых приходится на Гомельскую область (20 районов), в список не попал только один из всех административных районов области – Жлобинский район [1]. В Брестской области из 16 административных районов неблагоприятными для производства сельскохозяйственной продукции признаны почти треть всех районов (5) – Ганцевичский, Ивановский, Лунинецкий, Пинский и Столинский районы. Данный факт лишний раз свидетельствует об актуальности и целесообразности исследования на региональном уровне факторов, влияющих на эффективность сельскохозяйственного производства, одним из которых является климатический фактор.

В связи с вышесказанным, статистический анализ и учет изменчивости температурно-влажностного режима южной части территории Беларуси (Брестской и Гомельской областей) представляет значительный научно-практический интерес.

Методы исследования и исходные данные

В статистических исследованиях при анализе агроклиматических условий возделывания сельскохозяйственных культур широко используется гидротермический коэффициент (ГТК) Г. Т. Селянинова, отражающий условия увлажнения территории в зависимости от температуры воздуха. ГТК рассчитывается как отношение суммы осадков за определенный период (не менее месяца) к сумме температур за это же время со средними суточными значениями, превышающими 10 °С, уменьшенной в 10 раз. Этот показатель дает комплексную характеристику степени увлажнения, поскольку учитывает соотношение между количеством выпавших осадков и возможным испарением с открытой водной поверхности, пропорциональным сумме температур. Коэффициент, равный единице, по Г. Т. Селянину [2], указывает на равенство прихода расходу влаги; меньше единицы характеризует недостаточное увлажнение, коэффициенты от 1 до 2 указывают на достаточное увлажнение. В исследованиях подобного рода для интерпретации изменения показателя влагообеспеченности территории наиболее приемлема градация, представленная в [3], согласно которой различают следующие условия увлажнения территории: ниже 0,4 – сухие условия, 0,4–0,7 – очень засушливые, 0,71–1,0 – засушливые, 1,01–1,3 – слабозасушливые, 1,31–1,6 – оптимальные, более 1,6 – влажные.

В исследовании температурно-влажностного режима южной части территории Беларуси использованы данные, опубликованные в справочном пособии [4], и статистические материалы Белгидрометцентра по среднемесячным температурам воздуха и количеству осадков по метеостанциям Брестской и Гомельской областей. Исследованием охвачен вегетационный период с мая по июль временного интервала 1891–2022 гг. Ранее в лаборатории климатических исследований Института природопользования НАН Беларуси было выполнено исследование изменения гидротермического коэффициента за отдельные месяцы 1960–2019 гг. на территории Беларуси [5].

Результаты исследования и их обсуждение

На рисунке 1 представлены графики динамики значений ГТК в мае – июле на территории Брестской и Гомельской областей в 1891–2022 г.

Среднее значение ГТК мая – июля за период 1891–2022 г. в южной части территории Беларуси составляет 1,4, что соответствует оптимальным условиям увлажнения. Динамика изменения значений ГТК Брестской области характеризуется незначительной положительной тенденцией, Гомельской области – отрицательной направленностью линейного тренда. Указанная тенденция присуща не

только всему интервалу с 1891 по 2022 г., но и его отдельным частям, в частности, характерна для периода, предшествовавшего началу потепления климата (до 1989 г.), и периода современного потепления (1989–2022 г.). Размах изменения значений ГТК мая – июля на территории Гомельской области несколько выше, чем на территории Брестской области. На всем исследуемом интервале (1891–2022 г.) в южной части территории Беларуси при росте температуры воздуха наблюдается рост выпадения атмосферных осадков в мае и июле и их уменьшение в июне.

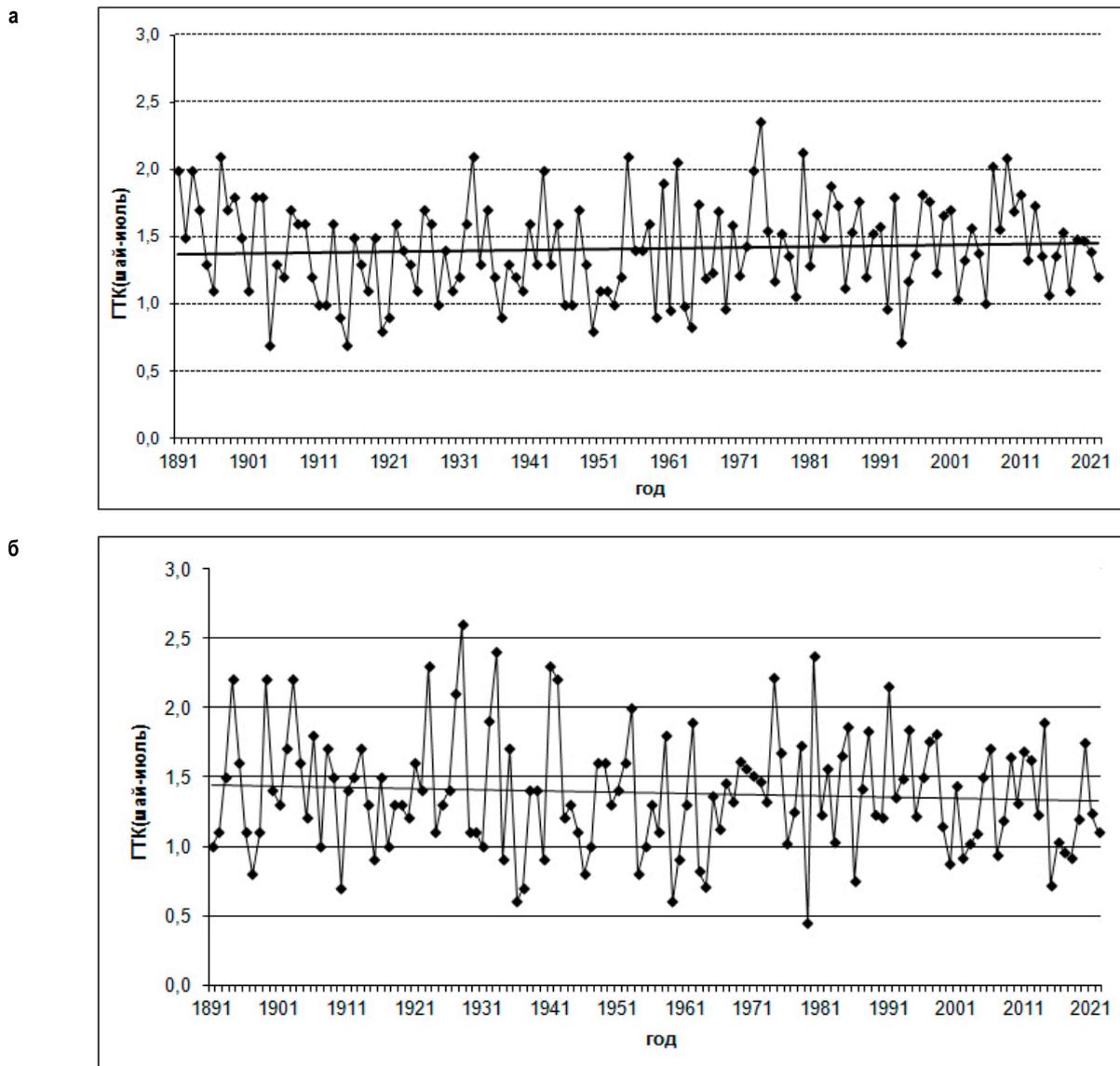


Рисунок 1 – Динамика значений ГТК за май – июль 1891–2022 г. с линейным трендом на территории Брестской (а) и Гомельской (б) областей

В период потепления климата (после 1989 г.) в Брестской области при росте температуры воздуха суммарное количество осадков в мае и июле увеличилось, а в июне – уменьшилось. При этом в последние годы в июле увеличились суточные максимумы осадков, т. е. повысилась интенсивность ливневых осадков, но уменьшилась их продолжительность. Таким образом, продолжительность периодов без осадков (с засухами) увеличилась.

В Гомельской области в период потепления климата при сохранении в мае и июне общей тенденции, присущей всему исследуемому интервалу (1891–2022 г.), отмечается незначительное уменьшение суммарного количества выпавших осадков в июле.

Согласно вышесказанному, можно сделать вывод, что короткопериодная изменчивость температурно-влажностного режима терри-

тории южной части Беларуси в мае – июле обусловлена в основном неустойчивым выпадением атмосферных осадков. Исследования, выполненные в Институте природопользования НАН Беларуси, показали, что если до начала современного потепления территория Беларуси относилась к зоне избыточного увлажнения, то сейчас потенциальное испарение превалирует над осадками практически на всей территории Брестской и Гомельской областей.

Графики, отражающие динамику скользящих по десятилетним периодам значениям ГТК, позволяют исключить из рассмотрения короткопериодные колебания данных и более наглядно показать динамику изменения исследуемого показателя. Представленные на рисунке 2 графики 10-летних скользящих средних значений ГТК за май – июль 1891–2022 г. характеризуются волнообразным характером.

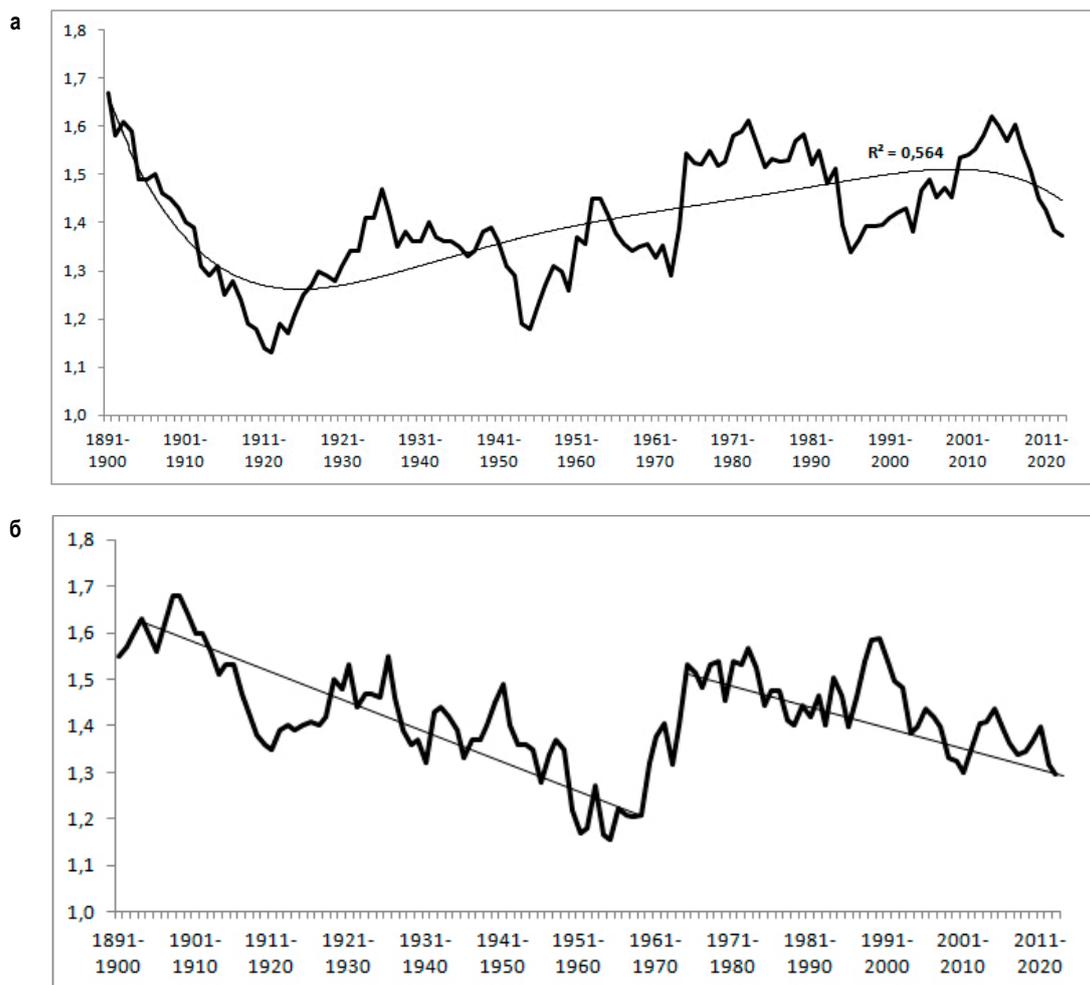


Рисунок 2 – Динамика 10-летних скользящих значений ГТК за май – июль 1891–2022 гг. на территории Брестской (а) и Гомельской (б) областей

График, характеризующий ГТК Брестской области, дополнен полиномиальной (5-й степени) трендовой составляющей с коэффициентом детерминации, равным 0,564, свидетельствующем о наличии заметной статистической связи. Трендовая составляющая после значительного снижения в первые десятилетия исследуемого временного интервала в целом характеризуется положительной динамикой, сменившей направленность в последние годы. На графике,

характеризующем ГТК Гомельской области, нами выделены два периода с нисходящими линейными трендами, демонстрирующими устойчивое снижение скользящих значений ГТК.

Визуально оценить характер разброса данных позволяет гистограмма распределения частоты проявлений значений ГТК за май – июль 1891–2022 гг., согласно принятой градации (рисунок 3).

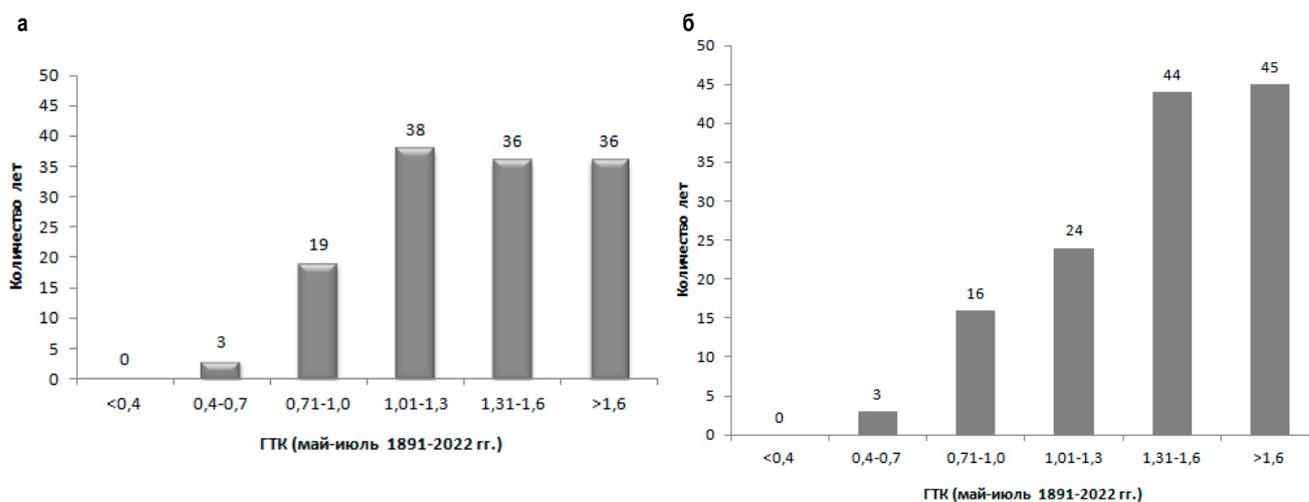


Рисунок 3 – Гистограммы распределения частоты проявлений значений ГТК за май – июль 1891–2022 гг. на территории Брестской (а) и Гомельской (б) областей

Весь исследуемый интервал составляет 132 года, из них подавляющее число лет на территории юга Беларуси характеризуется слабозасушливыми, оптимальными и влажными условиями в мае – июле, засушливыми условиями вегетационного периода в Брестской области характеризуются 19 лет (14,4%), в Гомельской области – 16 лет (12,1%) и только 3 года оказались очень засушливыми в мае – июле на исследуемой территории. При этом данное распределение касается только атмосферных выпадений и обусловленных ими засушливых явлений, ситуация по почвенному увлажнению территории и почвенным засухам будет отличаться от представленной выше.

На рисунке 4 представлено сравнительное распределение частоты проявления значений ГТК мая – июля на территории Брестской и Гомельской областей, согласно принятой градации, на временном интервале с 1891 по 1988 г. и в период потепления климата – с 1989 по 2022 г. Поскольку рассматриваются временные интервалы различной продолжительности, частота значений ГТК выражается относительными величинами (в %).

На территории Брестской области число лет с очень засушливыми и засушливыми условиями (значение ГТК в интервале [0,4; 1,0]) в мае – июле в период потепления климата составило 11,7% от общего количества лет в интервале, что ниже, чем в предшествующие годы (18,3%); засушливые явления отмечались в 1992, 1994, 2002 и 2006 гг. В Гомельской области количество лет с очень засушливыми и засушливыми условиями в мае – июле в период потепления составило 5,9%, что почти в 3 раза меньше, чем в рассмотренный период до потепления климата (17,4%); засушливые явления отмечались в 2000, 2002, 2007, 2015, 2017 и 2018 гг.

В юго-западной части территории Беларуси снизилось число лет со слабозасушливыми условиями вегетационного периода с 30,6 до 23,5%, в юго-восточной части – увеличилось с 25,5 до 35,3%. Повсеместно увеличилась частота проявления лет с оптимальными условиями увлажнения территории в мае – июле. В период потепления в Гомельской области снизилось количество лет, характеризующихся влажными условиями вегетационного периода.

Дополнительно рассмотрена ситуация с тепло- и влагообеспеченностью территорий отдельных метеостанций Белорусского Полесья в мае–июле 1945–2022 гг. На территории Западного Полесья нами выделены территории, примыкающие к метеостанциям Брест и Пинск, в Восточном Полесье – Брагин и Гомель. Выбор данного временного интервала и метеостанций обусловлен полнотой обеспечения статистическими данными, характеризующими тепло- и влагообеспеченность территории.

На рисунке 5 приведена динамика значений ГТК за май – июль 1945–2022 гг. по данным указанных выше метеостанций. В Бресте и Пинске среднее значение ГТК вегетационного периода равно 1,4, что соответствует оптимальному увлажнению территории, трендовая составляющая по метеостанции Брест является практически const, в Пинске отмечается незначительная тенденция к росту. Однако в период после 1989 г. данная тенденция в Западном Полесье нарушается: на территории, прилегающей к метеостанции Брест, отмечается восходящий линейный тренд значений ГТК мая – июля, в Пинске – нисходящий тренд.

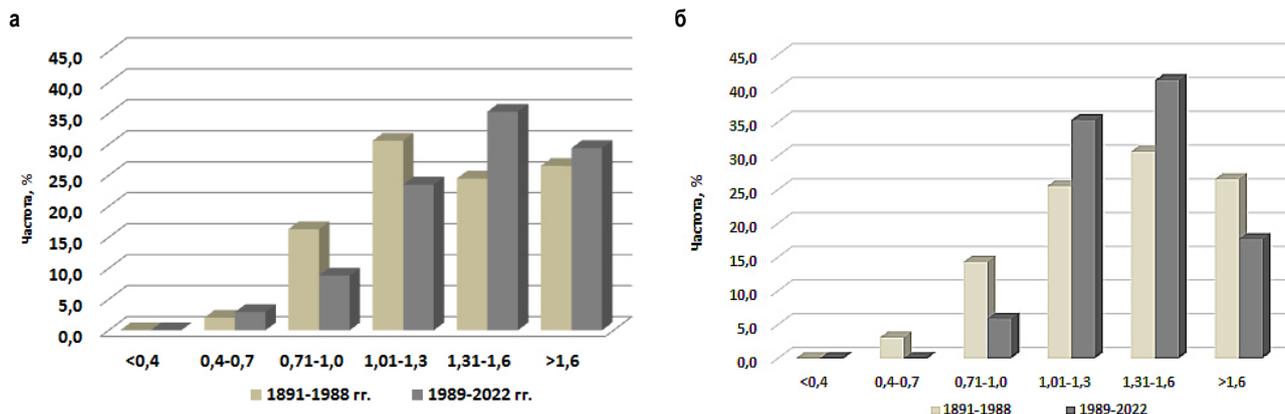


Рисунок 4 – Распределение частоты проявления значений ГТК мая – июля в периоды 1891–1988 гг. и 1989–2022 гг. на территории Брестской (а) и Гомельской (б) областей

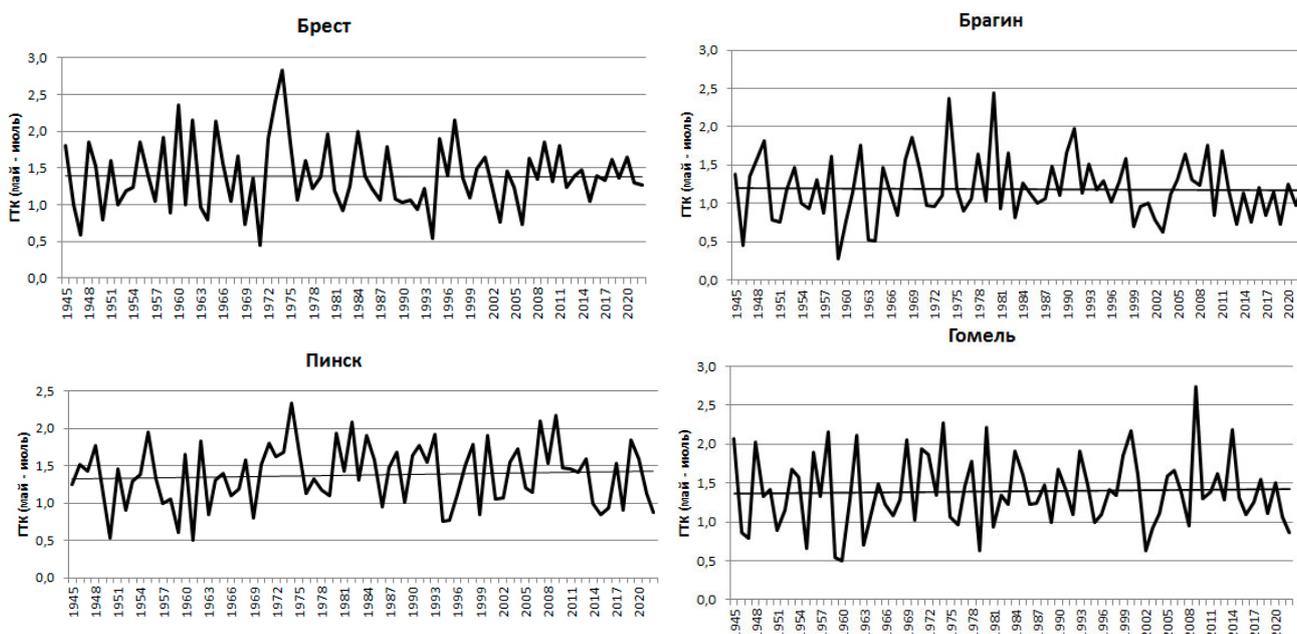


Рисунок 5 – Динамика значений ГТК за май – июль 1945–2022 гг. по данным отдельных метеостанций Белорусского Полесья

В Восточном Полесье по данным метеостанции Гомель среднее значение ГТК вегетационного периода равно 1,4, что соответствует оптимальным условиям увлажнения территории; в Брагине среднее значение показателя равно 1,2, что свидетельствует о слабозасушливых условиях территории. Следует отметить, что Брагин отличается минимальным на территории Беларуси многолетним количеством выпавших осадков.

По степени увлажнения почти вся территория страны относится к зоне недостаточного увлажнения, только южная и юго-восточная части относятся к зоне неустойчивого увлажнения [6].

На графиках отражена короткопериодная изменчивость температурно-влажностного режима территории рассмотренных метеостанций, что обусловлено, как указывалось выше, неустойчивым выпадением осадков. Значения ГТК сильно варьируют по величине, достигая в отдельные годы экстремумов от 0,3 до 2,7. После 2009 г. прослеживается ярко выраженный нисходящий тренд значений ГТК за май – июль.

Сравнение значений ГТК за май – июль периода потепления (после 1989 г.) и предшествовавшего более прохладного периода с 1945 по 1988 г. позволило установить, что частота проявления лет с засушливыми условиями вегетационного периода, когда значение ГТК находится в интервале [0,71; 1,0], в Бресте и Брагине снизилась, в Гомеле и Пинске повысилась. Аналогично сложилась неоднозначная ситуация по оптимальным условиям увлажнения территории: в Бресте, Пинске и Гомеле этот показатель в период потепления повысился по отношению к предшествующему периоду, а в Брагине – снизился.

Учитывая, что динамика роста температуры воздуха в различные месяцы интервала с мая по июль сопровождается как ростом, так и снижением суммарного количества выпавших атмосферных осадков, результаты исследований тепло- и влагообеспеченности территории в отдельные месяцы будут отличаться от представленных выше комплексных показателей за май – июль. Представленные результаты касаются только атмосферных выпадений и обусловленных ими засушливых явлений, ситуация по почвенному увлажнению территории и почвенным засухам будет иной.

Заключение

Анализ значений ГТК мая – июля на исследованном временном интервале с 1891 по 2022 г. по метеорологическим данным Брестской и Гомельской областей, а также в 1945–2022 гг. по данным отдельных метеостанций (Брест, Брагин, Гомель, Пинск) показал их сильную вариацию (от 0,3 до 2,7). Изменчивость температурно-влажностного режима территории южной части Беларуси в мае – июле обусловлена в основном неустойчивым выпадением атмосферных осадков. В последние три десятилетия выявлено снижение значений ГТК мая – июля на исследованной территории, по отдельным рассмотренным метеостанциям после 2009 г. наблюдается значительная отрицательная направленность тренда.

Таким образом, наблюдаемое повышение среднегодовой температуры воздуха сопровождается изменением режима осадков. Установлена неравномерность увлажнения территории, высокая степень стохастичности временных рядов атмосферных осадков, что связано с событийным характером их выпадения, дискретностью процесса в отличие от температурных рядов, описывающих непрерывный процесс состояния воздушной среды.

Полученные результаты об изменчивости температурно-влажностного режима территории могут быть использованы при решении комплексных задач устойчивого и эффективного использования агроресурсного потенциала пахотных земель юга Беларуси в условиях изменения климата.

Список цитированных источников

1. Правительством определен перечень районов, относящихся к неблагоприятным для производства сельхозпродукции [Электронный ресурс] // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/novosti/novosti-pravo-by/2019/november/43102>. – Дата доступа: 26.02.2024.
2. Селянинов, Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата / Г. Т. Селянинов // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. – 1928. – Вып. 20. – С. 169–178.
3. Агроклиматическое зонирование территории Беларуси с учетом изменения климата в рамках разработки национальной стратегии адаптации сельского хозяйства к изменению климата в Республике Беларусь [Электронный ресурс] / В. Мельник [и др.]. – Минск-Женева, 2017. – Режим доступа: <https://www.minpriroda.gov.by/uploads/files/Agroklimaticheskoe-zonirovanie-Respubliki-Belarus.pdf>. – Дата доступа: 19.05.2023.
4. Многолетние ряды средних областных комплексных метеорологических параметров для основных сельскохозяйственных районов СССР (1891–1980 гг.): справочное пособие / под ред. А. В. Мещерской, В. Г. Блажевич. – Ленинград, 1985. – 324 с.
5. Бровка, Ю. А. Изменение гидротермического коэффициента на территории Беларуси и повторяемости экстремальных условий увлажнения в период потепления климата / Ю. А. Бровка, И. В. Буяков // Природопользование. – 2020. – № 2. – С. 5–18.
6. Логинов, В. Ф. Современные изменения климата / В. Ф. Логинов; Ин-т природопользования НАН Беларуси. – СПб.: ООО «Издательство «ЛЕМА»», 2024. – 267 с.

References

1. Pravitel'stvom opredelen perechen' rajonov, odnosyashchihsia k neblagopriyatnym dlya proizvodstva sel'hozprodukcii [Elektronnyj resurs] // Nacional'nyj pravovoj Internet-portal Respubliki Belarus'. – Rezhim dostupa: <https://pravo.by/novosti/novosti-pravo-by/2019/november/43102>. – Data dostupa: 26.02.2024.
2. Selyaninov, G. T. O sel'skohozyajstvennoj ocenke klimata / G. T. Selyaninov // Trudy po sel'skohozyajstvennoj meteorologii. – 1928. – Vyp. 20. – S. 169–178.
3. Agroklimaticheskoe zonirovanie territorii Belarusi s uchetom izmeneniya klimata v ramkah razrabotki nacional'noj strategii adaptacii sel'skogo hozyajstva k izmeneniyu klimata v Respublike Belarus' [Elektronnyj resurs] / V. Mel'nik [i dr.]. – Minsk-Zheneva, 2017. – Rezhim dostupa: <https://www.minpriroda.gov.by/uploads/files/Agroklimaticheskoe-zonirovanie-Respubliki-Belarus.pdf>. – Data dostupa: 19.05.2023.
4. Mnogoletnie ryady srednih oblastnyh kompleksnyh meteorologicheskikh parametrov dlya osnovnyh sel'skohozyajstvennyh rajonov SSSR (1891–1980 gg.) : spravocnoe posobie / pod red. A. V. Meshcherskoj, V. G. Blazhevich. – Leningrad, 1985. – 324 s.
5. Brovka, YU. A. Izmenenie gidrotermicheskogo koefficienta na territorii Belarusi i povtoryaemosti ekstremal'nyh uslovij uvlazhneniya v period potepleniya klimata / YU. A. Brovka, I. V. Buyakov // Prirodopol'zovanie. – 2020. – № 2. – С. 5–18.
6. Loginov, V. F. Sovremennye izmeneniya klimata / V. F. Loginov; In-t prirodopol'zovaniya NAN Belarusi. – SPb.: ООО «Izdatel'stvo «LEMA»», 2024. – 267 s.

Материал поступил 01.06.2024, одобрен 13.06.2024, принят к публикации 13.06.2024

УДК 556.3/+502.51(476)

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ СТОКА РЕК БЕЛАРУСИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

А. А. Волчек

Д. г. н., профессор, профессор кафедры «Природообустройства», УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: Volchak@tut.by

Реферат

Статья посвящена количественной оценке водных поверхностных водных ресурсов Беларуси. Дана количественная оценка поверхностных вод их пространственно-временным колебаниям в прошлом, настоящем и будущем. Приведены основные гидрологические характеристики по главным рекам Беларуси: Западная Двина, Западный Буг, Неман, Днепр и Припять с учётом различных сценариев изменения климата. Рассмотрены возможные последствия изменения речного стока в связи с изменением климата и антропогенными воздействиями и обозначены первоочередные задачи исследований по решению водных проблем страны.

Ключевые слова: водные ресурсы, пространственно-временные колебания, Беларусь, изменение климата, антропогенные воздействия, прогнозные оценки.

SPATIO-TEMPORAL FLUCTUATIONS OF RIVERS FLOW IN BELARUS IN MODERN CONDITIONS

A. A. Volchak

Abstract

The article is devoted to a quantitative assessment of surface water resources in Belarus. A quantitative assessment of surface water and its spatiotemporal fluctuations in the past, present and future is given. The main hydrological characteristics of the main rivers of Belarus are given: Western Dvina, Western Bug, Neman, Dnieper and Pripyat, taking into account various climate change scenarios. The possible consequences of changes in river flow due to climate change and anthropogenic impacts are considered and the priority tasks of research to solve the country's water problems are outlined.

Keywords: water resources, spatiotemporal fluctuations, Belarus, climate change, anthropogenic impacts, forecast estimates.

Введение

Беларусь расположена в центре Европы в бассейнах рек Верхнего Днепра, Западной Двины, Немана, Нарева и занимает территорию площадью 207,6 тыс. км². Наибольшая протяженность с севера на юг 560 км, с запада на восток 650 км. Территория Беларуси является частью Русской равнины и представляет собой чередование обширных холмистых возвышенностей с плоскими равнинами или слабо выгнутыми низинами со средней высотой 159 м над уровнем моря. Территория Беларуси является водораздельной для бассейнов Балтийского и Черного морей. Всего насчитывается 20,8 тыс. рек общей протяженностью 90,6 тыс. км и 10,8 тыс. озер, кроме того, создано 153 водохранилища различного назначения. Реки принадлежат к равнинному типу с преобладанием элементов снегового питания [1].

Целью работы является количественная оценка водных ресурсов Беларуси в современных климатических условиях, а также прогнозные оценки поверхностного стока при различных сценариях развития климата.

Методы исследования и исходные материалы

Методологической основой исследований явились научные положения о стохастической природе речного стока, что позволило применить современные статистические методы анализа временных рядов. Использованы методы водного и теплотенергетического баланса подстилающей поверхности, математического моделирования. Системный анализ накопленной информации и сравнительно-географический метод позволили синтезировать закономерности пространственно-временных колебаний стока рек Беларуси.

Исходными данными послужили материалы наблюдений республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь за стоком рек по 122 створам для характерных расходов: среднегодовые, максимальные весеннего половодья, минимальные летне-осенние и минимальные зимние за период с 1953 по 2020 гг. Как показали наши исследования, количество гидрологических постов, использованных в настоящем исследовании, достаточно для получения результатов с требуемой для решаемых задач точностью [2]. Кроме того, по пяти рекам (Припять в створе г. Мозыря,

Неман в створе г. Гродно, Западная Двина в створе г. Витебска, Березина в створе г. Бобруйска, Днепр в створах г. Орши и г. Речицы) анализировались гидрологические ряды за период с 1877 по 2020 гг., т. е. 144 года. На предварительном этапе проведен статистический анализ, восстановлены пропущенные данные с помощью программного комплекса «Гидролог-2» [3]. Для исследования влияния современного потепления климата выполнен сравнительный анализ двух интервалов: 1877–1986 гг. до начала потепления и 1987–2020 гг. собственно период потепления. Кроме того, отдельно анализировались ряды наблюдений за последние 50 лет (1971–2020 гг.), т. е. расчетный период, рекомендуемый для определения статистических характеристик и построения математических моделей прогнозирования стока рек Беларуси.

Полученные результаты и их обсуждение

Количественная оценка стока рек Беларуси проведена с использованием данных гидрометрических измерений за период с 1956 по 2005 гг. по бассейнам основных рек (таблица 1) [4, 5].

В связи с тем, что в современных условиях, под воздействием естественных и антропогенных факторов, происходят изменения речного стока, полученные результаты за 50-летний период сопоставлялись с данными за период с начала инструментальных наблюдений по 1996 г. Как видно из таблицы 1, суммарные поверхностные ресурсы Беларуси практически не изменились. В то же время произошло перераспределение естественных водных ресурсов по бассейнам основных рек. Наряду с увеличением стока Припяти и незначительным ростом водности Западной Двины отмечено уменьшение поверхностных вод остальных речных систем страны за последние годы. Отмечен рост ресурсов поверхностных вод Брестской и Гомельской областей, а для Гродненской области характерно уменьшение водных ресурсов ввиду снижения водности Немана и Вилии.

В процессе оценки водных ресурсов территории наиболее значима роль карт распределения модуля среднесезонного годового стока. Наглядное представление о пространственной структуре стока рек Беларуси можно получить из карты модулей среднесезонного годового стока рек Беларуси осредненный за период с 1953 по 2020 гг., т. е. за последние 65 лет (рисунок 1) [6].

Таблица 1 – Естественные ресурсы речных вод Беларуси по бассейнам основных рек в 1956–2005 гг. (числитель) и изменение стока по отношению к периоду до 1996 г. в км³ (знаменатель)

Речной бассейн	Речной сток, км ³ /год									
	местный					общий				
	Обеспеченность, %					Обеспеченность, %				
	5	25	50	75	95	5	25	50	75	95
Западная Двина	<u>10,6</u> 0,1	<u>7,8</u> 0,1	<u>6,9</u> 0,1	<u>5,5</u> 0,0	<u>4,4</u> 0,1	<u>22,3</u> 0,4	<u>16,4</u> 0,2	<u>14,1</u> 0,2	<u>11,6</u> 0,3	<u>9,0</u> 0,4
Неман	<u>8,0</u> -0,5	<u>6,7</u> -0,4	<u>6,2</u> -0,4	<u>5,4</u> -0,5	<u>4,9</u> -0,3	<u>8,1</u> -0,5	<u>6,8</u> -0,4	<u>6,3</u> -0,4	<u>5,5</u> -0,5	<u>5,0</u> -0,3
Вилия	<u>2,9</u> -0,3	<u>2,4</u> -0,3	<u>2,1</u> -0,2	<u>1,8</u> -0,2	<u>1,4</u> -0,4	<u>2,9</u> -0,3	<u>2,4</u> -0,3	<u>2,1</u> -0,2	<u>1,8</u> -0,2	<u>1,4</u> -0,4
Западный Буг	<u>2,8</u> -0,2	<u>1,6</u> -0,2	<u>1,3</u> -0,1	<u>0,9</u> -0,2	<u>0,7</u> -0,1	<u>2,8</u> -0,2	<u>1,6</u> -0,2	<u>1,3</u> -0,1	<u>0,9</u> -0,2	<u>0,7</u> -0,1
Припять	<u>11,2</u> 1,3	<u>7,6</u> 1,1	<u>6,6</u> 1,0	<u>5,0</u> 0,6	<u>3,5</u> 0,4	<u>23,9</u> 1,7	<u>16,8</u> 1,5	<u>14,4</u> 1,4	<u>11,0</u> 0,9	<u>8,3</u> 1,3
Днепр	<u>16,3</u> -0,1	<u>11,8</u> 0,1	<u>11,0</u> -0,3	<u>9,5</u> 0,1	<u>7,8</u> 0,2	<u>28,2</u> 0,0	<u>20,3</u> 0,1	<u>18,7</u> -0,2	<u>15,6</u> -0,1	<u>13,1</u> 0,3
в т. ч.:										
Березина	<u>6,3</u> 0,1	<u>5,0</u> 0,1	<u>4,5</u> 0,0	<u>4,0</u> 0,1	<u>3,4</u> 0,1	<u>6,3</u> 0,1	<u>5,0</u> 0,1	<u>4,5</u> 0,0	<u>4,0</u> 0,1	<u>3,4</u> 0,1
Сож	<u>4,9</u> -0,1	<u>3,4</u> -0,1	<u>3,0</u> 0,0	<u>2,4</u> -0,1	<u>1,8</u> -0,2	<u>10,6</u> 0,0	<u>7,6</u> 0,1	<u>6,6</u> 0,2	<u>5,4</u> 0,2	<u>4,4</u> 0,1
В целом по Беларуси	<u>51,8</u> 0,3	<u>37,9</u> 0,4	<u>34,1</u> 0,1	<u>28,1</u> -0,2	<u>22,7</u> -0,1	<u>88,2</u> 1,1	<u>64,3</u> 0,9	<u>56,9</u> 0,7	<u>46,4</u> 0,2	<u>37,5</u> 1,2

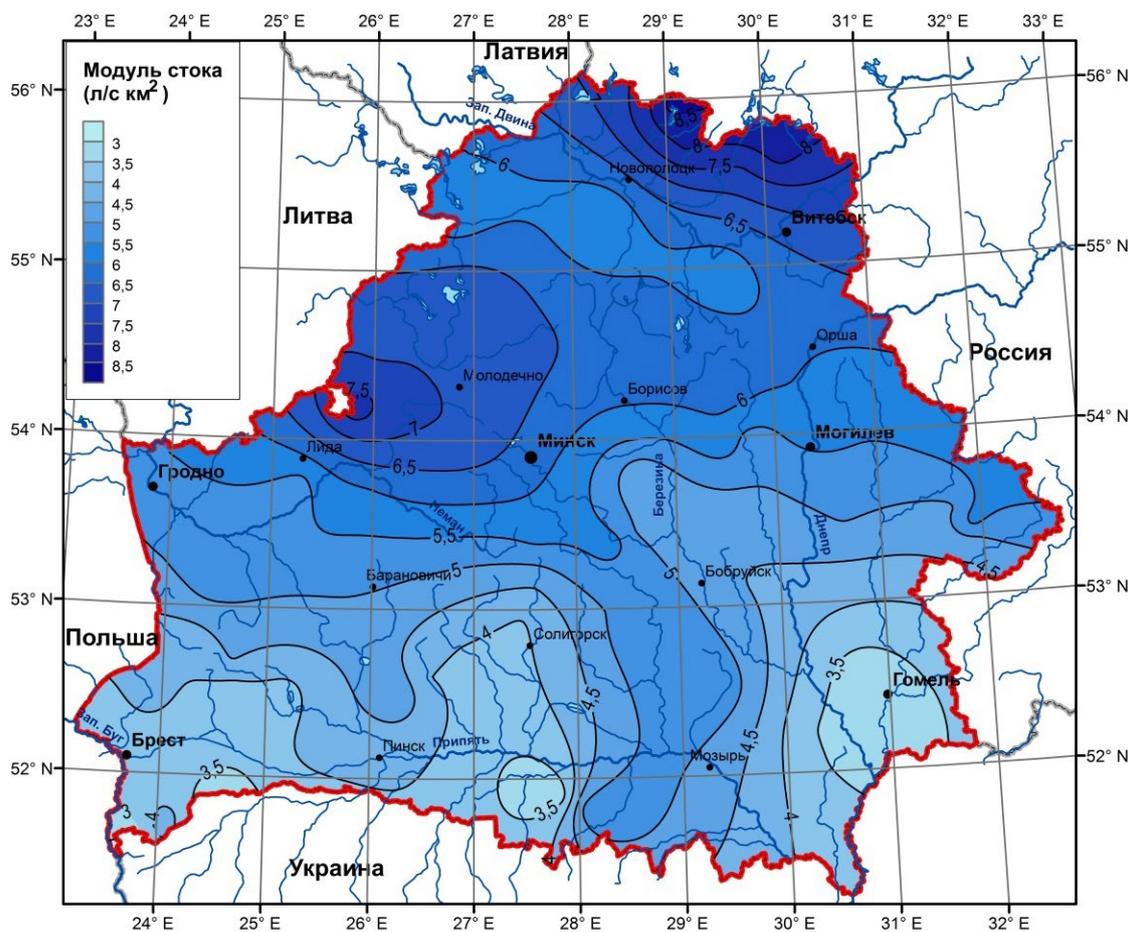


Рисунок 1 – Карта модулей среднемноголетнего годового стока рек Беларуси, л/с с км²

Это позволило учесть усилившиеся в последние десятилетия процессы глобального потепления климата и антропогенных воздействий, которые, несомненно, наложили свой отпечаток на формирование стока рек. В распределении годового стока рек Беларуси наблюдается общее зональное понижение его в направлении с се-

вера на юг и юго-запад, что увязывается с распределением годовых осадков и запасов воды в снежном покрове. О характере колебаний речного стока можно судить по карте коэффициентов вариации, определенных за тот же период (рисунок 2) [6].

Карта поверхностного стока рек Беларуси приведена на рисунке 3.

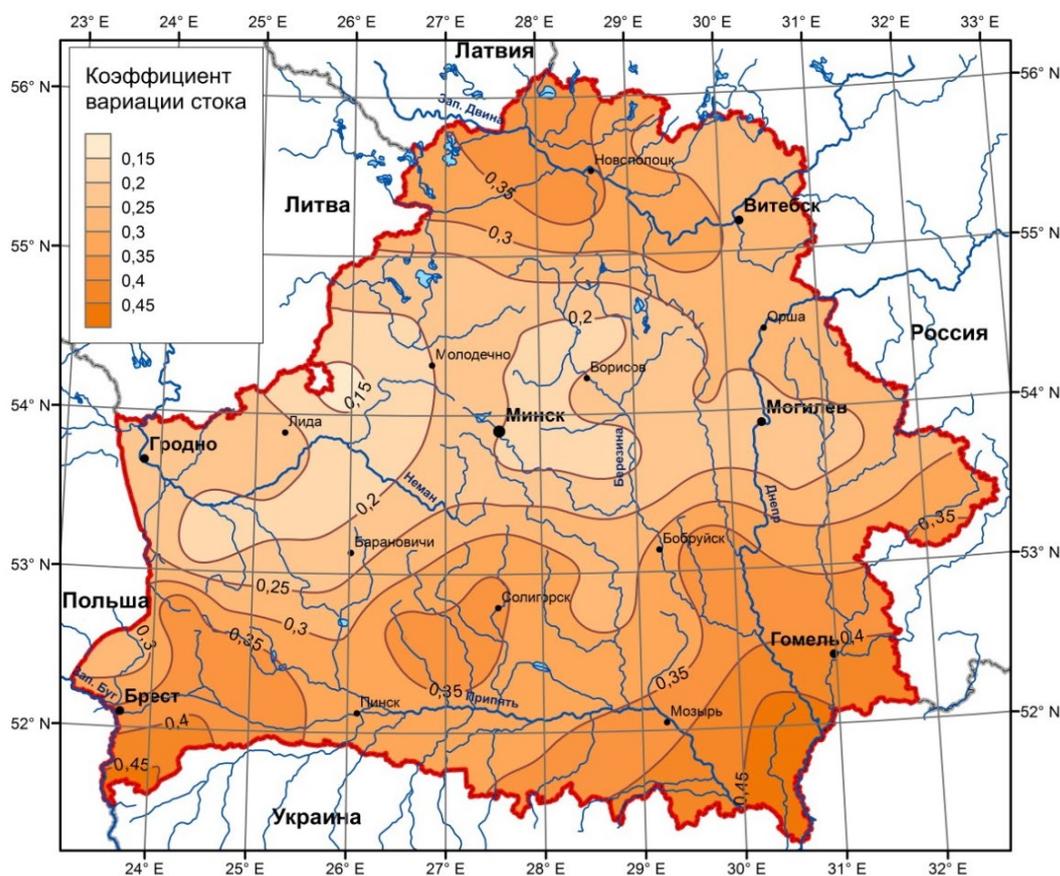


Рисунок 2 – Карта коэффициентов вариации среднемноголетнего годового стока рек Беларуси

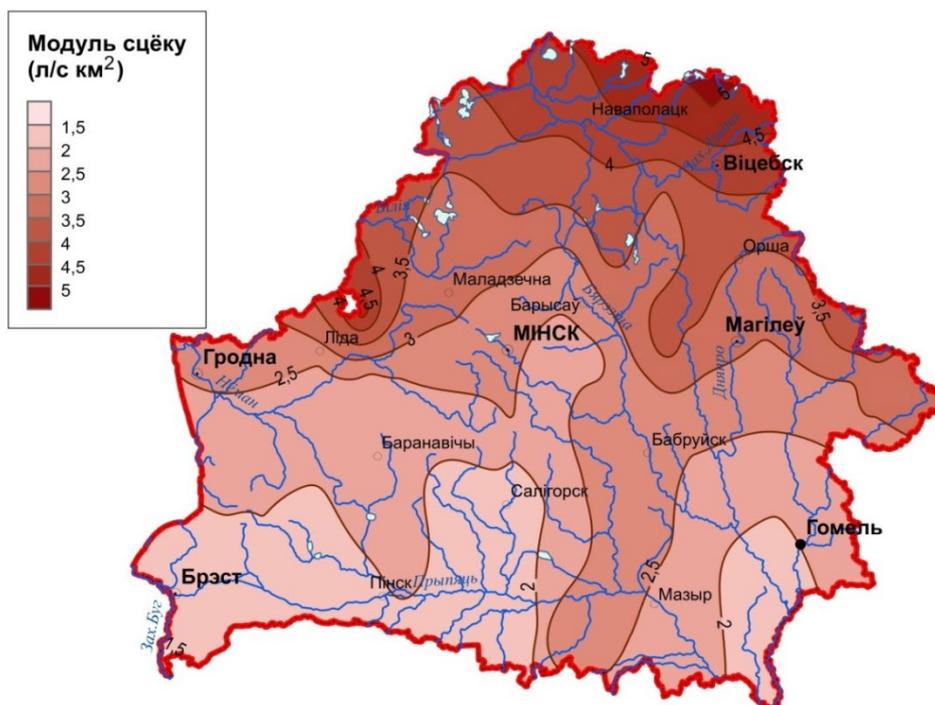


Рисунок 3 – Карта среднемноголетнего годового стока поверхностного стока рек Беларуси

Наводнения

По числу жертв и причиненному ущербу наводнения занимают первое место среди стихийных бедствий. Вместе с тем, как это ни парадоксально, до сего времени нет надежных долгосрочных прогнозов их появления, достоверных и общепринятых методик подсчета причиняемых ими ущербов и общепринятой концепции защиты.

За последние 100 лет на реках Беларуси наводнения, причинившие ощутимые ущербы имели место 10–12 раз. Наиболее часто, в среднем раз в 2–3 года, весенние наводнения бывают на Припяти в верхнем и среднем течении, Западной Двине и раз в 4–5 лет на Припяти в нижнем течении Березины [7]. Наиболее значительными из них явились наводнения в 1956, 1958, 1974, 1979, 1993 и 1999 гг. Одно из последних крупных половодий произошло в 1999 г., когда площадь подтопления составила 255 тыс. га. При этом необходимо отметить, что последствия водной стихии окончательно устраняются только через 3–4 года [7].

В таблице 2 представлены наиболее значительные наводнения на реках Беларуси, вызванные весенним половодьем за период инструментальных наблюдений.

Возникновению весенних наводнений содействуют многоснежные зимы без оттепелей, позднее и дружное таяние снега, значительное выпадение осадков в период снеготаяния. Наводнения такого типа наблюдались на Немане в 1958 году (самое существенное за последние 150 лет), на Припяти в 1977 и 1979 годах, в верховьях Днепра и Западной Двины в 1908 и 1931 годах. Летне-осенние наводнения вызываются интенсивными осадками. Огромные осенние наводнения отмечены в 1948, 1950, 1958, 1960, 1974 годах; наибольшее за последние 120 лет осеннее наводнение в 1974 обхватило бассейны Западного Буга и Припяти; количество осадков при этом в отдельных пунктах за октябрь было в 3–6 раз больше обычного. Зимние наводнения чаще всего отмечаются в

бассейне Припяти, и также бывают в бассейнах Немана и Западного Буга при мощных оттепелях.

Самый высокий подъем за период наблюдений на реках бассейна Западной Двины и Днепра наблюдался в 1931 году и составил соответственно 8–10 и 6,5–8,5 м по течению рек. Вероятность появления такого уровня воды – один раз в 100 лет. В бассейне Немана с такой же вероятностью наибольший уровень отмечался в 1958-м, на Припяти в 1895, 1979, 1999 гг. В период весеннего половодья, которому предшествуют суровые зимы со значительной толщиной льда и «дружной» весной, могут быть заторы льда. Они сопровождаются резкими подъемами уровня воды. Например, на Западной Двине у г. п. Улла в 1951 г. подъем составил 6 м. На реках Западный Буг и Мухавец затор льда в 1979 году стал причиной формирования высокого уровня воды, в результате которого происходил ее выход на пойму и затопление прилегающих территорий.

Наибольший ущерб народному хозяйству наносят высокие уровни в период весеннего половодья в бассейне р. Припять. Это связано с равнинным низинным рельефом местности, а также малой вредностью рек и, как следствие, малыми уклонами, что определяет малую пропускную способность русел рек. Как показывает анализ данных о наводнениях 1845 и 1931 гг., возможно формирование в будущем и более катастрофических по физическим характеристикам паводков и половодий. Вероятность появления расхода воды, превосходящего наводнения 1845 г., в ближайшие 100 лет – 38 %, а в ближайшие 10 лет – 5,8 %. Такая ситуация возможна при усилении антропогенной нагрузки на территорию водосбора, выражающейся в существенном изменении условий формирования стока.

В таблице 3 приведены расходы воды десяти наибольших наводнений в период весеннего половодья на р. Припять в створе г. Мозыря и их обеспеченности [7].

Таблица 2 – Годы с наводнениями на реках Беларуси в период весенних половодий

Река-пост	Характеристика наводнения		
	катастрофическое $P < 1\%$	Выдающееся $P = 1-2\%$	Большое $P = 3-10\%$
Западная Двина – г. Витебск	1931	1878, 1929, 1956	1958, 1962
Неман – г. Гродно	1958	1931	
Днепр – г. Орша	1931	1908, 1956	1907, 1917, 1929, 1958
Днепр – г. Речица		1956, 1958	1907, 1915, 1916, 1917, 1928, 1947, 1970
Березина – г. Бобруйск		1931, 1956	1883, 1917, 1924, 1932, 1958
Припять – г. Мозырь	1845	1888, 1895, 1979	1886, 1889, 1907, 1924, 1931, 1932, 1934, 1940, 1956, 1958, 1966, 1970, 1999

Таблица 3 – Максимальные расходы воды весеннего половодья р. Припять – г. Мозырь

Годы	1845	1877	1895	1888	1889	1940	1979	1932	1970	1958
$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	11000	7500	5670	5100	4700	4520	4310	4220	4140	4010
$P, \%$	0,81	1,6	2,4	3,2	4,0	4,8	5,7	6,5	7,3	8,1

На рисунке 4 дана карта среднесезонных максимальных модулей стока весеннего половодья рек Беларуси, построенная с учетом современных климатических изменений.

Несмотря на то, что для территории Республики Беларусь проблема наводнений актуальна, практически до высокого летне-осеннего паводка 1974 г. в бассейне р. Припять, строгого учета ущерба от наводнений не проводилось.

Наводнения, как и некоторые другие виды чрезвычайных ситуаций природного характера, в определенной степени поддаются прогнозированию, что позволяет предотвратить массовые жертвы посреди населения и уменьшить вред.

Избежать катастрофических последствий наводнений можно при соблюдении трех условий: своевременный прогноз чрезвычайной ситуации, эффективные действия властей всех уровней по ее предотвращению, строгая персональная ответственность за несоблюдение первых двух условий [7]. К сожалению, все эти условия в ряде случаев не выполняются. Последнее значимое наводнение было в 1999 г., а, следовательно, за последние годы не было серьезной практической проверки служб, технических возможностей и навыков специалистов и властей всех уровней.

По мнению специалистов, профилактика наводнений, прогнозы, отселение людей, а главное – ремонт дамб и проведение противопаводковых мероприятий, в том числе и экстренных, позволяют предотвратить наводнения примерно в 70 % обычных паводков. При этом затраты на профилактику и ликвидацию последствий наводнений находятся в соотношении 1:30.

Маловодия

Для рек Беларуси характерно наличие в году двух периодов низкого стока – летне-осеннего и зимнего. Летне-осенняя межень обычно наступает в конце мая – середине июня, после окончания весеннего половодья. В отдельные годы при раннем окончании половодья она устанавливается в конце апреля – начале мая, в годы с затяжным весенним половодьем – в конце июня, а на больших реках даже середине июля при отсутствии осенних паводков летне-осенняя межень продолжается до появления ледяных образований. В среднем окончание летне-осенней межени отмечается в середине ноября – начале декабря. Наиболее ранние сроки окончания летне-осенней межени – третья декада октября, наиболее поздние – начало декабря.

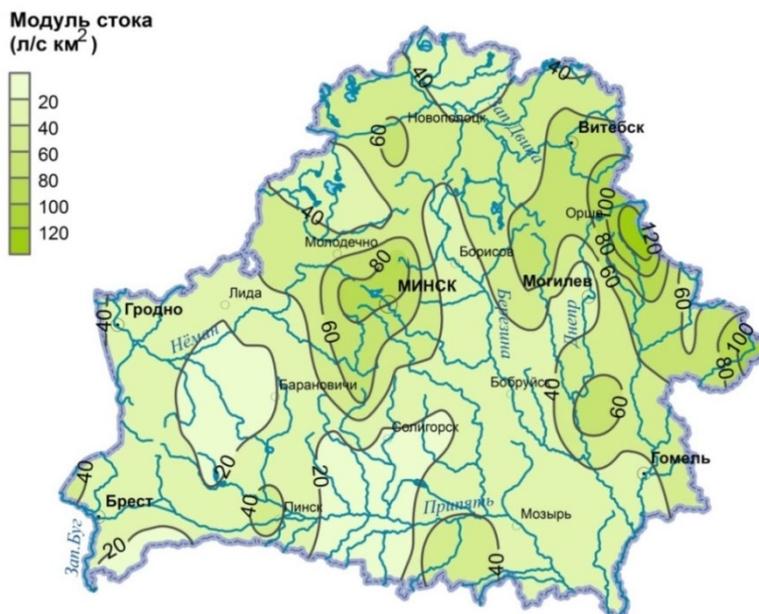


Рисунок 4 – Карта средних максимальных модулей стока весеннего половодья рек Беларуси

В переходный период от летне-осенней межени к зимней происходит нарушение связи уровней и расходов воды, что связано с появлением ледовых образований на реках.

Зимняя межень в среднем устанавливается в ноябре – середине декабря. В отдельные годы даты установления зимней межени сдвигаются на конец октября – начало ноября (раннее наступление) или январь (позднее наступление). Зимняя межень продолжается до начала весеннего половодья.

В летне-осенний период минимальный сток наблюдается, как правило, в конце лета, начале осени и в зимний период – в конце зимнего периода, когда истощаются подземные воды. Формирование минимальных расходов воды в зимний и летне-осенний период тесно связано с режимом подземного стока и его значение значительно колеблется. Наименьшее подземное питание рек наблюдается на юге территории в бассейне р. Днепр (ниже г. Рогачев), в бассейнах рек Припять и Западный Буг. Небольшое подземное питание наблюдается также на востоке и на крайнем северо-западе Беларуси (бассейн р. Западная Двина). Наибольшее подземное питание наблюдается на северо-западе и центральной части в пределах

Ошмянской, Новогрудской, Минской возвышенностей (бассейны рек Вилия, Неман).

В соответствии с изменением подземного стока распределяется и минимальный сток. Для годового стока изменение модуля стока зависит от широты – уменьшение с севера на юг, а для минимального стока такой закономерности не наблюдается, то есть для минимального стока уменьшается зависимость от климатических факторов и усиливается влияние физико-географических факторов. В первую очередь на величину минимального стока оказывает влияние дренирующая способность рек, которая зависит от геоморфологических и почвенных условий водосборов. На водосборах рек притоков Припяти грунтовые воды очень близко расположены к поверхности, но подземный сток невысокий из-за равнинного рельефа, малых уклонов и малоразвитых и врезанных на незначительную глубину русел рек. Поэтому здесь наблюдается самый низкий минимальный сток. На реках, отличающихся большими уклонами, повышенным эрозийным врезом (реки бассейна Вилии и Немана), характерно более значительное подземное питание, и поэтому минимальный сток здесь выше (рисунок 5).

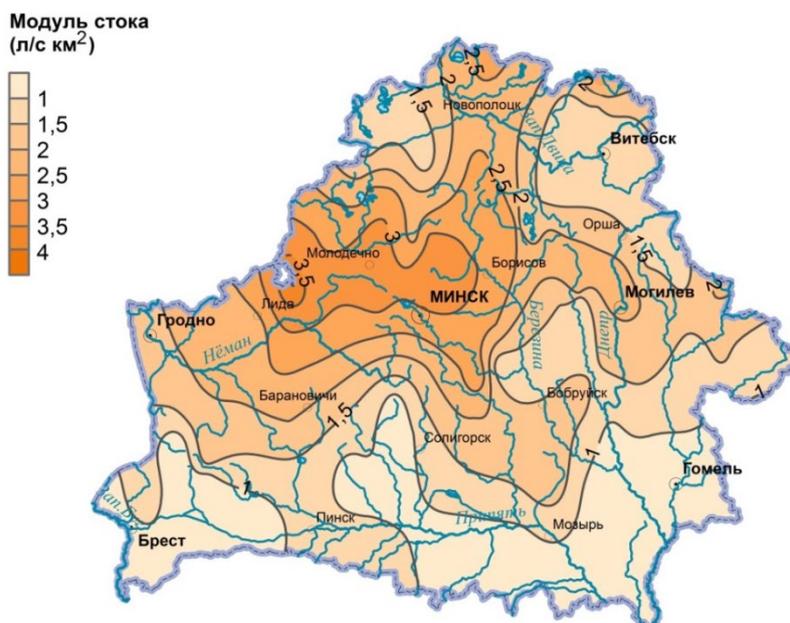


Рисунок 5 – Карта среднееголетнего минимального летне-осеннего стока рек Беларуси

Многолетний ход минимального стока на малых и средних реках, как правило, соответствует ходу на больших реках.

Минимальные значения наблюдаемых наименьших расходов воды летне-осеннего периода ниже средних многолетних в 1,6–3,5 раза, а по отдельным рекам – в 8 раз. В маловодные годы на малых реках может наблюдаться их пересыхание (р. Нача – д. Нача в 2002 г. – 20 дней).

В маловодные годы наблюдаемые наименьшие зимние расходы воды были ниже средних многолетних значений в 1,6–8,0 раза на реках бассейна Западной Двины, в 1,7–4,0 раза на реках бассейна

Немана и Западного Буга, в 2,0–3,5 раза на реках бассейна Днепра, в 2,8–3,1 раза на реках бассейна Сожа, в 3,1–6,5 раза на реках бассейна Припяти, а на отдельных притоках Припяти наблюдаемые наименьшие зимние расходы воды были ниже средних многолетних значений более, чем в 10 раз (р. Уборть – с. Краснобережье – в 14 раз в 1936 г.) (рисунок 6).

В пределах Полесья нулевой сток отмечен на 17 водотоках с площадями водосборов 11–1280 км². Средняя продолжительность одного случая нулевого стока может достигать летом 195 суток, зимой – 75–100 суток.

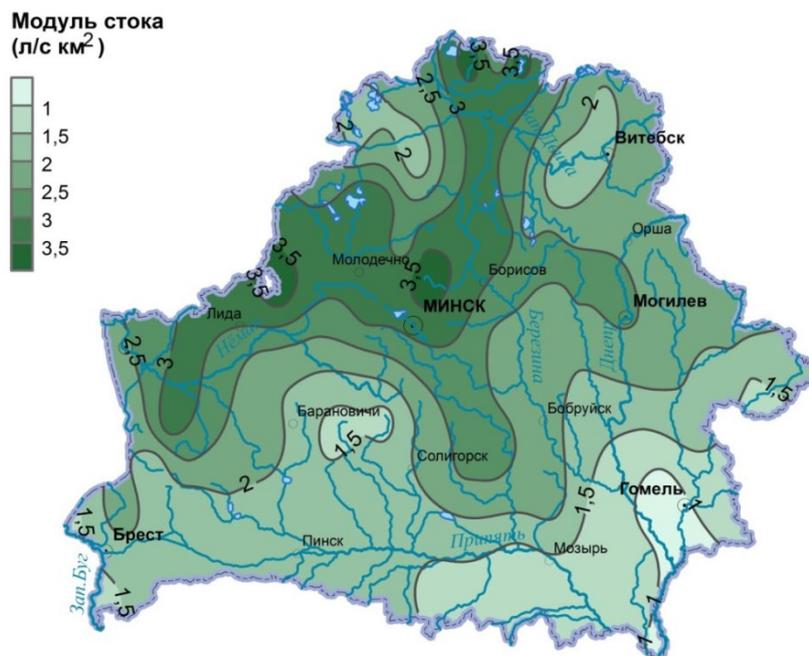


Рисунок 6 – Карта среднемноголетнего минимального зимнего стока рек Беларуси

Антропогенные воздействия на речной сток

Начиная с 50-х годов прошлого столетия развернулась дискуссия о влиянии мелиорации на речной сток. Основное воздействие на водный режим рек было оказано в период широкомасштабных гидротехнических мелиораций, особенно в Полесской низменности. При этом водные ресурсы Полесья сильнее других регионов подверглись антропогенным воздействиям. Было осушено 23 % территории, общая протяженность открытой мелиоративной сети превысила 65000 км, существенно преобразовалась гидрографическая сеть, особенно, если учесть спрямление и углубление самой Припяти и крупных ее притоков. Кроме того, обвалование отдельных участков Припяти и строительство полюдерных мелиоративных систем, которые исключают затопление обвалованных участков поймы, привело к тому, что грунтовые воды понизились на 1,0–1,5 м, вслед за ними снизились уровни воды в реках, в некоторых – вплоть до пересыхания. Все это выразилось в изменении гидрологического режима рек.

Оценка изменений речного стока Беларуси за период с 1877 по 2020 гг. показала, что в среднем по территории имеет место некоторая тенденция уменьшения среднегодового стока, хотя статистически и незначимая. Максимальные сток весеннего половодья статистически значимо уменьшается со скоростью – $0,051 \cdot Q_{\max}$, а минимальный летне-осенний и зимний сток растет со скоростью $0,010 Q_{\min.л.-о}$ и $0,047 Q_{\min.з.}$, соответственно (таблица 4) [9].

За период современного потепления тенденции изменения стока имеют такую же тенденцию, как период инструментальных наблюдений, за исключением минимального летне-осеннего стока. За последние 50 лет сохраняется аналогичная тенденция изменения стока. Статистически значимо уменьшение максимального стока весеннего половодья и рост минимального зимнего стока.

Детальная оценка изменения стока основных рек Беларуси за рассматриваемые периоды представлена в таблице 5 и на рисунке 7 [9].

Таблица 4 – Значение линейных трендов стока рек Беларуси

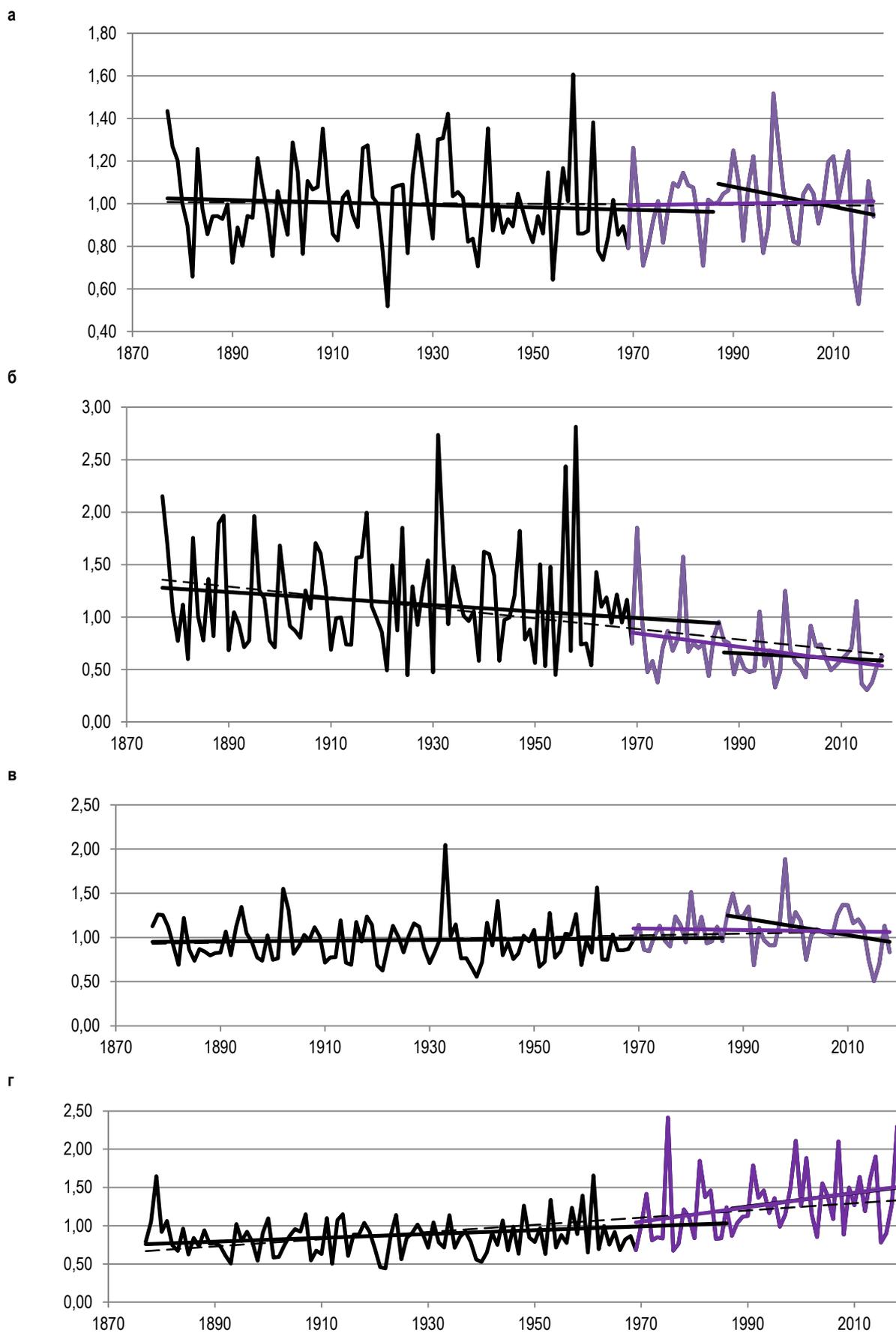
Период	1877–2018 гг. (142 года)	1877–1986 гг. (110 лет)	1987–2018 гг. (32 года)	1969–2018 гг. (50 лет)
Вид стока	<i>Средний годовой</i>			
$\alpha_{10 \text{ лет}} / r$	$-0,001 Q_{\text{ср.год}} / -0,03$	$-0,006 Q_{\text{ср.год}} / -0,10$	$-0,047 Q_{\text{ср.год}} / -0,22$	$0,004 Q_{\text{ср.год}} / 0,03$
Вид стока	<i>Максимальный весеннего половодья</i>			
$\alpha_{10 \text{ лет}} / r$	$-0,051 Q_{\max} / -0,42$	$-0,031 Q_{\max} / -0,20$	$-0,025 Q_{\max} / -0,10$	$-0,065 Q_{\max} / -0,32$
Вид стока	<i>Минимальный летне-осенний</i>			
$\alpha_{10 \text{ лет}} / r$	$0,010 Q_{\min.л.-о} / 0,17$	$0,004 Q_{\min.л.-о} / 0,05$	$-0,096 Q_{\min.л.-о} / -0,34$	$-0,008 Q_{\min.л.-о} / -0,05$
Вид стока	<i>Минимальный зимний</i>			
$\alpha_{10 \text{ лет}} / r$	$0,047 Q_{\min.з.} / 0,52$	$0,025 Q_{\min.з.} / 0,27$	$0,088 Q_{\min.з.} / 0,21$	$0,095 Q_{\min.з.} / 0,32$

Примечание – Выделены статистически значимые величины.

Таблица 5 – Статистические характеристики гидрологических параметров рек Беларуси

Параметры	Припять-Мозырь	Неман-Гродно	Зап. Двина-Витебск	Березина-Бобруйск	Днепр-Орша	Днепр-Речица	Припять-Мозырь	Неман-Гродно	Зап. Двина-Витебск	Березина-Бобруйск	Днепр-Орша	Днепр-Речица
Вид стока	<i>Средний годовой</i>											
Период	1877–2020 гг. (144 года)						1877–1986 гг. (110 лет)					
Q _{ср} , м ³ /с	394	195	226	119	127	364	387	198	221	119	125	365
C _v	0,31	0,18	0,27	0,19	0,26	0,21	0,31	0,18	0,27	0,19	0,26	0,22
α10 лет	3,27	-0,79	-0,06	-0,02	-0,34	-3,08	2,20	0,41	0,08	-2,76	-1,97	-5,55
r	0,11	-0,09	-0,01	0,00	-0,04	-0,16	0,06	0,04	0,01	-0,15	-0,20	-0,22
% от Q _{ср}	0,83	-0,41	-0,03	-0,02	-0,27	-0,85	0,57	0,21	0,04	-2,32	-1,58	-1,52
Период	1987–2020 гг. (34 года)						1971–2020 гг. (50 лет)					
Q _{ср} , м ³ /с	418	184	242	118	134	360	432	188	228	117	126	348
C _v	0,29	0,16	0,27	0,19	0,26	0,20	0,29	0,16	0,27	0,17	0,25	0,19
α10 лет	-6,42	-0,16	-3,66	-29,3	-9,40	-10,5	-15,75	-2,59	-0,33	5,75	4,33	7,27
r	-0,05	0,00	-0,15	-0,42	-0,26	-0,14	-0,18	-0,13	-0,02	0,14	0,20	0,16
% от Q _{ср}	-1,54	-0,09	-1,51	-24,8	-7,02	-2,92	-3,65	-1,37	-0,14	4,91	3,44	2,09
	<i>Максимальный весеннего половодья</i>											
Период	1877–2020 гг. (144года)						1877–1986 гг. (110 лет)					
Q _{ср} , м ³ /с	1599	798	1517	594	793	1730	1760	887	1608	679	875	1969
C _v	0,72	0,57	0,36	0,71	0,44	0,59	0,70	0,54	0,33	0,64	0,40	0,52
α10 лет	-75,2	-39,0	-35,8	-44,4	-40,3	-106,1	-51,9	-19,8	-16,4	-28,2	-28,2	-81,3
r	-0,27	-0,35	-0,35	-0,34	-0,47	-0,47	-0,13	-0,13	-0,12	-0,17	-0,26	-0,25
% от Q _{ср}	-4,70	-4,89	-2,36	-7,48	-5,08	-6,13	-2,95	-4,40	-1,02	-4,15	-3,22	-4,13
Период	1987–2020 гг. (34 года)						1971–2020 гг. (50 лет)					
Q _{ср} , м ³ /с	1047	492	1203	300	510	911	1266	549	1229	356	536	1024
C _v	0,58	0,40	0,37	0,51	0,38	0,41	0,68	0,53	0,34	0,59	0,34	0,49
α10 лет	106,2	-57,7	-15,3	-110,3	-24,3	-33,7	-169,7	-60,1	-49,5	-47,2	-26,8	-102,3
r	0,20	-0,27	-0,09	-0,23	-0,12	-0,08	-0,29	-0,30	-0,34	-0,16	-0,21	-0,30
% от Q _{ср}	10,1	-11,7	-1,27	-36,8	-4,77	-3,7	-13,4	-10,9	-4,03	-13,3	-5,00	-9,99
	<i>Минимальный летне-осенний</i>											
Период	1877–2020 гг. (144 года)						1877–1986 гг. (110 лет)					
Q _{ср} , м ³ /с	155	89,5	52,2	55,6	34,0	154	149	90,2	51,4	54,8	31,2	149
C _v	0,47	0,19	0,41	0,22	0,36	0,24	0,48	0,18	0,42	0,22	0,34	0,22
α10 лет	2,70	0,26	0,19	-0,18	1,08	1,40	2,34	1,19	-0,12	-0,76	0,44	-0,14
r	0,15	0,06	0,06	-0,03	0,36	0,16	0,10	0,23	-0,03	-0,11	0,13	-0,01
% от Q _{ср}	1,75	0,29	0,36	-0,32	3,18	0,91	1,57	1,32	-0,23	-1,39	1,41	-0,09
Период	1987–2020 гг. (34 года)						1971–2050 гг. (50 лет)					
Q _{ср} , м ³ /с	174	86,8	55,0	58,7	43,5	171	183	90,4	51,5	58,7	40,0	164
C _v	0,41	0,21	0,37	0,22	0,30	0,26	0,39	0,20	0,34	0,21	0,29	0,23
α10 лет	-21,3	-3,90	-3,60	-8,11	-2,92	-14,0	-13,9	-3,49	-0,93	0,90	2,26	1,81
r	-0,28	-0,20	-0,26	-0,37	-0,21	-0,30	-0,28	-0,29	-0,11	0,07	0,28	0,07
% от Q _{ср}	-12,2	-4,49	-6,54	-13,8	-6,71	-8,21	-7,58	-3,86	-1,81	1,53	5,66	1,10
	<i>Минимальный зимний</i>											
Период	1877–2020 гг. (144 года)						1877–1986 гг. (110 лет)					
Q _{ср} , м ³ /с	155	71,5	53,2	51,5	29,6	129	136	69,8	47,8	48,4	24,7	109
C _v	0,68	0,30	0,48	0,28	0,52	0,48	0,75	0,29	0,43	0,26	0,42	0,42
α10 лет	10,6	0,47	1,41	-0,18	2,19	9,31	8,54	-0,52	0,79	-0,76	1,27	5,70
r	0,41	0,09	0,40	-0,03	0,58	0,62	0,27	-0,08	0,20	-0,11	0,39	0,40
% от Q _{ср}	6,82	0,66	2,65	-0,35	7,40	7,23	6,27	-0,75	1,65	-1,57	5,14	5,24
Период	1987–2020 гг. (34 года)						1971–2020 гг. (50 лет)					
Q _{ср} , м ³ /с	221	77,5	72,0	62,0	46,4	198	225	72,8	64,2	59,8	42,0	180
C _v	0,42	0,31	0,43	0,26	0,40	0,31	0,59	0,37	0,45	0,27	0,41	0,35
α10 лет	27,5	12,0	3,30	-8,11	-0,08	6,35	2,70	7,58	2,56	0,90	3,76	17,1
r	0,28	0,46	0,19	-0,37	0,00	0,10	0,03	0,41	0,23	0,07	0,32	0,40
% от Q _{ср}	12,4	15,5	4,58	-13,1	-0,17	3,21	1,20	10,4	3,99	1,51	8,95	9,52

Примечание – Выделены статистически значимые величины.



а) – годовые; б) – максимальные весеннего половодья; в) – минимальные летне-осенние; г) – минимальные зимние
Рисунок 7 – Динамика модулей стока воды рек Беларуси

Суммарные ресурсы поверхностных вод Беларуси практически не изменились. В то же время произошло перераспределение естественных водных ресурсов по бассейнам основных рек. Современный этап использования водных ресурсов в Республике Беларусь характеризуется стабилизацией их потребления.

Прогнозные оценки изменения стока рек Беларуси

Исследования по оценке и прогнозу изменения климата для территории Беларуси выполняются с учетом обязательств Республики Беларусь по Рамочной конвенции ООН об изменении климата [10].

Для прогнозных оценок изменения стока рек бассейнов адаптирован метод гидролого-климатических расчетов, предложенный В. С. Мезенцевым, основанный на совместном решении уравнений водного и теплоэнергетического балансов [11]. Положив в основу гидролого-климатическую гипотезу В. С. Мезенцева [11], нами разработана многофакторная модель, включающая стандартное уравнение водного баланса участка суши с независимой оценкой основных элементов баланса (атмосферные осадки, суммарное испарение и климатический сток) в годовом разрезе. Разработанная модель использована для оценки возможных изменений водных ресурсов рек в зависимости от тех или иных гипотез климатических колебаний и антропогенных воздействий на характеристики водосборов [12, 13, 14].

Моделирование водного баланса исследуемой реки реализовано в виде компьютерной программы и осуществляется в два этапа. На первом этапе производится настройка модели по известным составляющим водного и теплового балансов исследуемой реки. При настройке модели преследуется цель достичь наибольшего соответствия рассчитанного климатического и руслового стоков. Первый этап заканчивается построением графиков климатического и руслового стока и выводом ошибки моделирования.

Хорошее совпадение измеренного и рассчитанного стока свидетельствует о корректности модели. Полученные параметры модели использованы при проведении численного эксперимента.

Второй этап представляет собой непосредственный расчет водного баланса исследуемой реки, используя параметры, полученные при калибровке модели. Расчет элементов водного баланса исследуемой реки производится с учетом конкретных особенностей рассматриваемого водосбора.

По прогнозным оценкам на период до 2035 года изменение объемов стока возможна резкая дифференциация между северной и южной частью республики, между малыми и большими реками. При незначительном изменении стока в среднем за год, высокая вероятность его неравномерности и разнонаправленности в сезоны и месяцы. Особенно значительно может измениться сток в летние месяцы с его снижением во все сезоны на юге Беларуси. Вместе с тем для севера Беларуси прогнозируются не столь значительные изменения стока, как для юга.

Следует отметить, что прогнозные оценки изменения стока рек в условиях изменяющегося климата следует рассматривать как вероятностные, связанные с допущением ряда неопределенностей, исходя из различных факторов, основные из которых:

- погрешность выявленных тенденций изменения метеорологических и гидрологических характеристик с учетом оценки статистической значимости этих тенденций;
- неопределенность и неоднозначность сценариев изменения климата;
- неопределенность результатов расчетов с использованием гидрологических моделей для прогнозирования стока, обусловленную как погрешностями самих моделей и их верификации, так и с неопределенностями используемых в них данных и коэффициентов;
- неопределенность прогнозов влияния факторов антропогенной нагрузки на водные ресурсы с учетом изменения климата.

Однако значимость оценок и прогнозов речного стока в условиях изменяющегося климата определяется целесообразностью их последующего учета при планировании водоохранных и водохозяйственных мероприятий, связанных с совершенствованием управления речными бассейнами в Беларуси.

Особенно это актуально в связи с тем, что одним из наиболее негативных последствий изменения климата для речного стока яв-

ляется возможное увеличение частоты и интенсивности неблагоприятных метеорологических и гидрологических явлений. К этим явлениям относятся ливни, засухи, поздние заморозки, наводнения, обусловленные паводками и половодьями, особенно при соединении факторов таяния снега и осадков в виде мокрого снега и дождя, а также возможного увеличения продолжительности половодья.

Усиление неравномерности внутригодового распределения стока и увеличение рисков наводнений, обусловленных резкими оттепелями в зимний период, более ранним наступлением весеннего половодья с увеличением интенсивности дождевых паводков может привести к увеличению рисков экстремальных явлений.

Проблема возникновения маловодных периодов также актуальна для бассейнов рек Республики Беларусь. Хотя в настоящее и будущее время нет явных предпосылок для возникновения дефицита водных ресурсов, тем не менее, повышается вероятность наступления длительных маловодных периодов. Во время маловодных периодов может произойти ухудшение экологического состояния и рекреационного потенциала поверхностных водных объектов и прилегающих территорий, изменение гидрогеологического режима грунтовых вод, истощение почвенного покрова в пойме и т. п.

Кроме того, за счет возможного увеличения частоты и продолжительности засушливых периодов повышаются риски существенного уменьшения стока малых рек со снижением в них уровня воды, ухудшением ее качества и уменьшением рекреационного потенциала этих рек.

Поэтому разработка и реализация мер по адаптации к изменению климата в части совершенствования управления водными ресурсами является актуальной задачей.

Заключение

В обозримом будущем в стране не следует ожидать значительного роста или падения водопотребления и существующие водные ресурсы в полной мере будут удовлетворять потребности всех отраслей экономики и требованиям экологического стока. Однако это не снимает с повестки дня вопросов очистки природных и сточных вод, сохранения качества природных вод, обеспечения безопасности функционирования водных экосистем.

Интенсивное освоение речных пойм в совокупности с прогнозируемым изменением климата приведет к увеличению разрушительной силы наводнений и их повторяемости. Минимизировать негативные последствия катастрофических наводнений можно, имея своевременный прогноз и эффективные действия властей. К сожалению, эти условия в ряде случаев не выполняются. Борьба с наводнениями является межгосударственной проблемой и в ее решении должны принимать участие все страны, расположенные на водосборе.

Главной задачей в исследовании водных ресурсов Беларуси на нынешнем этапе является их комплексная оценка современного состояния с учетом пространственно-временных колебаний и изменений основных составляющих водного баланса речных водосборов. При этом необходимо учитывать влияния на них различных природных и антропогенных факторов, прогноз изменения водных ресурсов при различных сценариях развития климата. На основе полученных научных результатов разработать мероприятия по минимизации возможных негативных последствий в случае изменения режима водных ресурсов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта БРФФИ № X23-127 от 02.05.2023.

Список цитированных источников

1. Блакітны скарб Беларусі: Рэкі, азёры, вадасховішчы, турысцкі патынцыял водных аб'ектаў / маст.: Ю. А. Тарэеў, У. І. Цярэнцьеў. – Мінск: БелЭн, 2007. – 480 с.
2. Волчек, А. А. Оптимизация режимной гидрологической сети Беларуси / А. А. Волчек // Мелиорация. – 2020. – № 4 (94). – С. 24–29.
3. Волчек, А. А. Пакет прикладных программ для определения расчетных характеристик речного стока / А. А. Волчек, С. И. Парфомук // Веснік Палескага дзяржаўнага ўніверсітэта. Серыя прыродазнаўчых навук. – 2009. – № 1. – С. 22–30.

4. Логинов, В. Ф. Современные изменения водных ресурсов Республики Беларусь / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, С. И. Парфомук // География и природные ресурсы. – 2008. – № 4. – С. 149–154.
5. Волчек, А. А. Водные ресурсы Республики Беларусь на современном этапе / А. А. Волчек, С. И. Парфомук // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2011. – № 2 (68). – С. 2–5.
6. Волчек, А. А. Пространственно-временная структура среднесезонного годового стока рек Беларуси / А. А. Волчек, С. В. Сидак, С. И. Парфомук // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2021. – № 2 (125). – С. 75–80.
7. Логинов, В. Ф. Весенние половодья на реках Беларуси: пространственно-временные колебания и прогноз / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, Ан. А. Волчек. – Минск : Беларуская навука, 2014. – 244 с.
8. Воробьев, Ю. Л. Катастрофические наводнения начала XXI века: уроки и выводы / Ю. Л. Воробьев, В. А. Акимов, Ю. И. Соколов. – М. : ДЭКС-ПРЕСС, 2003. – 352 с.
9. Волчек, А. А. Водные ресурсы Беларуси и экологические риски // Вопросы географии / Русское географическое общество / редкол.: В. М. Котляков [и др.]. – М. : Медиа-ПРЕСС, 2023. – Сб. 157. Водные проблемы и их решение. – С. 81–104.
10. Водные ресурсы Беларуси и их прогноз с учетом изменения климата / А. А. Волчек [и др.] ; под общ. ред. А. А. Волчека, В. Н. Корнеева. – Брест : Альтернатива, 2017. – 228 с.
11. Мезенцев, В. С. Гидролого-климатическая гипотеза и примеры ее использования / В. С. Мезенцев // Водные ресурсы. – 1995. – Т. 22, № 3. – С. 299–301.
12. Волчек, А. А. Методика определения максимально возможного испарения по массовым метеоданным (на примере Белоруссии) / А. А. Волчек // Научно-техническая информация по мелиорации и водному хозяйству (Минводхоз БССР). – 1986. – № 12. – С. 17–21.
13. Волчек, А. А. Оценка трансформации водного режима малых рек Белорусского Полесья под воздействием природных и антропогенных факторов (на примере р. Ясельда) / А. А. Волчек, С. И. Парфомук // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2007. – № 1. – С. 50–62.
14. Статистические методы в природопользовании : учебное пособие для студентов высших учебных заведений / В. Е. Валуев [и др.]. – Брест : БПИ, 1999. – 252 с.
15. Blakitny skarb Belarusi: Reki, azyory, vadaskhovichchy, tursyski patyncyyal vodnyh ab'ektaŭ / mast.: YU. A. Tareeŭ, U. I. Syarenc'eŭ. – Minsk : BelEn, 2007. – 480 s.
16. Volchek, A. A. Optimizaciya rezhimnoj gidrologicheskoj seti Belarusi / A. A. Volchek // Melioraciya. – 2020. – № 4 (94). – S. 24–29.
17. Volchek, A. A. Paket prikladnyh programm dlya opredeleniya raschetnyh harakteristik rechnogo stoka / A. A. Volchek, S. I. Parfomuk // Vestnik Paleskaga dzhzyarzhaj'naga universiteta. Seryya pryrodaznaučnyh navuk. – 2009. – № 1. – S. 22–30.
18. Loginov, V. F. Sovremennye izmeneniya vodnyh resursov Respubliki Belarus' / V. F. Loginov, A. A. Volchek, S. I. Parfomuk // Geografija i prirodnye resursy. – 2008. – № 4. – S. 149–154.
19. Volchek, A. A. Vodnye resursy Respubliki Belarus' na sovremennom etape / A. A. Volchek, S. I. Parfomuk // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Vodohozyajstvennoe stroitel'stvo, teploenergetika i geoekologiya. – 2011. – № 2 (68). – S. 2–5.
20. Volchek, A. A. Prostranstvenno-vremennaya struktura srednogoletnogo godovogo stoka rek Belarusi / A. A. Volchek, S. V. Sidak, S. I. Parfomuk // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2021. – № 2 (125). – S. 75–80.
21. Loginov, V. F. Vesennie polovod'ya na rekah Belarusi: prostranstvenno-vremennye kolebaniya i prognoz / V. F. Loginov, A. A. Volchek, An. A. Volchek. – Minsk : Belaruskaya navuka, 2014. – 244 s.
22. Vorob'ev, YU. L. Katastroficheskie navodneniya nachala XXI veka: uroki i vyvody / YU. L. Vorob'ev, V. A. Akimov, YU. I. Sokolov. – M. : DEKS-PRESS, 2003. – 352 s.
23. Volchek, A. A. Vodnye resursy Belarusi i ekologicheskie riski // Voprosy geografii / Russkoe geograficheskoe obshchestvo / redkol.: V. M. Kotlyakov [i dr.]. – M. : Media-PRESS, 2023. – Sb. 157. Vodnye problemy i ih reshenie. – S. 81–104.
24. Vodnye resursy Belarusi i ih prognoz s uchedom izmeneniya klimata / A. A. Volchek [i dr.] ; pod obshch. red. A. A. Volcheka, V. N. Korneeva. – Brest : Al'ternativa, 2017. – 228 s.
25. Mezencev, V. S. Gidrologo-klimaticheskaya gipoteza i primery ee ispol'zovaniya / V. S. Mezencev // Vodnye resursy. – 1995. – T. 22, № 3. – S. 299–301.
26. Volchek, A. A. Metodika opredeleniya maksimal'no vozmozhnogo isparenija po massovym meteodannym (na primere Belorussii) / A. A. Volchek // Nauchno-tekhnicheskaya informaciya po melioracii i vodnomu hozyajstvu (Minvodhoz BSSR). – 1986. – № 12. – S. 17–21.
27. Volchek, A. A. Ocenka transformacii vodnogo rezhima malyh rek Belorusskogo Poles'ya pod vozdejstviem prirodnyh i antropogennyh faktorov (na primere r. YAsel'da) / A. A. Volchek, S. I. Parfomuk // Vodnoe hozyajstvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie. – 2007. – № 1. – S. 50–62.
28. Statisticheskie metody v prirodopol'zovanii : uchebnoe posobie dlya studentov vysshih uchebnyh zavedenij / V. E. Valuev [i dr.]. – Brest : BPI, 1999. – 252 s.

Материал поступил 22.05.2024, одобрен 24.06.2024, принят к публикации 24.06.2024

УДК 630*232.32

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА ДРЕВЕСНО-ТОРФЯНЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА ИЛИ ДРЕВЕСНОГО КОМПОСТА

Н. П. Ялова¹, Ю. С. Дордюк²

¹ К. т. н., доцент, проректор по воспитательной работе, УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: yalnat@yandex.by

² К. т. н., доцент, заведующий кафедрой экономики и организации строительства, УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: jul4onka@mail.ru

Реферат

В статье представлен анализ использования мобильной дробилки (кустореза) «Bobcat» на базе погрузчика «Bobcat» с бортовым поворотом S770 для получения древесно-торфяных отходов с высоким содержанием органических веществ, пригодных для использования в качестве топлива или древесного компоста. Представлены результаты дисперсного состава проб, состоящих из древесной щепы и торфа. Выполнены измерения кислотности, содержания влаги, минерального состава и органических веществ образцов исследуемых древесно-торфяных отходов.

Ключевые слова: древесина, древесно-торфяные отходы, компост, мобильная дробилка.

RESEARCH OF THE COMPOSITION OF WOOD AND PEAT WASTE FOR USE AS FUEL OR WOOD COMPOST

N. P. Yalavaya, Yu. S. Dardziuk

Abstract

The article presents an analysis of the use of the Bobcat mobile crusher (brush cutter) based on the Bobcat S770 skid steer loader to produce wood and peat waste with a high content of organic substances, suitable for use as fuel or wood compost. The results of the dispersed composition of samples consisting of wood chips and peat are presented. Measurements of acidity, moisture content, mineral composition and organic matter of samples of the studied wood and peat waste were carried out.

Keywords: wood, wood and peat waste, compost, mobile crusher.

Введение

Повышение эффективности использования отходов древесины является важной проблемой для Республики Беларусь, так как в процессе заготовки леса и изготовления изделий из нее отходов остается существенное количество. В процессе заготовки около 20 % древесины попадает в древесные отходы. Отходами заготовки древесины считаются корневища, сучья, кора и хвоя деревьев.

Значительная часть древесных отходов так и остается невостребованной и способствует загрязнению компонентов окружающей среды. Данные отходы чаще всего остаются в местах заготовки древесного сырья или подлежат захоронению. Вместе с тем эти отходы обладают рядом ценных потребительских характеристик, позволяющих их использовать в качестве топлива при благоустройстве, в садоводстве, ландшафтном дизайне и различных отраслях промышленности.

Материалы и методы

Основными источниками образования древесных отходов являются различные лесопромышленные комплексы и деревоперерабатывающие предприятия. Древесные отходы образуются в большом количестве практически на всех стадиях технологического процесса: лесозаготовки, лесопиления и деревообработки, которые могут использоваться в виде вторичных древесных ресурсов в различных отраслях промышленности Республики Беларусь.

Образующиеся древесные отходы можно классифицировать:

- по сортименту исходного сырья (отходы пиломатериалов, отходы фанеры и древесноволокнистых плит, отходы древесностружечных плит);
- по влажности (сухие – до 15 %, полусухие – 16–30 %, влажные – 31 % и выше, сверхвлажные – 100 % и выше);
- по форме и размеру частиц (кусковые, мягкие);
- по стадийности обработки (первичные, вторичные).

Согласно СТБ 1867-2017 [1] к отходам, полученным в процессе лесозаготовки, относятся вершина, ветви, козырек, кора, отрезки хлыстов, откомлевка, пневая древесина, сучья.

К отходам, полученным в процессе лесопиления и деревообработки, относятся: горбыль, древесная пыль, древесная стружка, ка-

рандаш, кора, обрезки шпона, опилки, отрезки пиломатериалов, отсруг.

Согласно Общегосударственному классификатору Республики Беларусь ОКРБ 021-2019 [2] для древесных отходов выделен отдельный раздел 7 «Древесные отходы», который в свою очередь подразделяется на группы: 1 – «Отходы обработки и переработки древесины» (52 наименования отходов), 2 – «Древесные отходы производства и потребления» (24 наименования отходов) и 3 – «Древесные отходы, полученные в процессе лесозаготовки» (5 наименований отходов).

Количество отходов деревообрабатывающих производств зависит от качества поставляемого сырья, типа и размера изготавливаемой продукции, технической оснащенности предприятия и его мощности и составляет 45–63 % исходного сырья (пиломатериалов, фанеры).

Вместе с тем, древесные отходы, остающиеся при обработке древесного сырья, – материал, используемый во многих производствах. Их применяют:

– **для энергетики:** в связи с прогрессирующим истощением ресурсов нефти и газа и все большими трудностями освоения их новых месторождений в последние годы ведутся интенсивные разработки технологии превращения различных видов биомассы (в том числе отходов сельскохозяйственного производства и древесины) в топливо. Потребление биомассы в ряде стран в качестве топлива заметно увеличивается. При применении биомассы в качестве топлива всегда требуется измельчение и сушка сырья, так как влажность более 50 % приводит к снижению теплоты сгорания. Например, опилки, стружки, кору подвергают механической обработке на червячном прессе с пресс-формой. Во время прессования отходы нагреваются и избыток влаги удаляется. Готовая продукция непрерывно выходит из трубчатой пресс-формы. Отходы древесины и других видов растительного сырья обычно содержат небольшие количества серы, что, в отличие от угля и нефти, гарантирует невысокую (значительно ниже существующих норм) токсичность образующихся отходящих газов;

– **в сельском хозяйстве:** различные отходы древесного и другого вида сырья можно использовать для производства удобрений мно-

гоцелевого назначения. Способы переработки этих отходов базируются на микробиологических принципах с использованием природных бактерий, которые развиваются в благоприятных условиях. Сучья, кора, стружка и опилки увлажняют, формируют в рыхлые кучи и заражают культурой специально выведенных бактерий. Процесс созревания компоста протекает с выделением тепла в течение 7–8 недель. В садоводстве и цветоводстве компост на основе древесных отходов с добавлением органического сырья – лучшее удобрение, способное улучшить состав почвы и помочь плодовым деревьям, кустарникам и цветникам эффективно развиваться, цвести и плодоносить в любом климате. В сельском хозяйстве компост из древесных отходов в сочетании с различными органическими и минеральными удобрениями может использоваться для обогащения бедных почв и получения высоких урожаев различных сельскохозяйственных культур;

– **в лесном хозяйстве:** в процессе перегнивания отходов образуются естественные удобрения, насыщенные микроэлементами, которые необходимы для возобновления леса. Особую ценность представляют хвоя, листья, тонкие ветви и корни, которые перегнивают за 2–3 года, т. е. в несколько раз быстрее, чем древесина. Они образуют комплекс органических питательных веществ, весьма важных именно в первые годы жизни деревьев. От правильной организации очистки лесосек зависит качество лесовозобновления. Способ очистки лесосек определяют при их отводе в рубку и указывают в лесорубочном билете. Учитывается принятая технология, сезон заготовок, наличие подраста, почвенно-грунтовые условия. На сырых и мокрых почвах сбор лесосечных отходов имеет особое значение для естественного возобновления леса. Хотя лесосечные отходы улучшают для техники проходимость, однако они затрудняют испарение влаги и прогрев почвы, содействуют накоплению снега и задержанию его таяния. Это усиливает заболочиваемость лесосек, создает трудности для прорастания семян и появления всходов. На каменистых и сухих песчаных почвах влияние лесосечных отходов иное. Здесь они способствуют улучшению водного режима почв и обогащению их органическими веществами. Уменьшается испарение влаги, понижается скорость ветра у поверхности почвы, обеспечивается защита всходов от низких и высоких температур. Чтобы обеспечить равномерное распределение массы лесосечных отходов по площади лесосек, они должны подвергаться измельчению передвижными рубительными машинами. Измельчение и разбрасывание отходов требует меньших затрат труда, чем сбор и сжигание их в кучах или валах.

Целью настоящих исследований является анализ использования мобильной дробилки (кустуреза) «Bobcat» на базе погрузчика «Bobcat»

с бортовым поворотом S770 для получения древесно-торфяных отходов с высоким содержанием органических веществ, пригодных для использования в качестве топлива или древесного компоста.

Для получения торфодревесного топлива измельчаются куски торфа и древесины, образующиеся при подготовке торфа для брикетирования, а также древесного сырья, образующегося при строительстве полей добычи торфа (сучья, ветви, вершины, отходы корчевания пней, отрезки хлыстов, козырьки, откомлевки и т. п.). Топливо получают путем смешивания измельченной крупной фракции фрезерного торфа и древесной щепы. Древесную щепу получают путем измельчения древесных отходов, образующихся при строительстве полей добычи торфа, сводки леса. При изготовлении древесной щепы из пней, после получения древесной щепы, ее необходимо просеивать для удаления песка и почвы.

Для получения качественного торфодревесного топлива его характеристика должна соответствовать ТУ ВУ 200274574.004-2017 (таблица 1).

Таблица 1 – Качественная характеристика топлива

Наименование показателя	Норма для типа
Массовая доля влаги (W), %, не более	55
Зольность (A ^c), %, не более	23
Низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг, не менее	7900
Массовая доля общей серы, %, не более	0,3
Массовая доля минеральных примесей, %, не более	0,5
Размер фракции древесной щепы, %, не более	от 30 до 250
Содержание древесной щепы, %, не более	30
Размер фракции торфа, мм	от 2 до 100
Содержание торфа фрезерного, %, не менее	70

Погрузчик «Bobcat» с бортовым поворотом S770 (рисунок 1) рассчитан на выполнение крупных работ и допускает навеску мощного сменного рабочего оборудования. Этот устойчивый погрузчик имеет вертикальную траекторию подъема ковша и обеспечивает повышенный вылет кромки ковша при наибольшей высоте подъема.

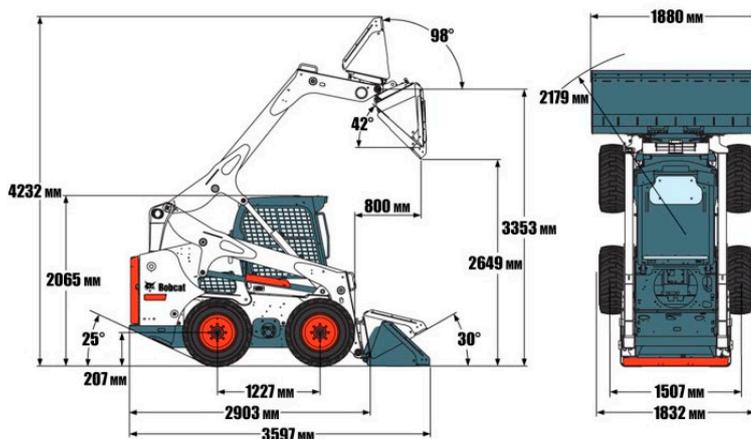


Рисунок 1 – Погрузчик «Bobcat» с бортовым поворотом S770

Несмотря на небольшой вес, погрузчик «Bobcat» с бортовым поворотом S770 способен перемещаться со скоростью 11,4 км/час. Благодаря функции бортового поворота, наличию гидростатического привода и малогабаритности погрузчик «Bobcat» с бортовым поворотом S770 может эксплуатироваться в условиях ограниченного свободного места. Нехватка пространства никак не сказывается на его устойчивости и безопасности транспортируемого груза.

Высокопроизводительная мобильная дробилка (кусторез) «Bobcat» (рисунок 2) предназначена для измельчения деревьев, кустарника и травы. В результате работы кустореза остается слой измельченной растительности, его можно использовать для расчистки тропинок, рабочих площадок, садов и других лесных зон.



Рисунок 2 – Мобильная дробилка (кусторез) «Bobcat» на базе погрузчика «Bobcat» с бортовым поворотом S770 (общий вид и работа в полевых условиях)

Технические характеристики погрузчика «Bobcat» с бортовым поворотом S770 приведены в таблице 2.

Технические характеристики кустореза «Bobcat» приведены в таблице 3.

Таблица 2 – Технические характеристики погрузчика «Bobcat» с бортовым поворотом S770

Марка	Kubota
Масса	4,162 т
Грузоподъемность	1,520 т
Клиренс	200 мм
Опрокидывающая нагрузка	3,1 т
Объем ковша	2,3 куб. м
Скорость	11,4-19,8 км/ч
Высота подъема ковша / размеры колеи / радиус поворота	3,35/1,5/2,2 м
Размер колеи	1,507 м
Радиус поворота	2,179 м
Дальность выгрузки	0,8 м
Длина вместе со стандартным рабочим органом	3,6 м
Ширина со стандартным ковшом	1,88 м
Высота/колесная база	2065/1227 м
Название двигателя	Kubota V3800-DI-T-E3
Параметры ДВС	4 цилиндра, мощность 93 л.с., тяга 315 Н/м, рабочий объем 3,7 л
Вместимость бака с горючим	124 л
Производительность гидронасоса	87 литров в минуту
Жидкостное охлаждение	да

Таблица 3 – Технические характеристики мобильной дробилки (кустореза) «Bobcat»

Марка	AD 8900210
Ширина толкателя	1538 мм
Общая ширина	1794 мм
Высота	1587 мм
Длина	1304 мм
Общая длина	1419 мм
Ширина резания	1500 мм
Рабочая масса	1300 кг
Максимальный гидравлический поток	142 литров в минуту
Максимальное давление	350 бар
Количество зубьев	32
Вес зуба	1,65 кг
Отклонение двигателя	80 см ³
Диаметр барабана	490 мм

Методика определения дисперсного состава

Для проведения испытаний были приготовлены две пробы, состоящие из древесной щепы и торфа.

Объем составной пробы составлял 0,5 м³. Предварительно из отходов удалялись не свойственные примеси – почва, металл, пластмасса, картон и др.

Дисперсный состав определялся методом натурных замеров путем просеивания дробленых отходов на отдельные составляющие фракции с их последующим взвешиванием.

Разбор отходов для определения дисперсного состава производился в специально отведенном месте. Раздробленные отходы ссыпались на ровную бетонированную площадку для последующего просеивания на специальном сите сито 550*1000*100 мм с набором сменных полотен (5 шт.) для просеивания материалов фракций 120 мм, 80 мм, 40 мм, 20 мм, 10 мм (рисунок 3). Просеивание производилось вручную порционно. Масса одной порции составляла около 10 кг.

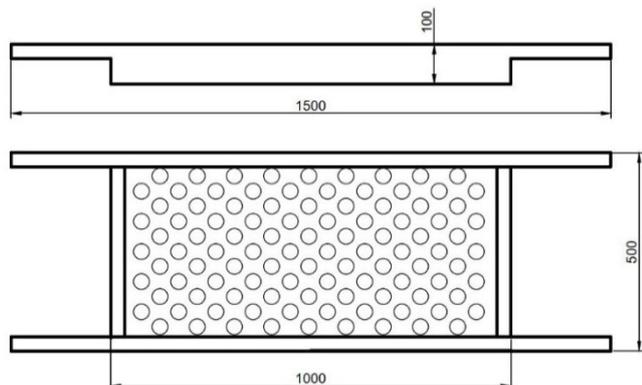


Рисунок 3 – Сито ручное

Дробленый материал определенной массы (масса определялась путем взвешивания на электронных весах, пределы измерений которых составляли $100 \pm 0,5$ кг) высыпался в сито с максимальными отверстиями и путем встряхивания просеивался через ячейки сита. Оставшийся в сите материал взвешивался. После этого путем замены днища сита устанавливались более мелкие ячейки, засыпался материал, просеянный на предыдущем сите, повторялся процесс встряхивания с последующим взвешиванием остатков на сите.

Результаты и обсуждение

Для проведения лабораторных испытаний дисперсного состава исследованы две пробы:

– проба № 1 – проба грунта с поля после дробления мобильной дробилкой (кусторезом) «Bobcat», состоящая из древесной щепы и торфа;

– проба № 2 – проба торфобрикетной массы.

Результаты исследований дисперсного состава по двум пробам приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты исследований дисперсного состава

№	Наименование пробы	Размер ячейки сита, мм	Вес материала на сите	
			кг	%
1	Проба № 1. Вес 10,1 кг	более 120	–	–
2		120	–	–
3		80	0,5	4,9
4		40	2,6	25,5
5		20	4,8	47,1
6		10	1,5	14,7
7		менее 10	0,8	7,8
8	Проба № 2. Вес 10,3 кг	более 120	–	–
9		120	–	–
10		80	0,6	5,7
11		40	2,4	22,8
12		20	5,1	48,6
13		10	1,3	12,4
14		менее 10	1,1	10,5

После дробления исходных материалов среднее значение дисперсного состава дробленого материала пробы № 1 составляет:

- 120 мм – 0 %;
- 80 мм – 5,3 %;
- 40 мм – 24,2 %;
- 20 мм – 47,7 %;
- 10 мм – 13,7 %;
- менее 10 мм – 9,1 %.

Химический и органический состав почв определяли по методикам согласно нормативным стандартам [3–5]. Полученные результаты измерений сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Результаты измерений состава проб

Наименование показателя	Проба № 1	Проба № 2
Массовая доля органического вещества (X), %	79,85	21,21
Массовая доля влаги (W), %	55	30
Содержание хлорид-ионов в водной вытяжке, %	0,0053	0,0071
Содержание сульфат-ионов в водной вытяжке, ммоль/100 г почвы	0,48	0,85
Содержание гидрокарбонат-ионов, HCO_3^- , ммоль/100 г почвы	0,35	0,575
Кислотность (водородный показатель pH солевой вытяжки)	5,71	7,0

Испытания при сжигании проб топлива торфодревесного по содержанию в отходящих газах загрязняющих веществ показали отсутствие превышения нормативов в отходящих газах, установленных в Экологических нормах и правилах ЭкоНиП 17.01.06-001-2017 [6] (таблица 6).

Таблица 6 – Нормы выбросов загрязняющих веществ при использовании и (или) обезвреживании путем сжигания отходов древесноволокнистых, древесностружечных плит, иных отходов, содержащих связующие неминерального происхождения [6]

Загрязняющее вещество		Норма выбросов
Твердые частицы		30 мг/м ³
Азота оксиды (в пересчете на азота диоксид)		380 мг/м ³
Серы диоксид		100 мг/м ³
Углерода оксид		2000 мг/м ³
Общий органический углерод		50 мг/м ³
Аммиак		10 мг/м ³
Тяжелые металлы и их соединения суммарно	Сурьма, мышьяк, свинец, хром, кобальт, медь, марганец, никель, ванадий, кадмий, таллий	0,5 мг/м ³
	Ртуть	0,05 мг/м ³

Примечание – значения указаны в отходящих дымовых газах при нормальных условиях (температура 273 К, давление 101,3 кПа) в пересчете на сухой газ при содержании кислорода в дымовых газах 11 % (коэффициент избытка воздуха $\alpha = 2,1$).

Заключение

При правильной эксплуатации мобильной дробилки (кустореза) «Bobcat» на базе погрузчика «Bobcat» с бортовым поворотом S770 (в соответствии с руководством по эксплуатации и техническому обслуживанию) и на основании проведенных исследований, на данном оборудовании можно получить качественную смесь древесно-торфяных отходов для использования в качестве топлива или древесного компоста.

Результаты проведенных исследований химического и органического состава пробы древесно-торфяных отходов (проба № 1) показали слабокислую реакцию исследуемой пробы (рН = 5,71), высокое содержание в ней органических веществ – до 79,85 %, низкое содержание хлорид иона – 0,0053 % и сульфат-ионов – 0,48 ммоль/100 г почвы, массовую долю влаги – 55 %. Это также подтверждает возможность использования древесно-торфяных отходов в качестве топлива или древесного компоста. При соблюдении всех требований полученная древесно-торфяная смесь при сжигании не окажет отрицательное воздействие на окружающую среду и может вполне заменить собой другие виды топлива.

Получаемый древесно-торфяной компост обладает благоприятным химическим составом, что позволяет правильно перерабатывать органические отходы без вреда окружающей среде. Биологический способ утилизации древесных отходов – возможность сохранить ценные природные органические ресурсы и использовать их во благо в самых разных целях. Сфера применения древесно-торфяного компоста широка:

- садоводство и цветоводство. Компост на основе древесных отходов с добавлением органического сырья – лучшее удобрение, способное улучшить состав почвы и помочь плодовым деревьям, кустарникам и цветникам эффективно развиваться, цвести и плодоносить в любом климате;

- ландшафтный дизайн. Иногда на участке недостаточно сбалансированная почва для создания цветника с определенными типами растений, прихотливыми к составу грунта. В этом случае использование компоста позволит решить данную проблему без лишних усилий;

- повышение плодородия почвы. В сельском хозяйстве компост из древесных отходов в сочетании с различными органическими и минеральными удобрениями используется для обогащения бедных почв и получения высоких урожаев различных сельскохозяйственных культур;

- озеленение территории и рекультивация нарушенных земель полигонов и карьеров. Почвы, требующие рекультивации, быстро восстанавливаются при использовании органических удобрений. Слой древесного компоста создает питательную среду для выращивания газонов;

- засыпка верхнего слоя земли при повреждении строительными и бытовыми отходами. Поврежденный верхний слой почвы сложно восстановить, на это требуется не один год. В этом случае древесный компост позволяет ускорить процесс восстановления и сбалансировать состав грунта.

Список цитированных источников

1. Отходы древесные. Общие технические условия : СТБ 1867-2017. – Введ. 2017-10-01. – Минск : Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь, 2017. – 12 с.
2. Классификатор отходов, образующихся в Республике Беларусь : ОКРБ 021-2019. – Введ. 2019-12-09. – Минск : Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, 2019. – 84 с.
3. Почвы. Методы определения органического вещества : ГОСТ 26213-2021. – Введ. 2023-02-01. – Минск : Госстандарт, 2022. – 12 с.
4. Почвы. Методы определения иона сульфата в водной вытяжке : ГОСТ 26426-85. – Введ. 1986-01-01. – М. : Госкомитет СССР, 1986. – 7 с.
5. Почвы. Методы определения иона хлорида в водной вытяжке : ГОСТ 26425-85. – Введ. 1986-01-01. – М. : Госкомитет СССР, 1986. – 10 с.
6. Экологические нормы и правила. Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности : ЭкоНиП 17.01.06-001-2017. – Введ. 2017-01-10. – Минск : Минприроды, 2017. – 185 с.

References

1. Othody drevesnye. Obshhie tehnicheckie uslovija : STB 1867-2017. – Vved. 2017-10-01. – Minsk : Ministerstvo lesnogo hozjajstva Respubliki Belarus', 2017. – 12 s.
2. Klassifikator othodov, obrazujushhijhsja v Respublike Belarus' : OKRB 021-2019. – Vved. 2019-12-09. – Minsk : Ministerstvo prirodnyh resursov i ohrany okruzhajushhej sredy Respubliki Belarus', 2019. – 84 s.
3. Pochvy. Metody opredelenija organicheskogo veshhestva : GOST 26213-2021. – Vved. 2023-02-01. – Minsk : Gosstandart, 2022. – 12 s.
4. Pochvy. Metody opredelenija iona sulfata v vodnoj vytjazhke : GOST 26426-85. – Vved. 1986-01-01. – M. : Goskomitet SSSR, 1986. – 7 s.
5. Pochvy. Metody opredelenija iona hlorida v vodnoj vytjazhke : GOST 26425-85. – Vved. 1986-01-01. – M. : Goskomitet SSSR, 1986. – 10 s.
6. Jekologicheskije normy i pravila. Ohrana okruzhajushhej sredy i prirodopol'zovanie. Trebovanija jekologicheskoi bezopasnosti : JekoNiP 17.01.06-001-2017. – Vved. 2017-01-10. – Minsk : Minprirody, 2017. – 185 s.

Материал поступил 19.06.2024, одобрен 04.07.2024, принят к публикации 04.07.2024

ДИНАМИКА СОСТАВА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ И РАНЖИРОВАНИЕ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

М. Г. Герменчук¹, Н. Н. Цыбулько², П. К. Шалькевич³, Т. В. Дашкевич⁴

¹ К. т. н., доцент, заместитель директора по научной работе УО «Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова БГУ», Минск, Беларусь, e-mail: germenchuk@iseu.by

² Д. с.-х. н., профессор, начальник научно-исследовательского сектора УО «Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова БГУ», Минск, Беларусь, e-mail: res_sector@iseu.by

³ К. т. н., доцент, доцент УО «Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова БГУ», Минск, Беларусь, e-mail: shalkevich@iseu.by

⁴ Старший преподаватель кафедры ядерной и радиационной безопасности УО «Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова БГУ», Минск, Беларусь, e-mail: dashkevich.tv@gmail.com

Реферат

В статье представлены результаты анализа динамики состава радиационной обстановки и ранжирования радиоэкологических рисков на территории Республики Беларусь за период 1945–2024 гг. Выделены и описаны шесть временных циклов, наиболее значимых для радиационной безопасности в Республике Беларусь, выполнена оценка степени и приемлемости риска в различные периоды. В настоящее время для Республики Беларусь наиболее «значимые» риски представляет радиоактивное загрязнение окружающей среды после катастрофы на Чернобыльской АЭС, вторым по значимости источником угроз и рисков является действующая Белорусская АЭС. Показано, что одним из ключевых элементов механизмов управления рисками является мониторинг и прогноз радиационной обстановки в окружающей среде при различном составе угроз и рисков.

Ключевые слова: радиационная безопасность, механизмы управления радиоэкологическими рисками, идентификация и квантификация рисков, степень риска, ранжирование и приемлемость рисков, мониторинг и прогноз радиационной обстановки.

DYNAMICS OF THE COMPOSITION OF RADIATION SITUATION AND RANKING OF RADIOECOLOGICAL RISKS IN THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF BELARUS

M. G. Germenchuk, M. M. Tsybulka, P. K. Shalkevich, T. V. Dashkevich

Abstract

The article presents the results of an analysis of the dynamics of the composition of the radiation situation and the ranking of radioecological risks on the territory of the Republic of Belarus for the period 1945–2024. Six time cycles that are most important for radiation safety in the Republic of Belarus are identified and described. An assessment of the rank and acceptability of risk in different periods was carried out. Currently, for the Republic of Belarus, the most “significant” risks are posed by radioactive contamination of the environment after the catastrophe at the Chernobyl NPP, the second most important source of threats and risks is the Belarusian nuclear power plant. The article shows that one of the key elements of risk management mechanisms is monitoring and prognosis the radiation situation in the environment with a different composition of threats and risks.

Keywords: radiation safety, mechanisms for managing radioecological risks, identification and quantification of risks, rank of risk, ranking and acceptability of risks, monitoring and prognosis of the radiation situation.

Введение

Анализ общественной практики в сфере обеспечения радиационной безопасности человека и окружающей среды (далее – ОРБ) показывает, что в настоящее время в Республике Беларусь присутствуют 15 основных действующих и потенциальных радиоэкологических рисков, при этом существуют долговременные тенденции роста актуальности проблем обеспечения радиационной безопасности, что подтверждается высокими оценками степени радиоэкологических рисков (далее – RR) [1, 2].

В настоящее время представлены и апробированы модели деятельности в сфере ОРБ и общий алгоритм управления рисками (механизмы управления рисками) с заданными обратными связями, методы идентификации, квантификации и калибровки радиоэкологических рисков [2].

Для дальнейшего обеспечения эффективной деятельности в сфере ОРБ необходимо иметь научно обоснованные подходы к оценке и динамике как самой радиационной обстановки в окружающей среде с использованием системы радиационного мониторинга, так и к оценке и ранжированию радиоэкологических рисков по степени риска RR.

Для оценки динамики угроз и рисков в сфере ОРБ для Республики Беларусь необходимо определить границы временных циклов, важных для ОРБ, оценить состав радиационной обстановки в окружающей среде в каждом из них, а также провести ранжирование угроз и рисков и оценку их приемлемости для повышения эффективности деятельности в сфере ОРБ.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования рассмотрим ОРБ как проблемосодержащую область, которая включает в себя в том числе угрозы и риски, а также оценки степени рисков RR и их приемлемости, в качестве предмета исследования – связи между составом радиационной обстановки, составом угроз и рисков и их RR на территории Республики Беларусь во временном контексте. Степень риска RR рассматривается как произведение двух величин: воздействия риска и вероятности риска [1].

Для Республики Беларусь при ранжировании рисков рассматриваются идентифицированные, категоризованные угрозы и риски и их квантифицированные RR, рассчитанные с использованием адаптированной к проблемам ОРБ «RR6 – Матрицы определения качественных/полукачественных и количественных (квантифицированных) оценок степени риска RR» [2]. Для целей ранжирования рисков по их степени выделены две категории рисков: «действующие (Д)» и «потенциальные (П)» (таблица 1).

Для выявления и описания основных циклов и оценки динамики угроз и рисков в сфере ОРБ в Республике Беларусь, а также состава радиационной обстановки в окружающей среде в 1945–2024 гг., был использован экспертный метод в сочетании с логико-историческим подходом, в основу которого положен следующий принцип: с возникновением нового типа источника угроз и рисков в ОРБ открывается новый цикл.

Таблица 1 – Действующие и потенциальные угрозы и риски, диапазоны степени риска в сфере ОРБ на территории Республики Беларусь [2]

	Действующие угрозы и риски	Диапазон Степени риска, <i>RR</i>
Д1	Глобальное («бомбовое») загрязнение после применения и испытаний ядерного оружия	<1
Д2	«Чернобыльское» радиоактивное загрязнение первый острый период катастрофы в ситуации аварийного облучения в ситуации существующего облучения «Фукусимское» радиоактивное загрязнение	>> 25
		20 ÷ 25
		10 ÷ 19
Д3	Белорусская АЭС (первый и второй блок), хранилища РАО, другие действующие ОИАЭ	6 ÷ 14
Д4	Чернобыльская АЭС (1977 г.), Ровенская АЭС (1980 г.), Смоленская АЭС (1982 г.), Игналинская АЭС (1983 г.)	6 ÷ 11
Д5	ГНУ «ОИЭЯИ-СОСНЫ», пункты захоронения отходов дезактивации на «чернобыльских» территориях, КУП «Экорес» и др.	6 ÷ 11
Д6	Источники ионизирующего излучения, используемые в организациях, действующих на территории страны	6 ÷ 11
Д7	Обнаруженные ранее утерянные источники ионизирующего излучения	4 ÷ 8
	Потенциальные угрозы и риски	
П1	Планируемые к строительству ОИАЭ и объекты по обращению с РАО	4 ÷ 8
П2	Строительство хранилищ радиоактивных отходов на промплощадках Игналинской АЭС при выводе станции из эксплуатации	4 ÷ 8
П3	Транспортировка радиоактивных материалов через территорию Республики Беларусь	4 ÷ 5
П4	Незаконное использование радиоактивных материалов и источников ионизирующего излучения (ИИИ)	4 ÷ 8
П5	ИИИ, санкционированно перевозимые по территории страны	4 ÷ 5
П6	Радиологический/ядерный терроризм	4 ÷ 8
П7	Утерянные источники ионизирующего излучения	4 ÷ 6
П8	Трансграничный перенос загрязняющих веществ на территорию Республики Беларусь воздушными и водными потоками, в том числе в аварийной ситуации	6 ÷ 11

Кроме того, были использованы адаптированные для целей ОРБ 4-х фазная структура модели безопасности и основные элементы управления рисками, которые предусматривают [1, 2, 3]:

I. Признание проблемы на научном и социальном уровне, оценка ее общественной значимости (элемент А: выделение проблемосодержащей области через обмен информацией и консультирование).

II. Формулирование политики радиационной безопасности (элемент В: установление контекста проблемы в части выбора объектов защиты и оценки их уязвимости, определения значимых для ОРБ источников угроз и рисков; элемент С: оценка рисков, включая квантификацию, идентификацию и категоризацию, а также анализ рисков (степени рисков) с последующей калибровкой диапазонов, систематическим ранжированием и оценкой неопределенностей; элемент D: выбор стратегии для обработки риска в сфере ОРБ).

III. Реализация политики радиационной безопасности (элемент Е: комплекс оперативных и долговременных мер по предупреждению и нейтрализации угроз и рисков в сфере радиационной безопасности).

IV. Оценка результатов настоящей и планируемой деятельности с использованием ядерной энергии и в ОРБ (элемент F: мониторинг результатов с анализом уязвимости объектов защиты).

При ранжировании угроз по степени риска *RR* (элемент С), был использован сценарный подход, который предполагает, что существуют как минимум три возможных варианта развития событий в сфере ОРБ: негативный – реалистичный – благоприятный, при этом на вербальном уровне можно принять, что верхняя граница диапазона *RR6* – Матрицы соотносится с негативным сценарием, а нижняя – с благоприятным [2].

Состав радиационной обстановки в окружающей среде и радиозоологические риски

В течение 80 лет (1945–2024 гг.) деятельность по использованию ядерной энергии в самых разнообразных целях стала неотъемлемой частью жизни человечества и оказывает масштабное воздействие на биосферу и техносферу, порождая новые виды угроз и рисков и меняя радиационную обстановку в окружающей среде.

С использованием логико-исторического анализа выделены шесть временных циклов, в пяти из которых возникали новые потенциальные или действующие источники угроз и рисков в сфере ОРБ, они представлены в виде таблицы 2.

Как показывает ретроспективный анализ состава радиационной обстановки, практическая реализация угроз с выбросом радиоактивных веществ в окружающую среду приводит к изменению состава радиационной обстановки в биосфере, при этом сам состав с каждым последующим циклом постоянно усложняется.

Особое значение имеет **нулевой** цикл как «эталонное» радиационное состояние, когда радиационная обстановка определяется только природным радиационным фоном (далее – ПРФ) и отсутствует радиоактивное загрязнение окружающей среды [4]. Важно принять во внимание, что ПРФ является эталоном в любом цикле, при этом «фоновое» загрязнение для каждого последующего цикла определяется составом радиационной обстановки предыдущего цикла. Так, например, для **первого** цикла радиационной обстановки, обусловленной радиоактивным глобальным «бомбовым» загрязнением, начиная с 1945 года фоном и эталоном является ПРФ, а для «чернобыльского» радиоактивного загрязнения (1986 г.) фоном является глобальное «бомбовое» загрязнение и ПРФ.

По состоянию на май 2024 года радиационная обстановка на территории Республики Беларусь имеет следующий состав: ПРФ, глобальное «бомбовое» загрязнение, локальные загрязнения от утерянных ИИИ, «чернобыльское» и «фукусимское» загрязнения (таблица 2).

Отметим, что радиационная обстановка меняется вследствие естественных процессов: радиоактивного распада радионуклидов и их миграции в биосфере, а также антропогенного вмешательства. Исходя из этого следует принять, что результаты мониторинга и прогноз радиационной обстановки в окружающей среде, а также результаты мониторинга чрезвычайных ситуаций должны учитываться при оценке и изучении динамики самой степени риска для последующего ранжирования.

Анализ во времени показывает, что число основных идентифицированных на сегодня в составе действующих угроз и рисков, важных для ОРБ Республики Беларусь, начиная с 1945 года постоянно увеличивается (1 → 5 → 6 → 6 → 7), возникают новые действующие угрозы, например, катастрофа на Чернобыльской АЭС или ввод в эксплуатацию Белорусской АЭС (таблица 2).

Состав угроз и рисков идентифицированных потенциальных угроз и рисков, известных сегодня, также увеличивается (6 → 6 → 6 → 8 → 8). В качестве примера отметим, что на первом, втором и третьем циклах среди источников угроз и рисков отсутствует П2 (например, хранилища РАО на промплощадке Игналинской АЭС в процессе вывода из эксплуатации) и П6 (радиологический/ядерный терроризм), эти риски появляются в четвертом цикле.

Следует обратить внимание, что эти экспертные оценки даются, исходя из оценки практики ОРБ, накопленной к 2024 году, однако важно отметить тенденцию – количество потенциальных угроз и рисков не уменьшается, и этот рост связан с расширением деятельности с использованием ядерной энергии. Кроме того, включение в анализ потенциальных рисков, идентифицированных по состоянию на 2024 год, позволяет провести научно обоснованный ретроспективный анализ эффективности деятельности в сфере ОРБ для выявления путей формирования, анализа и управления организационными рисками [2].

Таблица 2 – Динамика угроз и рисков в сфере ОРБ в Республике Беларусь и состав радиационной обстановки в окружающей среде (1945–2024 гг.)

Цикл / кол-во источников	Риски и угрозы		Временной период действия источника(ов) / появление нового источника	Составляющие радиационной обстановки
	действующие	потенциальные		
0	–	–	До 1945 г.	ПРФ
1 (1 + 6)	Д1	П1, П3, П4, П5, П7, П8	С 1945 г. по 1970 г.	ПРФ, глобальное (бомбовое) загрязнение
2 (5 + 6)	Д1 Д4, Д5, Д6, Д7	П1, П3, П4, П5, П7, П8	С 1970 г. по апрель 1986 г.	ПРФ, глобальное загрязнение, локальные загрязнения от утерянных ИИИ
3 (6 + 6)	Д1 Д4, Д5, Д6, Д7 Д2 (катастрофа на ЧАЭС)	П1, П3, П4, П5, П7, П8	1986 г. катастрофа на ЧАЭС	ПРФ, глобальное загрязнение, локальные загрязнения от утерянных ИИИ, «чернобыльское» загрязнение
4 (6 + 8)	Д1 Д4, Д5, Д6, Д7 Д2 (катастрофы на ЧАЭС и ФАЭС)	П1, П2, П3, П4, П5, П6, П7, П8	1986 – март 2011 г. катастрофа на Фукусимской АЭС	ПРФ, глобальное загрязнение, локальные загрязнения от утерянных ИИИ, «чернобыльское» и «фукусимское» загрязнения
5 (7 + 8)	Д1 Д2 (катастрофы на ЧАЭС и ФАЭС) Д3 Д4, Д5, Д6, Д7	П1, П2, П3, П4, П5, П6, П7, П8	2011–2024 гг. строительство и ввод в эксплуатацию Белорусской АЭС в 2020 году	ПРФ, глобальное загрязнение, локальные загрязнения от утерянных ИИИ, «чернобыльское» и «фукусимское» загрязнения

Как показано выше, при описании элемента (С) структуры модели безопасной деятельности одним из основных условий эффективного функционирования механизмов управления рисками в сфере ОРБ является системная оценка *RR* с последующим ранжированием идентифицированных действующих и потенциальных угроз рисков и оценкой их приемлемости.

Анализ динамики *RR* и приемлемости риска

В общепринятой практике управления рискам в качестве оценки приемлемости риска используется следующий подход: *RR* в диапазоне 0–4 означает «приемлемый» риск, в диапазоне 5–8 оценивается как «контролируемый» риск, в диапазоне 9–25 как «значимый» риск [1]. Однако для целей ОРБ целесообразно эти подходы представить более детально: диапазон «приемлемого» риска составит 0–4,9, «контролируемого» 5–8,9, «значимого» 9–25 и более. Введение такой детализации обусловлено тем, что, как показано в [2], шаг оценки рисков при минимальном воздействии составляет 1, что требует оценки *RR* с точностью до десятых долей. Результаты анализа приемлемости риска в различные временные периоды представлены в таблице 3.

Отметим, что в сфере ядерной и радиационной безопасности в качестве критерия приемлемости риска также используют понятие «вероятностные показатели безопасности объекта использования атомной энергии» (далее – ВПБ ОИАЭ), который применяется при

проектировании и эксплуатации самого ОИАЭ. Уровень безопасности ОИАЭ оценивается как приемлемый, если оцененные по результатам вероятностного анализа безопасности значения ВПБ не превышают установленные целевые значения. Согласно практике в сфере ядерной безопасности целевые значения приемлемого риска/ВПБ ОИАЭ можно определить как «оцененное с помощью вероятностного анализа безопасности значение вероятности предельного аварийного выброса находится в диапазоне $10^{-7} \div 10^{-5}$ на реактор в год» [5, 6]. Таким образом, по аналогии можно принять, что диапазон *RR* от 0 до 4,9 соответствует диапазону ВПБ ОИАЭ от 10^{-7} до 10^{-5} .

С применением логико-исторического подхода сценарным методом с использованием таблиц 1 и 2 был проведен ретроспективный анализ динамики *RR* действующих и потенциальных угроз и рисков в выделенных циклах и представлен на рисунках 1 и 2.

Ретроспективный анализ степени риска и практики управления рисками в сфере ОРБ для Республики Беларусь начнем с «нулевого» цикла, когда радиационная обстановка характеризуется только естественными источниками радиоактивности в окружающей среде, который может рассматриваться как эталонный/фоновый для первого цикла, когда негативное воздействие ничтожно даже в случае самого неблагоприятного сценария, связанного с природными рисками, поэтому $RR \leq 1$ (таблицы 1 и 2), риск оценивался как приемлемый (таблица 3), создания механизмов управления рисками для защиты населения не требовалось.

Таблица 3 – Степень приемлемости риска в различных временных циклах деятельности в сфере ОРБ в Республике Беларусь

Цикл / кол-во источников	Степень риска <i>RR</i> / приемлемость риска, источник риска		
	0–4,9 приемлемый	5–8,9 контролируемый	9–25 и более значимый
0	явного риска нет	–	–
1 (1 + 6)	Д1, П3, П4, П5, П7, П8	П1	–
2 (5 + 6)	Д1	Д4, Д5, Д6, Д7, П1, П3, П4, П5, П7, П8	–
3 (6 + 6)	Д1	Д4, Д5, Д6, Д7, П1, П3, П4, П5, П7, П8	Д2 (катастрофа на Чернобыльской АЭС)
4 (6 + 8)	Д1 Д2 (катастрофа на Фукусимской АЭС)	Д4, Д5, Д6, Д7, П1, П2, П3, П4, П5, П6, П7, П8	Д2 (катастрофа на Чернобыльской АЭС)
5 (7 + 8)	Д1 Д2 (катастрофа на Фукусимской АЭС)	Д4, Д5, Д6, Д7, П1, П2, П3, П4, П5, П6, П7, П8	Д2 (катастрофа на Чернобыльской АЭС) Д3 (Белорусская АЭС)

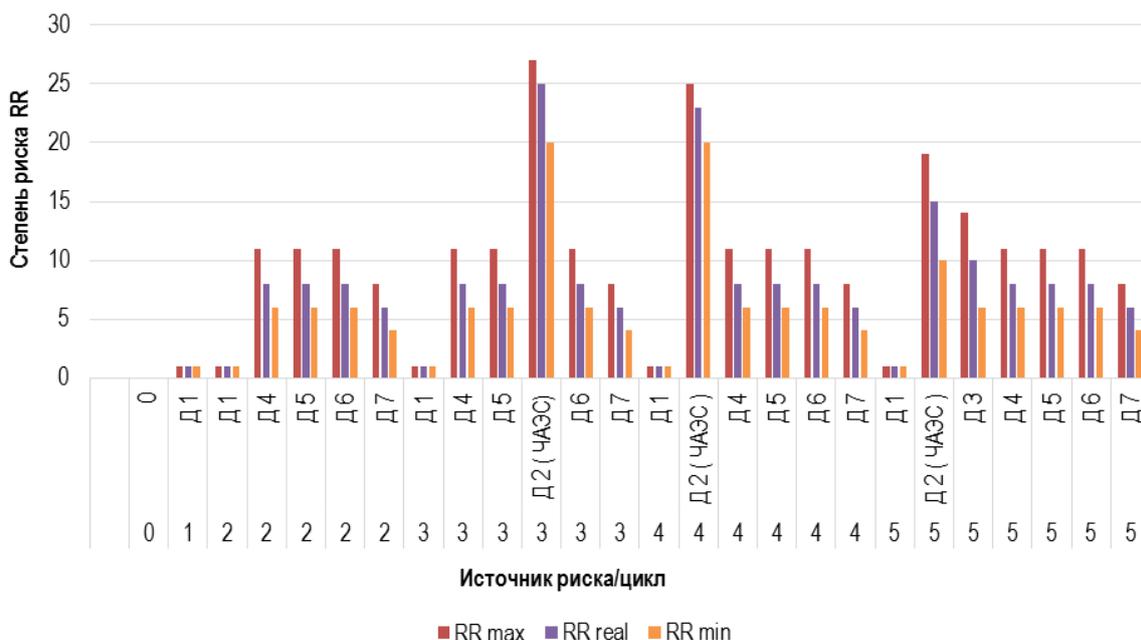


Рисунок 1 – Динамика степени идентифицированных действующих рисков (RR) для Республики Беларусь (1945–2024 гг.)

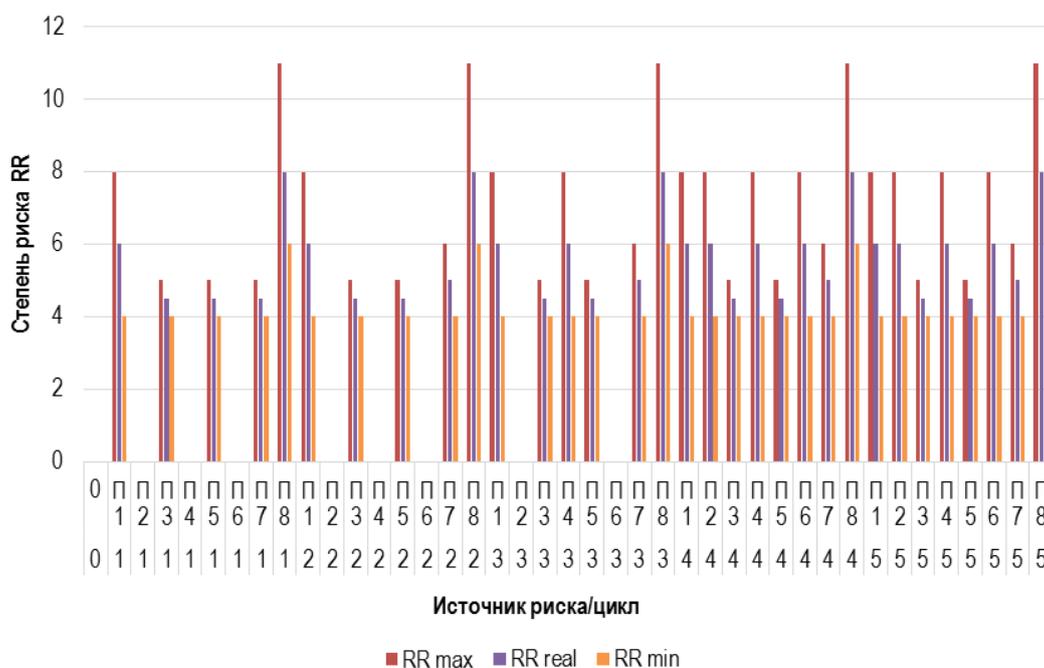


Рисунок 2 – Динамика степени идентифицированных потенциальных рисков (RR) для Республики Беларусь (1945–2024 гг.)

В первом цикле можно выделить один действующий и шесть потенциальных источников угроз и рисков (таблица 2), когда радиационная обстановка определялась глобальным радиоактивным загрязнением окружающей среды изотопами цезия-137, стронция-90 и изотопами плутония вследствие применения и испытаний ядерного оружия (Д1), RR оценивалась как ≤ 1 , иными словами, степень риска от этого источника была и остается «приемлемой» (таблица 3), поэтому необходимость в формировании механизмов управления риском от источника Д1 отсутствовала.

В этот период сформировалось загрязнение почвы радиоактивными изотопами цезия-137, стронция-90 и плутония, при этом по результатам измерений поверхностная активность цезия-137 на территории Европы составляла от 1 до 3,5 кБк/кв.м, в том числе для Беларуси 2 – 3,5 кБк/кв.м. Отметим, что это загрязнение, наряду с ПРФ, составляло радиационную обстановку в окружающей среде до

апреля 1986 года (таблицы 1, 2 и рисунок 3). В дальнейшем эти значения использовались как «фоновые» для оценки «чернобыльского» загрязнения [7].

Обратим внимание, что уже в первом цикле в составе потенциальных угроз П1 присутствовали планируемые к строительству в непосредственной близости от Беларуси четыре АЭС, среди которых – Чернобыльская АЭС, при этом RR можно было оценить в диапазоне $4 \div 8$, когда приемлемость риска изменяется от «приемлемого» до «контролируемого». Во втором цикле эти угрозы (Чернобыльская АЭС – 1977 г., Ровенская АЭС – 1980 г., Смоленская АЭС – 1982 г., Игналинская АЭС – 1983 г.) перешли из потенциальных в действующие (Д4) с RR $6 \div 11$, когда риск переходит в стадию «контролируемого», или в случае неблагоприятного сценария становится «значимым», как это реализовалось в случае катастрофы на Чернобыльской АЭС (рисунок 4 и таблица 3).

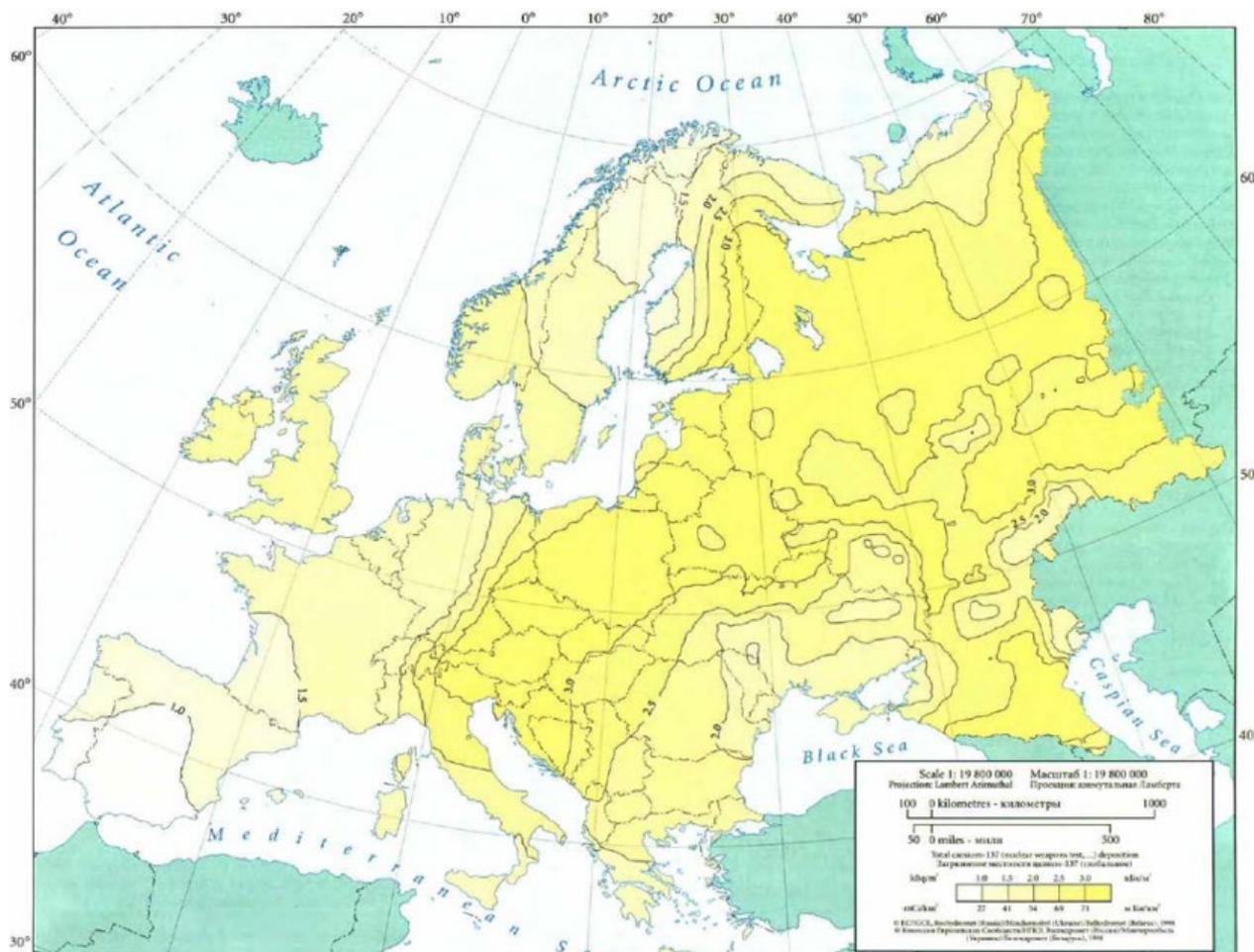


Рисунок 3 – Загрязнение Европы цезием-137 вследствие испытаний ядерного оружия в атмосфере (начало 1986 года) [7]

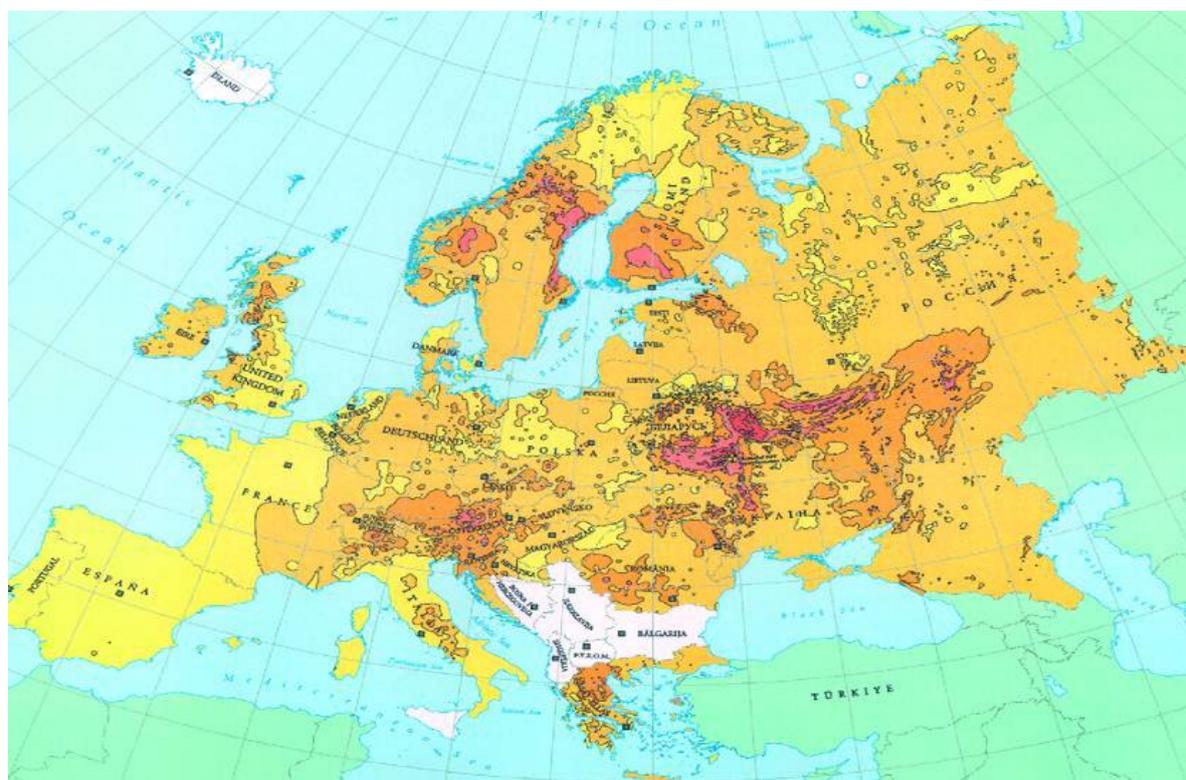


Рисунок 4 – Европейская карта загрязнения цезием-137 по состоянию на 10 мая 1986 года [7]

Кроме того, в связи с расширением деятельности с использованием ядерной энергии во **втором** цикле возникли новые действующие источники угроз и рисков (Д5, Д6, Д7), например, исследовательский ядерный реактор в институте ядерной энергетики (ныне ГНУ «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» НАН Беларуси), а также потенциальные (П1, П3, П4, П5, П7, П8), которые остаются актуальными в 2024 году и далее.

Однако отметим, что в **первом** и **втором** циклах механизмы управления рисками для этих угроз ограничивались только мерами ядерной и радиационной безопасности на самих объектах и прилегающих зонах (до 30-ти км), при этом угроза П8 (трансграничный перенос) полностью игнорировалась.

Таким образом, уже в **первом** и **втором** циклах (до апреля 1986 г.) сформировались организационные риски в виде отсутствия практики идентификации потенциальных и действующих угроз и рисков, а также отсутствия решений по созданию механизмов управления как прямыми радиологическими/радиозоологическими рисками, в том числе организации мониторинга и прогноза радиационной обстановки в окружающей среде как средства раннего оповещения и реагирования, так и организационными рисками, в том числе в виде программ по обеспечению ядерной безопасности с приемлемым уровнем риска в диапазоне $10^{-7} \div 10^{-5}$ (для оператора ОИАЭ).

После катастрофы на Чернобыльской АЭС в 1986 году (**третий** цикл) на территории Беларуси, Европы и всего Северного полушария появились новые действующие прямые радиологические / радиозоологические угрозы и риски (Д2), которые сформировали высокие уровни загрязнения в окружающей среде. Карта радиоактивного загрязнения цезием-137 территории Европы по состоянию на 10 мая 1986 г. представлена на рисунке 4 [7].

В целом по Европе уровни загрязнения почвы цезием-137 были сравнимы с глобальным «бомбовым» радиоактивным загрязнением и не превышали 185 кБк/кв.м, однако на территориях Беларуси, Украины и Российской Федерации эти уровни достигали 1 500 кБк/кв.м, а в зоне отчуждения и отселения, а также на расстоянии 200 км от эпицентра катастрофы на территории Чериковского района Могилевской области в Беларуси (д. Чудяны), достигали 18 500 кБк/кв.м и более (рисунок 4) [7]. Кроме того, на территориях Беларуси и Украины были отмечены высокие уровни загрязнения почвы стронцием-90 и долгоживущими изотопами плутония-238, 239, 240.

В первый период после катастрофы на Чернобыльской АЭС в 1986 г. из-за загрязнения окружающей среды территории Беларуси короткоживущими изотопами, в первую очередь, йода-131, 133, рутения-103, 106, бария-140, стронция-89 и др., а также средне- и долгоживущими изотопами цезия-134, 137, стронция-90 и изотопами плутония, *RR* можно оценить как «высокую» ($RR > 25$), а для территорий, непосредственно прилегающих к Чернобыльской АЭС, как «крайне высокую» ($RR \gg 25$) [4, 5, 8]. Степень приемлемости риска следует оценить как «значимые риски» (таблица 3). Однако в этот период отсутствовал эффективный механизм управления рисками с учетом их временной и пространственной динамики.

Из-за отсутствия таких механизмов и надежной информационной основы для принятия управленческих решений по обеспечению радиационной безопасности населения и территорий Республики Беларусь в первые часы и дни после начала катастрофы ущерб, в том числе социальные, не только не были минимизированы, но и существенно усугубились [9].

С одной стороны, организационные риски стали непосредственной причиной самой аварии: ошибки в планировании эксперимента, в управлении самим ОИАЭ, сознательные нарушения регламента эксплуатации действующего энергоблока, ошибки персонала и др. [10]. С другой стороны, реализация именно организационных рисков при формировании механизмов управления рисками и технических рисков на ОИАЭ в значительной степени предопределили беспрецедентный масштаб последствий катастрофы, в том числе социальных. Академик В. А. Легасов такие ситуации, когда системные ошибки и проблемы своевременно не выявляются, затем накапливаются и усугубляются в течение месяцев и лет, классифицировал как «ползучие катастрофы» [11].

¹ Предполагается, что чрезвычайные ситуации могут быть «обычные (быстрые)» (часы и дни) и «медленные (ползучие)» (от месяца до десятилетий) [11].

Системные ошибки формирования механизмов управления рисками, в том числе системы радиационного мониторинга окружающей среды, накопившиеся к апрелю 1986 года, не позволили заранее оценить возможные риски, уязвимость объектов защиты и потенциальные угрозы, а также подготовить прогноз радиационной обстановки в окружающей среде и оперативно оценить масштабы радиоактивного загрязнения при возникновении аварийной ситуации на Чернобыльской АЭС.

Это связано с тем, что из-за накопившихся организационных рисков система мониторинга и прогноза радиационной обстановки не была готова к реагированию на реализацию ранее уже известной прямой радиологической/радиозоологической угрозы – АЭС, находящейся в непосредственной близости от границы Беларуси. В более широком смысле можно говорить об отсутствии эффективных механизмов управления рисками в сфере ОРБ.

В Республике Беларусь до 26 апреля 1986 года действовала система мониторинга и прогноза радиационной обстановки в окружающей среде, предназначенная для обеспечения механизмов управления рисками, связанных с глобальным (бомбовым) радиоактивным загрязнением (источник Д1), когда измерения мощности дозы проводились раз в неделю (по средам) на 8-ми пунктах наблюдений, расстояния между которыми составляли более 100 км.

В этом случае система не могла обеспечить достижение своих системных целей – социально-приемлемый уровень радиационной безопасности настоящих и будущих поколений и окружающей среды в условиях новой действующей прямой радиологической угрозы – катастрофы на Чернобыльской АЭС (Д2), то есть система перестала быть эффективной.

Таким образом, в апреле 1986 года состав угроз и рисков в сфере ОРБ расширился от Д1 до Д1 + Д2 + П8, что обусловило возникновение радиозоологической проблемной ситуации в сфере ОРБ, а степень риска до апреля 1986 года могла быть оценена как минимум как «низкая» или «средняя» ($RR \div 11$). Однако вследствие того, что своевременно не были применены механизмы управления рисками, например «минимизация» риска за счет аварийного планирования и реализации мер в сфере ядерной безопасности на ОИАЭ, на практике степень риска достигла уровней «высокая» и «крайне высокая» ($RR = 25$ и более) [2].

Согласно общему алгоритму управления рисками радиационной безопасности актуальные оценки степени риска в сфере ОРБ для Республики Беларусь должны выполняться на систематической основе для выполнения анализа возможных вариантов снижения рисков (элемент D) и выполнения комплекса оперативных и долговременных мер по предупреждению и нейтрализации угроз и рисков радиационной безопасности (элемент E), что, как показывает практика, до начала Чернобыльской катастрофы и в первый период выполнено не было.

С точки зрения применения мета-, квази-, пред-, текущих и пост-оценок к деятельности в области ОРБ во время катастрофы на Чернобыльской АЭС и на последующих этапах, необходимо отметить, что корректировка политики и мер в этой области деятельности произошла достаточно быстро и в целом в настоящее время удовлетворяет текущие потребности, то есть систематически выполняется оценка результатов и корректировка комплекса мер, в том числе на основе мониторинга программ (элемент F).

В **четвертом** цикле в ситуации аварийного облучения *RR* от источника (Д2) можно оценить как «крайне высокую» ($20 \div 25$ баллов) и «высокую» ($15 \div 19$ баллов), в ситуации существующего облучения после 2024 года как «среднюю» ($10 \div 14$ баллов). Отметим, что даже при благоприятном сценарии приемлемость риска оценивается как «значимый» риск.

После катастрофы на Фукусимской АЭС в марте 2011 года появился новый действующий источник угроз и рисков в сфере ОРБ, имеющий глобальные масштабы. Однако для территории Европы и Беларуси его негативное воздействие на человека и объекты окружающей среды вследствие незначительного радиоактивного загрязнения атмосферы цезием-134, 137 и йодом-131, которое было зафиксировано в Беларуси в период 20–24 марта, оказалось несущественным/ничтожным (Д2) и степень риска может быть оценена как отсутствие «явных рисков» ($RR < 1$) [4].

К сожалению, анализ событий во время аварии на Фукусимской АЭС и на Чернобыльской АЭС (Д2) подтвердил, что неявно выраженные организационные риски значительным образом повлияли на

рост степени риска в целом от события и обусловили глобальный масштаб радиоактивного загрязнения окружающей среды, при этом понятно, что в Японии степень риска в 2011 году составляла $RR \gg 25$.

Отметим, что в четвертом цикле уже можно говорить о формировании системы управления рисками в сфере ОРБ. В этом цикле началась систематическая работа по идентификации угроз и рисков, например, действующие угрозы Д4 и потенциальная П2 были определены как важные для радиационной безопасности Республики Беларусь.

В настоящее время вокруг Беларуси на расстоянии до 100 км от границ страны находятся две действующие АЭС (75 и 65 км от границы). Кроме того, два ОИАЭ – Игналинская и Чернобыльская АЭС (4 км и 12 км от границы) находятся в стадии вывода из эксплуатации.

Дальнейший анализ действующих радиологических / радиозоологических угроз и рисков в четвертом и пятом циклах показывает, что для радиационной безопасности страны значительную опасность представляют АЭС как на территории Беларуси, так и вокруг ее границ (Д3) и (Д4) (рисунок 5).

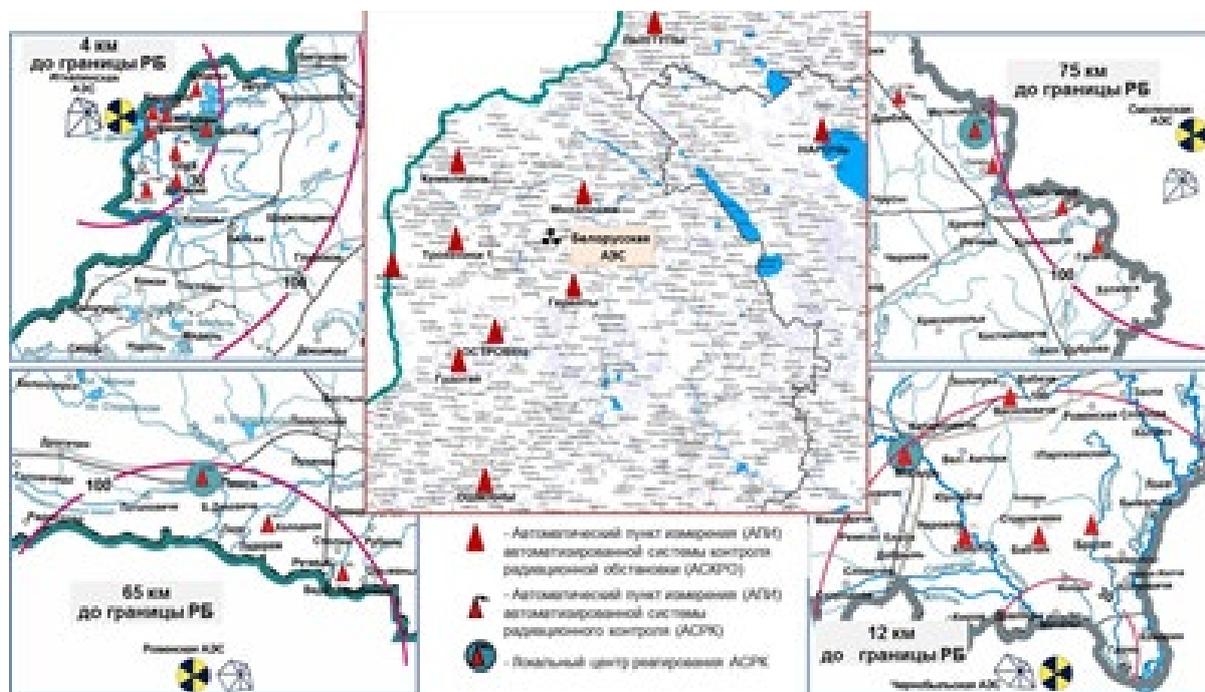


Рисунок 5 – Зоны влияния приграничных АЭС и Белорусской АЭС на территории Республики Беларусь и пункты АСКРО

В пятом цикле появляется еще один источник риска – введенная в эксплуатацию Белорусская АЭС, риск от которой может быть «значимым» при неблагоприятном сценарии ($RR = 14$) и контролируемым при реалистичном ($RR = 10$) и благоприятном сценариях ($RR = 6$), при этом механизмы управления рисками для этого источника были созданы еще в процессе строительства АЭС.

Как указано выше, один из важнейших элементов модели деятельности в сфере безопасности (Е) в комплексе оперативных и долгосрочных мер по предупреждению и нейтрализации угроз и рисков в сфере радиационной безопасности предусматривает эффективное функционирование системы мониторинга и прогноза радиационной обстановки, которая требует научных и организационных решений. Научные решения реализуются путем создания научно обоснованного аппарата оценки и прогнозирования радиационной обстановки в окружающей среде и эффективности системы мониторинга, организационные решения реализуются в виде программ радиационного мониторинга, в том числе программ аварийного реагирования с определением и обеспечением необходимых финансовых, технических и кадровых ресурсов.

В качестве одного из технических решений по оценке мощности полей ионизирующего излучения и наличия/отсутствия «свежих» продуктов деления в атмосферном воздухе и в целях раннего предупреждения об аварийном радиоактивном загрязнении/угрозе загрязнения в зонах влияния 5-ти АЭС развернуты системы автоматизированного контроля текущей радиационной обстановки (далее – АСКРО), как это показано на рисунке 5, которые позволяют обеспечить информационную поддержку для реализации стратегии обработки рисков от источников Д3 и Д4.

В зоне наблюдения Белорусской АЭС с 2014 года осуществляется мониторинг радиационной обстановки в окружающей среде. Результаты показывают, что радиационная обстановка соответствует радиаци-

онной обстановке, зафиксированной перед началом строительства, негативного воздействия АЭС на окружающую среду не отмечено [12]. В целях обеспечения аварийной готовности ежедневно рассчитывается прогноз изменения радиационной обстановки в окружающей среде на основании анализа текущей синоптической ситуации.

Для хранения РАО на каждом энергоблоке Белорусской АЭС предусмотрено специально оборудованное хранилище РАО. В соответствии со Стратегией обращения с радиоактивными отходами, утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 15.02.2023 № 128, высокоактивные РАО будут храниться на территории Белорусской АЭС в течение всего срока ее службы (60 лет), РАО с меньшей активностью будут храниться на территории Белорусской АЭС 10 лет с последующим их транспортированием и размещением в специальном пункте захоронения РАО (Д3, П1, П2, П3).

По состоянию на начало 2024 года самыми крупными ядерными объектами Республики Беларусь являются Белорусская АЭС (Д 3) и ГНУ «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» НАН Беларуси, на площадке которого действуют пять установок, которые являются источниками угроз и рисков в сфере ОРБ (Д 5): ядерно-физические комплексы «Гиацинт», «Кристалл», подкритический стенд «Яліна», хранилище свежего ядерного топлива «Явар», пункт хранения ядерных материалов» [Обзор ГАН – 2023].

Как источник прямых радиологических/радиозоологических угроз рисков требует особого внимания расположенное в центре страны УП «Экорес» (Д5), в составе которого с 1963 года действует специализированное предприятие по обращению с РАО, образовавшиеся в результате деятельности медицинских, научных, промышленных предприятий и учреждений. В 2022 году на долговременное хранение было принято 673 кг РАО и 484 отработавших закрытых радионуклидных ИИИ, общей суммарной активностью $1,08 \cdot 10^{16}$ Бк,

в 2023 году предприятие приняло на долговременное хранение 4038 кг РАО, суммарной активностью $1,47 \cdot 10^{13}$ Бк и 2040 отработавших свой ресурс закрытых радионуклидных ИИИ, общей суммарной активностью $4,24 \cdot 10^{15}$ Бк [12, 13].

Кроме того, согласно [12] по состоянию на 31 декабря 2022 г. под надзором государственного регулятора в сфере ядерной и радиационной безопасности – Департамента по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, находятся 1855 субъектов экономики, которые используют в своей деятельности 24 674 ИИИ (Д6).

При соблюдении всех требований радиационной безопасности при действующих угрозах (Д3, 4, 5, 6) вероятность аварийных событий может быть оценена как «маловероятные», а даже «маловероятные» события в сочетании с возможным «высоким» воздействием создают степень риска, оцениваемую как «низкую». При этом в случае, если событие на каком-либо из указанных ОИАЭ становится «достаточно вероятным», степень риска достигает «среднего» уровня, а при «вполне вероятном» событии степень риска может стать «высокой».

В практике ОРБ проблемы с утерянными источниками ионизирующего излучения Д7, как и проблемы, связанные с угрозами и рисками радиологического/ядерного терроризма, с одной стороны могут быть расценены как потенциальные, когда неизвестно время и место реализации угрозы (П6, П7), однако в случае, когда угроза становится действующей, например, обнаруживаются ранее утерянные ИИИ (Д7), требуется реализация защитных мероприятий, которые должны быть предусмотрены в составе механизмов управления рисками. Так, по данным ежегодных Обзоров состояния ядерной и радиационной безопасности в Республике Беларусь, представляемых Департаментом по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, в 2022 году было зарегистрировано четыре случая, связанных с обнаружением утерянных радиоактивных источников и иными радиационными инцидентами, в 2021 – два, в 2020 – пять, в 2019 – десять, в 2018 году – пять. При этом степень риска может изменять в диапазоне от «низкой» до «высокой».

Ранжирование актуальных радиозокологических рисков

Исходя из требований элемента (С) модели деятельности в сфере безопасности, выполнено ранжирование актуальных идентифицированных действующих и потенциальных угроз и рисков по степени риска (RR) для Республики Беларусь (рисунки 1, 2 и 6).

По состоянию на 2024 год для Республики Беларусь из 15 идентифицированных основных источников угроз и рисков в сфере ОРБ на первом месте остаются последствия катастрофы на Чернобыльской АЭС (Д2), максимальная степень риска этой угрозы на 2024 год может достигать $RR = 19$ (рисунок 6).

Это обусловлено тем, что, во-первых, действующий источник (радиоактивное загрязнение окружающей среды) уже оказал «крайне высокое» и «высокое» воздействие на объекты защиты (человек и окружающая среда), под его негативное воздействие попали 23 % территории страны, где проживало более одного миллиона жителей, и в настоящее время продолжает быть действующим источником. Во-вторых, по результатам мониторинга и прогноза радиационной обстановки в окружающей среде, в Республике Беларусь «чернобыльское» загрязнение в разной степени будет продолжать воздействовать на человека и окружающую среду в течение ближайших столетий [14].

Радиационная обстановка в окружающей среде в целом, исключая территории, где присутствует радиоактивное загрязнение трансураниевыми элементами, будет постепенно улучшаться, реализация государственных программ по минимизации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС будет обеспечивать социально приемлемый уровень радиационной безопасности человека, что позволяет рассматривать реалистичный и в будущем благоприятный сценарий, при реалистичном сценарии $RR = 15$, при благоприятном $RR = 10$, однако даже в этом случае риск оценивается как «значимый».

Вторым по значимости является источник Д3 – Белорусская АЭС и радиационно-опасные объекты, находящиеся на ее площадке, в том числе объекты по обращению с РАО. Для Белорусской АЭС при негативном сценарии RR может достигать 14 («значимый» риск), при реалистичном 10 («значимый риск»), при благоприятном (при выполнении всех требований безопасности) – 6 («контролируемый» риск).

При рассмотрении благоприятного сценария, все риски, за исключением П8 (трансграничный перенос загрязняющих веществ на территорию Беларуси), могут быть отнесены к «приемлемым» (RR изменяется от 0 до 4), а риски от П8 – к «контролируемым» ($RR = 6$). В случае реалистичного сценария риски от источников П1, П2, П4, П6, П7 и П8 оцениваются как «контролируемые» (RR изменяется от 6 до 8), остальные (П3, П5) оцениваются как «приемлемые» ($RR = 4,5$). В случае реализации неблагоприятного сценария риски от источника П8 могут быть оценены как «значимые» ($RR = 11$), остальные идентифицированные риски относятся к «контролируемым» (RR изменяется от 5 до 8).

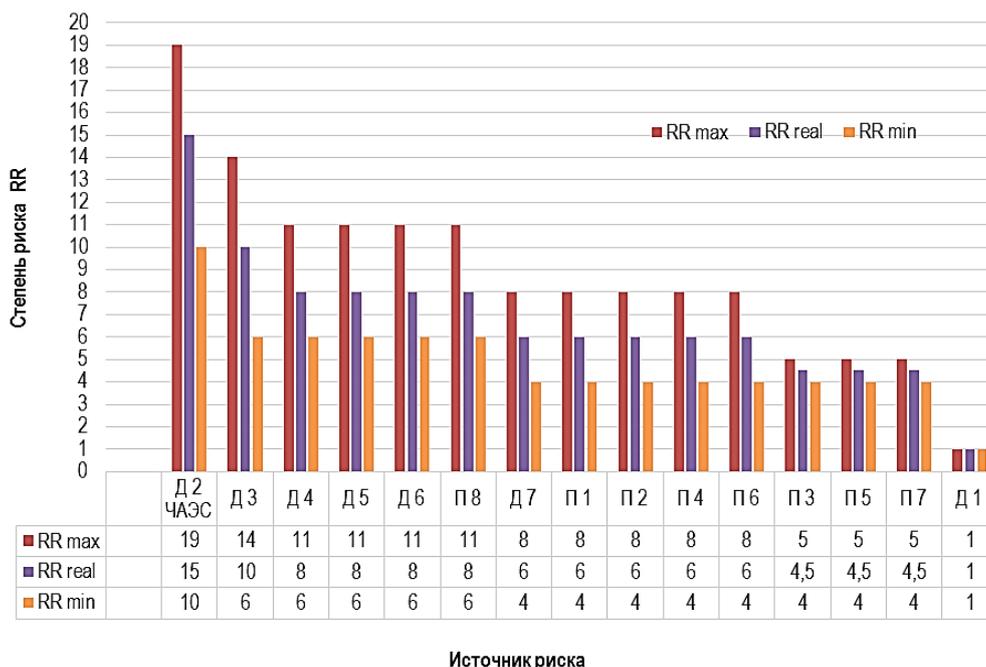


Рисунок 6 – Ранжирование действующих и потенциальных угроз и рисков по степени риска (RR) для Республики Беларусь по состоянию на 2024 год

Работа выполнена в рамках задания НИР 1 «Оценка и прогноз радиоактивного загрязнения окружающей среды вокруг радиационно опасных объектов на основе экспериментальных и расчетных методов (моделирование)» в рамках задания 3.05 «Развитие информационного и методического обеспечения мониторинга, аудита, сертификации и реабилитации природно-территориальных комплексов», №ГР2021720 подпрограммы «Радиация и биологические системы» ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 годы.

Заключение

На основании изучения динамики угроз и рисков выделены и описаны шесть временных циклов, наиболее значимых для ОРБ в Республике Беларусь, выполнена оценка степени и приемлемости риска в каждом цикле.

Для каждого из выделенных временных циклов изучен и описан состав радиационной обстановки, показано, что состав непрерывно расширяется и усложняется, при этом для каждого последующего этапа предыдущая радиационная обстановка является «фоновой», ПРФ является эталоном радиационной обстановки для любого цикла.

С использованием логико-исторического анализа деятельности в сфере ОРБ в период 1945 – 2024 гг. для Республики Беларусь выявлена прямая зависимость между числом идентифицированных действующих и потенциальных рисков в сфере ОРБ (7 → 11 → 12 → 14 → 15) и степенью их воздействия RR (от ≤ 1 до 25 и более) и обратная зависимость между числом угроз и приемлемостью риска для общества: явного риска нет → приемлемый риск (до 1977 г.) → контролируемый риск (1970–1986 гг.) → значимый риск (1986–2024 гг.).

Показано, что для Республики Беларусь риски в сфере ОРБ можно оценивать как «приемлемые» только до 70-х годов прошлого столетия, в последующих циклах риски могут быть оценены как «контролируемые», затем «значимые» и требуют формирования эффективных механизмов управления радиологическими / радиоэкологическими рисками.

Анализ практики ОРБ показал, что сочетание организационных и технических рисков на ОИАЭ в отсутствие механизма управления ядерными и радиационными/радиоэкологическими рисками привели к катастрофе на Чернобыльской АЭС и беспрецедентному по своим масштабам радиоактивному загрязнению биосферы Северного полушария планеты.

Катастрофа на Чернобыльской АЭС и масштаб ее последствий для населения, окружающей среды и экономики явилась следствием «ползучей катастрофы», которая развивалась в течение десятилетий и имеет долгосрочные последствия уже в XXI веке.

Ранжирование актуальных на 2024 год основных угроз и рисков в сфере ОРБ показывает, с 1986 года катастрофа на Чернобыльской АЭС вплоть до настоящего времени и, вероятно, на ближайшие десятилетия представляет наиболее масштабную по своему воздействию угрозу радиационной безопасности населению и окружающей среде Республики Беларусь, максимальная степень риска этой угрозы достигает $RR = 19$ и относится к категории «значительных» рисков.

На втором месте находится Белорусская АЭС, в случае неблагоприятного сценария максимальная степень риска RR может достигнуть 14 («значимый» риск), при самом благоприятном – 6 («контролируемый» риск). Из иных выделенных 15-ти основных источников угроз и рисков, важных для ОРБ Республики Беларусь, при неблагоприятных сценариях могут быть оценены как «значимые» риски, в их числе ОИАЭ в стране и АЭС вокруг границ Беларуси, ИИИ, трансграничный перенос радиоактивных веществ, остальные угрозы и риски, за исключением глобального бомбового загрязнения, могут быть отнесены к «контролируемым» рискам.

Таким образом, для реализации политики радиационной безопасности человека и окружающей среды в Республике Беларусь на социально-приемлемом уровне, механизмы управления радиологическими/радиоэкологическими рисками в составе комплекса оперативных и долговременных мер по предупреждению и нейтрализации угроз и рисков должны на системной основе учитывать динамику состава радиационной обстановки в окружающей среде и результаты ранжирования идентифицированных действующих и потенциальных рисков в сфере ОРБ. При этом одним из ключевых элементов механизмов управления рисками является мониторинг и прогноз радиационной обстановки в окружающей среде при различном составе угроз и рисков.

Список цитированных источников

1. Менеджмент риска. Техники оценки риска : СТБ IEC 31010-2022. – Введ. 01.08.2023. – Минск : Госстандарт, 2023. – 116 с.
2. Герменчук, М. Г. Основные механизмы управления рисками в сфере радиационной безопасности и мониторинг окружающей среды / М. Г. Герменчук, Н. Н. Цыбулько // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2024. – № 1 (133). – С. 160–168. – <https://doi.org/10.36773/1818-1112-2024-133-1-160-168>.
3. Руководящие принципы мониторинга и оценки трансграничных озер. Рабочая группа Европейской экономической комиссии по мониторингу и оценке [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://unece.org/DAM/env/water/publications/assessment/Lakesguidelines_A_B_russian.pdf. – Дата доступа: 15.02.2024.
4. Герменчук, М. Г. Радиационный мониторинг окружающей среды: учебное пособие / М. Г. Герменчук. – Минск : Высшая школа, 2021. – 278 с.
5. Герменчук, М. Г., Научные основы радиационного мониторинга окружающей среды и роль гидрометеорологической службы в его организации на примере катастрофы на ЧАЭС / М. Г. Герменчук, О. М. Жукова // Экологический вестник. – Минск : МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ. – 2014. – № 4. – С. 12–25.
6. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций (ОПБ-88/97). НП-001-97 (Утв. постановлением Госатомнадзора России от 14 ноября 1997 г. № 9) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=97305>. – Дата доступа 30.05.2024.
7. Атлас загрязнения Европы цезием после Чернобыльской аварии: сборник карт / М. Г. Герменчук [и др.] ; под общ. ред. Ю. А. Израэля. – Люксембург : Люксембургское бюро для официальных изданий европейских сообществ, 1998. – 65 с.
8. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси: сборник карт / М. Г. Герменчук [и др.] ; под ред. Ю. А. Израэля, И. М. Богдевича. – Минск : Белкартография, 2009. – 135 с.
9. Герменчук, М. Г. Управление системой радиационного мониторинга окружающей среды : учебно-методическое пособие / М. Г. Герменчук. – Минск, 2018. – 121 с.
10. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры / Р. М. Алексахин [и др.] ; под общ. ред. Л. А. Ильина, В. А. Губанова. – М. : ИздАТ, 2001. – 752 с.
11. Авдоткин, В. П. Оценка ущерба от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: монография / В. П. Авдоткин, М. М. Дзыбов, К. П. Самсонов. – М. : ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2012. – 468 с.
12. Обзор состояния радиационной безопасности в Республике Беларусь за 2023 год / Департамент по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь. – Минск : Ковчег, 2024. – 110 с.
13. Обзор состояния ядерной и радиационной безопасности в Республике Беларусь за 2022 год [Электронный ресурс] / Департамент по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь. – Режим доступа: https://gosatomnadzor.mchs.gov.by/upload/iblock/ff6/dfjims13b2tgwl9jkr2j1bw61tuosq/OBZOR_final.pdf. – Дата доступа: 27.05.2024.
14. Герменчук, М. Г. Ретроспективная оценка и моделирование радиоактивного загрязнения территории Республики Беларусь в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС / М. Г. Герменчук, В. В. Журавков // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. – 2022. – № 1. – С. 56–67.

References

1. Menedzhment riska. Tekhniki ocenki riska : STB IEC 31010-2022. – Vved. 01.08.2023. – Minsk : Gosstandart, 2023. – 116 s.
2. Germenchuk, M. G. Osnovnyye mekhanizmy upravleniya riskami v sfere radiacionnoy bezopasnosti i monitoring okruzhayushchej sredy / M. G. Germenchuk, N. N. Cybul'ko // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2024. – № 1 (133). – S. 160–168. – <https://doi.org/10.36773/1818-1112-2024-133-1-160-168>.

3. Rukovodyashchie principy monitoringa i ocenki transgranichnyh ozer. Rabochaya grupa Evropejskoj ekonomicheskoj komissii po monitoringu i ocenke [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: https://unece.org/DAM/env/water/publications/assessment/Lakesguidelines_A_B_russian.pdf. – Data dostupa: 15.02.2024.
4. Germenchuk, M. G. Radiacionnyj monitoring okruzhayushchej sredy: uchebnoe posobie / M. G. Germenchuk. – Minsk : Vyshejschaya shkola, 2021. – 278 s.
5. Germenchuk, M. G., Nauchnye osnovy radiacionnogo monitoringa okruzhayushchej sredy i rol' gidrometeorologicheskoy sluzhby v ego organizacii na primere katastrofy na CHAES / M. G. Germenchuk, O. M. Zhukova // Ekologicheskij vestnik. – Minsk : MGEI im. A. D. Saharova BGU. – 2014. – № 4. – S. 12–25.
6. Obshchie polozheniya obespecheniya bezopasnosti atomnyh stancij (OPB-88/97). NP-001-97 (Utv. postanovleniem Gosatomnadzora Rossii ot 14 noyabrya 1997 g. № 9) [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=97305>. – Data dostupa 30.05.2024.
7. Atlas zagryazneniya Evropy ceziem posle CHernobyl'skoj avarii: sbornik kart / M. G. Germenchuk [i dr.]; pod obshch. red. YU. A. Izraelya. – Lyuksemburg : Lyuksemburgskoe byuro dlya oficial'nyh izdaniy evropejskih soobshchestv, 1998. – 65 s.
8. Atlas sovremennyh i prognoznyh aspektov posledstvij avarii CHernobyl'skoj AES na postradavshih territoriyah Rossii i Belarusi: sbornik kart / M. G. Germenchuk [i dr.]; pod red. YU. A. Izraelya, I. M. Bogdevicha. – Minsk : Belkartografiya, 2009. – 135 s.
9. Germenchuk, M. G. Upravlenie sistemoy radiacionnogo monitoringa okruzhayushchej sredy : uchebno-metodicheskoe posobie / M. G. Germenchuk. – Minsk, 2018. – 121 c.
10. Krupnye radiacionnye avarii: posledstviya i zashchitnye mery / R. M. Aleksahin [i dr.]; pod obshch. red. L. A. Il'ina, V. A. Gubanova. – M. : Izdat, 2001. – 752 s.
11. Avdot'in, V. P. Ocenka ushcherba ot chrezvychajnyh situacij prirodnoho i tekhnogennogo haraktera: monografiya / V. P. Avdot'in, M. M. Dzybov, K. P. Samsonov. – M. : FGBU VNII GOCHS (FC), 2012. – 468 s.
12. Obzor sostoyaniya radiacionnoj bezopasnosti v Respublike Belarus' za 2023 god / Departament po yadernoj i radiacionnoj bezopasnosti Ministerstva po chrezvychajnym situacijam Respubliki Belarus'. – Minsk : Kovcheg, 2024. – 110 c.
13. Obzor sostoyaniya yadernoj i radiacionnoj bezopasnosti v Respublike Belarus' za 2022 god [Elektronnyj resurs] / Departament po yadernoj i radiacionnoj bezopasnosti Ministerstva po chrezvychajnym situacijam Respubliki Belarus'. – Rezhim dostupa: https://gosatomnadzor.mchs.gov.by/upload/iblock/ff6/dfjims13b2tgwl9jjkrc2j1bw61tuosq/OBZOR_final.pdf. – Data dostupa: 27.05.2024.
14. Germenchuk, M. G. Retrospektivnaya ocenka i modelirovanie radioaktivnogo zagryazneniya territorii Respubliki Belarus' v rezul'tate katastrofy na CHernobyl'skoj AES / M. G. Germenchuk, V. V. Zhuravkov // Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya. – 2022. – № 1. – S. 56–67.

Материал поступил 06.06.2024, одобрен 20.06.2024, принят к публикации 25.06.2024

ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ПРИ ВЫБОРЕ ТЕХНОЛОГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

В. О. Китиков¹, И. И. Полоз², А. И. Чухольский³

¹ Д. т. н., профессор, директор ГНУ «Институт жилищно-коммунального хозяйства Национальной академии наук Беларуси», Минск, Беларусь, e-mail: institut-gkh@mail.ru

² К. с.-х. н., доцент, учёный секретарь ГНУ «Институт жилищно-коммунального хозяйства Национальной академии наук Беларуси», Минск, Беларусь, e-mail: uira@list.ru

³ Аспирант, научный сотрудник ГНУ «Институт жилищно-коммунального хозяйства Национальной академии наук Беларуси», Минск, Беларусь, e-mail: antonchuholskiy@gmail.com

Реферат

В статье представлены критерии и их весовые коэффициенты для выбора оптимальной технологии использования осадков сточных вод. Применение данных критериев позволяет объективно оценить различные варианты технологий, учесть специфику местных условий и требований, минимизировать риски для окружающей среды и здоровья людей, оптимизировать затраты и повысить эффективность процесса. Наиболее приоритетными является группа экологических критериев, однако комплексный подход, учитывающий все критерии одновременно, позволяет создать устойчивую и долгосрочную стратегию управления осадком.

Ключевые слова: осадки сточных вод, критерии, технология, метод анализа.

JUSTIFICATION OF CRITERIA FOR SELECTING WASTEWATER SLUDGE UTILIZATION TECHNOLOGY

V. O Kitikau, I. I. Poloz, A. I. Chuholsky

Abstract

This article presents criteria and their weighting coefficients for selecting the optimal technology for using wastewater sludge. Applying these criteria allows for an objective evaluation of different technology options, considering the specifics of local conditions and requirements, minimizing risks to the environment and human health, optimizing costs, and enhancing process efficiency. The group of ecological criteria holds the highest priority. However, a comprehensive approach that considers all criteria simultaneously allows for the creation of a sustainable and long-term strategy for sludge management.

Keywords: wastewater sludge, criteria, technology, analysis method.

Введение

Осадки сточных вод (далее – ОСВ) являются побочным продуктом очистки сточных вод, представляя собой сложную смесь органических и неорганических веществ. Их объемы непрерывно возрастают, создавая серьезные проблемы для окружающей среды и требуя эффективных и безопасных методов утилизации. Традиционный метод утилизации ОСВ – депонирование в местах хранения (на иловых площадках) оказывает различное негативное воздействие на окружающую среду и здоровье человека. Это загрязнение почвы и грунтовых вод тяжёлыми металлами и другими токсичными веществами, неприятный запах, распространение болезнетворных бактерий, а также выбросы вредных веществ в атмосферу [1].

Поиск альтернативных, более экологических и экономически выгодных методов утилизации ОСВ является актуальной задачей современного мира. Существующие технологии утилизации ОСВ включают в себя компостирование, анаэробное сбраживание, термофильное сбраживание, пиролиз и использование ОСВ в качестве компонента при создании строительных материалов. Выбор метода утилизации ОСВ должен быть направлен на обеспечение экологической безопасности, экономической целесообразности и социальной ответственности. Однако следует отметить, что выбор оптимальной технологии зависит от множества факторов, включая физические и химические свойства и биологический состав ОСВ, экономические, экологические, технические и социальные аспекты, а также законодательные требования.

В связи с этим целью работы является определение и обоснование критериев выбора оптимальной технологии утилизации или использования ОСВ.

Материалы и методы исследования

Обоснование критериев выбора технологии использования ОСВ включает в себя комплексный анализ, сочетающий в себе методы аналитического обзора, сравнительного анализа и статистического моделирования. Для ранжирования критериев выбора технологии утилизации ОСВ по степени их значимости применен метод анализа

иерархий (далее – АНР), включающий определение цели исследования, создание иерархии, разработку иерархической структуры, парное сравнение, расчет весовых коэффициентов для каждого критерия, синтез оценок, проверку согласованности, что позволяет оценить вклад каждого критерия в общее решение при выборе технологии использования или утилизации ОСВ.

Применение метода анализа иерархий для ранжирования критериев выбора технологии использования осадков сточных вод

Состав и свойства ОСВ являются ключевым фактором для обоснования критериев выбора технологии их использования или утилизации, так как они определяют, какая технология переработки будет наиболее эффективна в конкретных условиях, а также безопасна для окружающей среды.

Существует несколько классификаций ОСВ: по происхождению, по составу, по влажности, по степени токсичности [2].

По происхождению ОСВ разделяются на бытовые и промышленные [3]. Бытовые ОСВ образуются на коммунальных очистных сооружениях и характеризуются высоким содержанием органического вещества (45–58 %), а также низким содержанием неорганической составляющей [4].

Промышленные ОСВ образуются на локальных очистных сооружениях производственных предприятий. Их состав может значительно варьировать в зависимости от вида промышленности и технологических процессов, применяемых на предприятии. Промышленные осадки могут содержать высокие концентрации тяжёлых металлов, органических растворителей и других опасных соединений [5].

В зависимости от состава ОСВ делят на минеральные и органические [1]. Минеральные осадки в основном состоят из неорганических веществ, таких как песок, глина, металлы и соли. Они образуются в процессе очистки сточных вод от взвешенных частиц и растворенных неорганических соединений. Минеральные осадки характеризуются низким содержанием органических веществ и высокой плотностью.

Органические осадки в основном состоят из органических веществ, таких как бактерии, водоросли, остатки растений и животных. Они образуются в процессе биологической очистки сточных вод. Органические осадки характеризуются высоким содержанием органических веществ и низкой плотностью.

В соответствии с классификацией, основанной на степени влажности, твердые отходы ОСВ делятся на четыре основных типа: сырые, уплотненные, обезвоженные и сухие [6].

Сырые осадки, характеризующиеся влажностью свыше 90 %, представляют собой рыхлую, низкоплотную массу, требующую предварительного обезвоживания перед дальнейшей утилизацией или переработкой.

Уплотненные осадки, полученные путем сгущения до предела текучести, обладают влажностью в диапазоне 85–90 %. Обезвоженные осадки с влажностью 40–80 % отличаются повышенной плотностью по сравнению с сырыми и уплотненными ОСВ и могут служить в качестве компонента сырья для переработки, например в процессах компостирования или анаэробного сбраживания.

Сухие ОСВ, полученные в результате термической сушки до влажности 5–40 %, отличаются высокой плотностью и могут использоваться в качестве топлива при пиролизе или как компонент при производстве строительных материалов.

В зависимости от применяемых технологий очистки сточных вод ОСВ делятся на первичные осадки, избыточный активный ил, биомассу с биофильтров, ОСВ после анаэробных процессов [6].

Первичные осадки (сырые) образуются в первичных отстойниках и содержат в основном взвешенные органические вещества, могут характеризоваться высокой влажностью (90–95 %) и низкой плотностью (1–1,5 г/см³).

Избыточный активный ил образуется в процессе биологической очистки сточных вод и содержит активный ил, который не участвует в процессе очистки. Он характеризуется высоким содержанием органических веществ (70–85 %) и низким содержанием неорганической составляющей (15–30 %). Биомасса биофильтров образуется в биофильтрах и содержит биопленку, которая формируется на поверхности фильтрующего материала, характеризуется высоким содержанием органических веществ (70–90 %) и низким содержанием неорганических (10–30 %).

Осадки после анаэробных процессов (дигестат) образуются в анаэробных реакторах и содержат остатки органического материала после анаэробного сбраживания. Они характеризуются высоким содержанием органических веществ (50–70 %) и низким содержанием минеральной составляющей (30–50 %), имеют мелкую и однородную структуру, цвет – почти черный или темно-серый. Отличаются высокой текучестью, выделяют запах сургуча или асфальта.

Степень токсичности ОСВ определяется согласно классификатору отходов, образующихся в Республике Беларусь. Согласно классификатору все ОСВ относятся к опасным отходам третьего (отбросы с решеток, осадки сооружений биологической очистки хозяйственно-фекальных сточных вод и осадок сухой (подвергнутый термической или иной сушке) и четвертого (ил активный очистных сооружений, песок из песколовков (минеральный осадок) и осадки сетей хозяйственно-фекальной канализации) классов опасности [7].

Для обоснования критериев выбора оптимальной технологии необходимо провести тщательный анализ наиболее распространенных технологий использования и утилизации ОСВ с выявлением их преимуществ и недостатков.

В последнее десятилетие компостирование является распространенным методом использования ОСВ во многих странах мира, особенно в тех, где сохраняется высокий спрос на удобрения, применяемые в сельском хозяйстве. Компостирование является биологическим процессом, при котором органические вещества в ОСВ разлагаются микроорганизмами в присутствии кислорода с образованием стабилизированного продукта – компоста [8]. Компост может использоваться в качестве удобрения, почвогрунта или субстрата.

В Европейском союзе (далее – ЕС) компостирование является одним из традиционных методов использования ОСВ, особенно в Болгарии, Хорватии, Литве, Кипре, Люксембурге. Помимо стран ЕС компостирование ОСВ применяется в США, Канаде, Австралии, Китае и России [9–12]. В Республике Беларусь компостирование ОСВ не так распространено и применяется на одном предприятии УП Витебскоблводоканал филиал Витебскоблводоканал.

Преимуществами технологии компостирования ОСВ можно отметить высокую эффективность в уничтожении патогенных микроорганизмов; возможность получения ценных продуктов (удобрений, почвогрунтов, субстратов); сокращение объемов депонированных ОСВ; относительно низкие затраты [1].

Недостатками являются: относительно долгое время компостирования; требование специфических условий для осуществления процесса компостирования (в нашей стране процесс компостирования можно осуществлять только весной, летом и осенью, а в зимние месяцы компостирование неэффективно); необходимость контроля над содержанием тяжелых металлов и патогенных микроорганизмов.

В качестве сырья для компостирования подходят нетоксичные, обезвоженные ОСВ с высокой степенью содержания органических веществ. Хотелось бы отметить, что в Республике Беларусь не существует стандартов, которые бы нормировали содержание тяжелых металлов и других токсичных веществ в составе ОСВ, используемых как компонент сырья при организации технологического процесса производства компоста и этот вопрос остаётся актуальным.

Анаэробное сбраживание представляет собой биологический процесс, при котором органические вещества в ОСВ разлагаются в отсутствие кислорода с образованием биогаза и твердого остатка – дигестата. Биогаз может использоваться в качестве топлива для получения электрической энергии, а в некоторых странах применяется в качестве удобрения.

Анаэробное сбраживание широко применяется по всему миру [13]. В Республике Беларусь анаэробное сбраживание ОСВ применяется на таких предприятиях, как Слонимский водоканал, Барановичский водоканал и Брестский водоканал. Анаэробный процесс сбраживания может протекать как при мезофильных (около 35–40 °С), так и при термофильных (53–57 °С) температурах [14]. В основном применяются процессы сбраживания при мезофильных условиях.

Тип ОСВ, которые бы подходили в качестве сырья при анаэробном сбраживании, может отличаться в зависимости от применяемого технологического процесса и оборудования. Так, на биогазовом комплексе Слонимского водоканала используются ОСВ (сырой осадок, избыточный активный ил и сопутствующие органические материалы) с содержанием твердых веществ в составе от 0,9 % до 3,0 %, в последующем данные отходы проходят стадию сгущения до концентрации твердых веществ не более 5,0 % [15].

ОСВ, задействованные в технологическом цикле анаэробного сбраживания, являются органическими с содержанием органического вещества от 72,5 % до 83 % [15]. Распад 50 % органического вещества считается показателем эффективной работы биогазового комплекса [14]. В органическом веществе основную часть (до 80 %) составляют жиры, белки и углеводы. Именно за счет их распада образуется все количество выделяющегося биогаза, в том числе 60–65 % – за счет распада жиров, остальные 35–40 % приходятся примерно поровну на долю углеводов и белков. Отсюда следует, что при сбраживании осадков первичных отстойников, содержащих больше жиров, образуется больше газа, чем при сбраживании активного ила, в котором больше белков [14].

Преимуществами анаэробного сбраживания ОСВ являются экологичность данной технологии и получение продукта – биогаза. Недостатками являются сравнительно высокие затраты на организацию производства; высокие эксплуатационные затраты; высокая зависимость от качества поступающего сырья; высокая стоимость транспортировки получаемого биогаза (поэтому обычно используется на выработку электроэнергии для биогазовой установки и сопутствующих технологических зданий).

Пиролиз – термическое разложение органических веществ в ОСВ при высокой температуре (400–600 °С) в отсутствие кислорода. Пиролиз бывает низкотемпературный (400–500 °С) и высокотемпературный (500–600 °С), приводящий к образованию пиролизного газа и пиролизного масла соответственно [16].

Пиролиз обладает рядом преимуществ: преобразование осадков в ценные энергетические ресурсы – биогаз и пиролизное масло, используемые для получения энергии или топлива; значительное снижение объема и массы осадков; эффективная дезинфекция осадков, уничтожающая патогены и снижающая риски загрязнения окружающей среды.

Однако следует отметить и недостатки пиролиза: высокие эксплуатационные расходы из-за необходимости специального оборудования и энергопотребления; необходимость предварительной сушки осадков до определенного уровня влажности, что требует дополнительных затрат энергии; необходимость дополнительного сырья. Например, для увеличения выхода ценных продуктов и улучшения качества пиролизного масла добавляют отходы пластика, что требует тщательного контроля из-за риска выделения токсичных веществ при его разложении.

Преимуществами использования ОСВ при производстве строительных материалов (как правило, в качестве добавки или компонента при производстве кирпичей, плитки и бетона) являются: утилизация и использование осадков в качестве ресурса; снижение зависимости от природных ресурсов (например, глины, песка); потенциальное улучшение свойств строительных материалов.

Недостатки: необходимость обеспечения качества и безопасности осадков; дополнительная обработка осадков (например, обезвоживание, сушка) может влиять на прочность и другие характеристики строительных материалов.

Изучив состав и свойства ОСВ, а также проанализировав различные технологии переработки ОСВ, нами был выделен ряд критериев выбора оптимальной технологии их использования и утилизации:

1. Критерии происхождения ОСВ – тип производства или деятельности, при котором образуется ОСВ и количество образующихся осадков.

2. Критерии качественного состава ОСВ определяют, как осадок может быть обработан, утилизирован или использован и необходимы для оценки воздействия на окружающую среду и здоровье человека:

- физические свойства, такие как влажность (сырые, обезвоженные, сухие), плотность, размер частиц, температура;
- химические свойства, такие как концентрация загрязняющих веществ (тяжелые металлы и другие), содержание органического вещества, азота, фосфора, калия, pH, а также биохимическое потребление кислорода и химическое потребление кислорода;
- биологический состав ОСВ (наличие и концентрация болезнетворных бактерий, вирусов и паразитов).

3. Экономические критерии помогают оценить экономическую целесообразность различных методов обработки и утилизации ОСВ и включают капитальные затраты на оборудование, эксплуатационные расходы, затраты на утилизацию побочных продуктов, возможность получения ценных продуктов, доступность технологических материалов на рынке.

4. Экологические критерии включают возможность соблюдения экологических стандартов и нормативов, минимизацию степени воздействия на окружающую среду, степень образования вторичных отходов, степень потребления энергии и воды.

5. Технические критерии – это возможная пропускная способность, автоматизация и управление.

6. Социальные критерии помогают обеспечить, чтобы ОСВ использовался способом, который учитывает интересы и благополучие общества. Это безопасность и здоровье работников (обеспечение безопасных условий труда), безопасность и здоровье населения при использовании продуктов переработки ОСВ, трудоустройство (создание рабочих мест и обучение персонала для работы на объектах обработки осадка), этические стандарты (соблюдение этических норм в процессе обработки и использования ОСВ).

7. Критерии законодательных требований – это способность технологии соответствовать местным и международным стандартам и законодательству, а также проведение мониторинга и отчетности в соответствии с законодательными требованиями.

Ранжирование выбранных критериев проводили с помощью АНР, который включает в себя несколько этапов: определение иерархии критериев, их попарное сравнение, расчет весовых коэффициентов, попарное сравнение подкритериев, агрегация результатов.

При определении иерархии критериев использовали систему уровней. Так, первый уровень (высший) включает в себя критерии, которые являются главными для групп подкритериев, находящихся на следующем уровне (таблица 1).

Следующим этапом ранжирования предложенных критериев было их попарное сравнение. Для каждой пары критериев на первом уровне определяли какой критерий более важен для достижения цели – выбора оптимальной технологии использования ОСВ. Для выполнения поставленной задачи использовалась шкала Саати [17], в которой для оценки относительной важности используется шкала от 1 до 9, где:

- 1 – оба критерия равнозначны;
- 3 – один критерий слегка важнее;
- 5 – один критерий значительно важнее;
- 7 – один критерий сильно важен;
- 9 – один критерий абсолютно важен.

На основании этого построили матрицу парных сравнений, где каждый критерий сравнивался с другими, и оценка их относительной важности записывалась в соответствующую ячейку (таблица 2).

Далее выполнили расчет цены каждого критерия (каждый элемент строки матрицы парных сравнений перемножили и из полученного произведения извлекали корень, равный числу критериев). Затем цену каждого критерия делили на сумму цен всех анализируемых критериев. А полученный результат представляет собой весовой коэффициент для соответствующего критерия, который является мерой степени важности критерия при выборе технологии использования ОСВ.

Следующим этапом было ранжирование главных критериев исходя из полученных весовых коэффициентов, что отражено в таблице 3.

Таблица 1 – Определение иерархии критериев первого уровня и подкритериев второго уровня

Первый уровень	Критерии происхождения ОСВ	Критерии качественного состава ОСВ	Экономические критерии	Экологические критерии	Технические критерии	Социальные критерии	Критерии законодательных требований
Второй уровень	тип производства / деятельности	физические свойства ОСВ	капитальные затраты	соответствие экологическим стандартам	пропускная способность	безопасность работников	соответствие местным стандартам
		химические свойства ОСВ	эксплуатационные расходы	минимизация негативного воздействия на окружающую среду			соответствия международным стандартам
	количество образующихся ОСВ	биологический состав ОСВ	затраты на утилизацию побочных продуктов	степень образования вторичных отходов	автоматизация и управление	безопасность населения	реализация мониторинга в соответствии с законодательными требованиями
			доход от использования основных продуктов	степень потребления энергии и воды			
		доступность материалов					

Таблица 2 – Матрица парных сравнений для критериев первого уровня

Критерии	Происхождение ОСВ	Критерий качественного состава ОСВ	Экономические	Экологические	Технические	Социальные	Критерии законодательных требований
Происхождение ОСВ	1	1/5	1/3	1/7	1/5	1/3	1/5
Критерии качественного состава ОСВ	5	1	3	1/7	3	3	1/5
Экономические	3	1/3	1	1/5	3	3	1/5
Экологические	7	7	5	1	5	5	1/5
Технические	5	1/3	1/3	1/5	1	3	1
Социальные	3	1/3	1/3	1/5	1/3	1	1/3
Критерии законодательных требований	5	5	5	1	3	1	1

Таблица 3 – Ранжирование критериев выбора технологии использования по степени значимости (исходя из весовых коэффициентов)

Критерии	Цена критерия	Весовой коэфф. в долях	Весовой коэфф. в процентах, %
Экологические критерии	2,76	0,31	31,00
Критерий законодательных требований	2,33	0,266	27,00
Критерий качественного состава ОСВ	1,20	0,137	14,00
Экономические критерии	0,86	0,098	10,00
Технические критерии	0,09	0,097	10,00
Социальные критерии	0,05	0,055	5,00
Критерии происхождения ОСВ	0,03	0,03	3,00
Сумма	8,80	1,00	100

Таблица 4 – Ранжирование критериев первого уровня и подкритериев второго уровня в зависимости от степени их значимости (весовых коэффициентов) при выборе технологии использования ОСВ

№	Наименование критерия	Весовой коэффициент, %
1	Экологические критерии	31,00
1.1	Соответствие экологическим стандартам	32,20
1.2	Минимизация негативного воздействия	29,02
1.3	Степень образования вторичных отходов	20,49
1.4	Степень потребления энергии и воды	18,29
2	Критерии законодательных требований	27,00
2.1	Соответствие местным стандартам	52,91
2.2	Соответствие международным стандартам	33,45
2.3	Реализация мониторинга в соответствии с законодательными требованиями	13,64
2	Критерии качественного состава ОСВ	14,00
2.1	Физические свойства ОСВ	33,3
2.2	Химические свойства ОСВ	33,3
2.3	Биологический состав ОСВ	33,3
3	Экономические критерии	10,00
3.1	Доступность технологических материалов на рынке	22,01
3.2	Эксплуатационные расходы	22,01
3.3	Капитальные затраты	22,01
3.4	Затраты на утилизацию побочных продуктов	19,31
3.5	Доход от продажи основных продуктов	14,67
4	Технические критерии	10,00
4.1	Пропускная способность	75,00
4.2	Автоматизация и управление	25,00
5	Социальные критерии	5,00
5.1	Безопасность населения	66,60
5.2	Безопасность работников	33,40
6	Происхождение ОСВ	3,00
6.1	Тип производства / деятельности	75,22
6.2	Количество ОСВ	24,78

Результаты ранжирования критериев показали, что наиболее приоритетной группой критериев, применяемой при выборе технологии использования ОСВ, является экологическая (31 %), которая напрямую связана с защитой окружающей среды и здоровья человека. Весовой коэффициент критериев законодательных требований и критериев качественного состава ОСВ составил 27 и 14 % соответственно.

Для выполнения проверки полученных весовых коэффициентов на непротиворечивость необходимо в соответствии с [17] найти величину отношения согласованности (далее – ОС). Если значение ОС превышает 0,2, то требуется уточнение значений в матрице парных сравнений. В нашем случае значение ОС составило 0,18, что говорит о непротиворечивости полученных результатов.

Также мы провели аналогичный анализ для подкритериев второго уровня, входящих в каждую отдельную группу критериев первого уровня. На основании проведенных вычислений получили результаты ранжирования критериев первого уровня и подкритерии второго уровня в зависимости от степени их значимости (весовых коэффициентов) при выборе технологии использования ОСВ.

Заключение

Проведенное ранжирование критериев для выбора технологии использования ОСВ с использованием метода АНР выявило приоритетность экологических критериев (31 %), что подчеркивает важность выбора экологически устойчивых технологических решений.

Весовой коэффициент критериев законодательных требований составил 27 %, что говорит о гарантии того, что выбранная технология будет безопасной, эффективной и устойчивой в долгосрочной перспективе.

Критерии качественного состава ОСВ также играют значимую роль в принятии решения, определяя технологические возможности переработки ОСВ.

Социальные критерии в контексте данного ранжирования получили весовой коэффициент только 5 %, поскольку безопасность работников и населения будет осуществляться при выполнении требований, обоснованных предыдущими критериями, такими как соответствие экологическим стандартам и минимизация негативного воздействия на окружающую среду.

Таким образом, полученные критерии и их весовые коэффициенты позволяют выделить ключевые аспекты, которые необходимо учитывать при выборе оптимальной технологии. Однако следует отметить, что комплексный подход, учитывающий все эти критерии одновременно, позволяет создать устойчивую и долгосрочную стратегию управления ОСВ, которая будет не только экологичной, но и экономически выгодной, технически выполнимой и социально приемлемой. Важно отметить, что полученные результаты являются относительными и могут варьировать в зависимости от конкретных условий.

Список цитированных источников

1. Чухольский, А. И. Проблема накопления осадков сточных вод и направления её решения в условиях Республики Беларусь / А. И. Чухольский // Проблемы оценки, мониторинга и сохранения биоразнообразия : материалы V Респ. науч.-практ. эколог. конф. / Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина ; под ред. Н. М. Матусевич. – Брест : БрГУ, 2023. – С. 24–32.
2. Обработка осадков городских сточных вод: учеб. пособие / Л. Р. Хисамеева [и др.]. – Казань : Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2016. – 105 с.
3. Петрова, Т. А. Рекультивация техногенно-нарушенных земель с применением осадков сточных вод в качестве мелиорантов / Т. А. Петрова, Э. Рудзис // Записки Горного института. – 2021. – С. 767–776.
4. Суrowикина, А. П. Отечественный опыт использования хозяйственно-бытовых сточных вод / А. П. Суrowикина, А. В. Слабунова // Экология и водное хозяйство. – 2022. – № 2. – С. 32–48.
5. Жахонгиров, А. К. Очистка промышленных сточных вод / А. К. Жахонгиров, А. Б. Урунов, О. Р. Ачилов // Academic research in educational sciences. – 2022. – № 2. – С. 18–24.
6. Новикова, О. К. Обработка осадков сточных вод : учеб.-метод. пособие / О. К. Новикова. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 96 с.
7. ОКРБ 021-2019. Классификатор отходов, образующихся в Республике Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ecoinfo.by/wp-content/uploads/2023/11/021-2019_.pdf. – Дата доступа: 13.06.2024.
8. Биотермокомпостирование органических отходов / В. В. Миронов [и др.] // Техника и технологии в животноводстве. – 2019. – № 4 (36) : Промышленные биотехнологии. – С. 37–45.
9. European Commission. Sewage sludge [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/>. – Дата доступа: 13.06.2024.
10. Composting and Anaerobic Digestion of Food Waste and Sewage Sludge for Campus Sustainability: A Review [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1155/2022/6455889>. – Дата доступа: 13.06.2024.
11. Current Developments in Biotechnology and Bioengineering [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.science-direct.com/book/9780323999205/current-developments-in-biotechnology-and-bioengineering>. – Дата доступа: 13.06.2024.
12. Composting sewage sludge of wastewater treatment plant [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.research-gate.net/publication/289028507_Composting_sewage_sludge_of_wastewater_treatment_plant. – Дата доступа: 13.06.2024.
13. Валиев, В. С. Анализ мирового опыта утилизации осадка городских сточных вод / В. С. Валиев, Д. В. Иванов, Р. Р. Шагидуллин // Российский журнал прикладной экологии. – 2020. – № 4 (24) : Экологические биотехнологии. – С. 43–51.
14. Зайнуллин, Р. Р. Применение технологии анаэробного сбраживания в утилизации осадков сточных вод / Р. Р. Зайнуллин, А. А. Галютдинов // Инновационная наука. – 2016. – № 6–2 : Промышленные биотехнологии. – С. 76–77.
15. Отчет об оценке воздействия на окружающую среду планируемой хозяйственной деятельности по объекту: «Строительство биогазового комплекса на очистных сооружениях канализации города Слонима, включая разработку и согласование проектно-сметной документации, строительство, сдачу в эксплуатацию» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://slonim.gov.by/uploads/files/OVOS-Slonim-copy.pdf>. – Дата доступа: 13.06.2024.
16. Гатин, Б. Ф. Методы стабилизации осадка сточных вод / Б. Ф. Гатин, М. В. Мадьякина, М. В. Шулаев // Пищевые технологии и биотехнологии : материалы XVI Всерос. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов с междунар. участием, посвящ. 150-летию Периодической таблицы химических элементов ; под ред. А. С. Сироткина [и др.]. – Казань : Казан. нац. исслед. технол. ун-т, 2019. – С. 41–45.
17. Смородинский, С. С. Системный анализ и исследование операций: лаб. практикум для студ. спец. «Автоматизированные системы обработки информации» дневн. и дистанц. форм обуч. / С. С. Смородинский, Н. В. Батин. – Минск : БГУИР, 2009. – 64 с.

References

1. CHuhol'skij, A. I. Problema nakopleniya osadkov stochnyh vod i napravleniya eyo resheniya v usloviyah Respubliki Belarus' / A. I. CHuhol'skij // Problemy ocenki, monitoringa i sohraneniya bioraznoobraziya : materialy V Resp. nauch.-prakt. ekolog. konf. / Brestskij gosudarstvennyj universitet imeni A. S. Pushkina ; pod red. N. M. Matusевич. – Brest : BrGU, 2023. – S. 24–32.
2. Obrabotka osadkov gorodskih stochnyh vod: ucheb. posobie / L. R. Hisameeva [i dr.]. – Kazan' : lzd-vo Kazansk. gos. arhitekt.-stroit. un-ta, 2016. – 105 s.
3. Petrova, T. A. Rekul'tivaciya tekhnogenno-narushennyh zemel' s primeneniem osadkov stochnyh vod v kachestve meliorantov / T. A. Petrova, E. Rudzish // Zapiski Gornogo instituta. – 2021. – S. 767–776.
4. Surowikina, A. P. Otechestvennyj opyt ispol'zovaniya hozyajstvenno-bytovyh stochnyh vod / A. P. Surowikina, A. V. Slabunova // Ekologiya i vodnoe hozyajstvo. – 2022. – № 2. – S. 32–48.
5. ZHahongirov, A. K. Ochistka promyshlennyh stochnyh vod / A. K. ZHahongirov, A. B. Urunov, O. R. Achilov // Academic research in educational sciences. – 2022. – № 2. – S. 18–24.
6. Novikova, O. K. Obrabotka osadkov stochnyh vod : ucheb.-metod. posobie / O. K. Novikova. – Gornel' : BelGUT, 2015. – 96 s.
7. ОКРБ 021-2019. Klassifikator othodov, obrazuyushchihся v Respublike Belarus' [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: https://www.ecoinfo.by/wp-content/uploads/2023/11/021-2019_.pdf. – Data dostupa: 13.06.2024.
8. Biotermokompostirovanie organicheskikh othodov / V. V. Mironov [i dr.] // Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve. – 2019. – № 4 (36) : Promyshlennye biotekhnologii. – S. 37–45.
9. European Commission. Sewage sludge [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/>. – Data dostupa: 13.06.2024.
10. Composting and Anaerobic Digestion of Food Waste and Sewage Sludge for Campus Sustainability: A Review [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1155/2022/6455889>. – Data dostupa: 13.06.2024.
11. Current Developments in Biotechnology and Bioengineering [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.science-direct.com/book/9780323999205/current-developments-in-biotechnology-and-bioengineering>. – Data dostupa: 13.06.2024.
12. Composting sewage sludge of wastewater treatment plant [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: https://www.research-gate.net/publication/289028507_Composting_sewage_sludge_of_wastewater_treatment_plant. – Data dostupa: 13.06.2024.
13. Valiev, V. S. Analiz mirovogo opyta utilizacii osadka gorodskih stochnyh vod / V. S. Valiev, D. V. Ivanov, R. R. SHagidullin // Rossijskij zhurnal prikladnoj ekologii. – 2020. – № 4 (24) : Ekologicheskie biotekhnologii. – S. 43–51.
14. Zajnullin, R. R. Primenenie tekhnologii anaerobnogo sbrachivaniya v utilizacii osadkov stochnyh vod / R. R. Zajnullin, A. A. Galyautdinov // Innovacionnaya nauka. – 2016. – № 6–2 : Promyshlennye biotekhnologii. – S. 76–77.
15. Otchet ob ocenke vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredu planiruemoj hozyajstvennoj deyatel'nosti po ob'ektu: «Stroitel'stvo biogazovogo kompleksa na ochestnyh sooruzheniyah kanalizacii goroda Slonima, vklyuchaya razrabotku i soglasovanie proektno-smetnoj dokumentacii, stroitel'stvo, sdachu v ekspluatatsiyu» [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://slonim.gov.by/uploads/files/OVOS-Slonim-copy.pdf>. – Data dostupa: 13.06.2024.
16. Gatin, B. F. Metody stabilizacii osadka stochnyh vod / B. F. Gatin, M. V. Madyakina, M. V. SHulaev // Pishchevye tekhnologii i biotekhnologii : materialy HVI Vseros. konf. molodyh uchenyh, aspirantov i studentov s mezhdunar. uchastiem, posvyashch. 150-letiyu Periodicheskoy tablicy himicheskikh elementov ; pod red. A. S. Sirotkina [i dr.]. – Kazan' : Kazan. nac. issled. tekhnol. un-t, 2019. – S. 41–45.
17. Smorodinskij, S. S. Sistemnyj analiz i issledovanie operacij: lab. praktikum dlya stud. spec. «Avtomatizirovannye sistemy obrabotki informacii» dnevn. i distanc. form obuch. / S. S. Smorodinskij, N. V. Batin. – Minsk : BGUIR, 2009. – 64 s.

Материал поступил 05.07.2024, одобрен 08.07.2024, принят к публикации 09.07.2024

ЭКОНОМИКА

УДК 331.108

**СИСТЕМА ОРГАНИЗАЦИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
СПЕЦИАЛИСТОВ ПО СТОИМОСТНОМУ ИНЖИНИРИНГУ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

О. С. Голубова

К. э. н., доцент, профессор кафедры «Экономика, организация строительства и управление недвижимостью», Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, e-mail: holubava@bntu.by

Реферат

В публикации рассмотрено современное состояние профессиональной деятельности специалистов по управлению стоимостью строительства. Рассматриваются существующие в Республике Беларусь профессиональные, образовательные стандарты и аттестация руководителей и специалистов, участвующих в управлении стоимостью в строительстве. Предложена система организации профессиональной деятельности специалистов по стоимостному инжинирингу в строительстве, которая включает собственно профессиональную деятельность, регламентированную профессиональным стандартом, сферу образования, обеспечивающую подготовку, переподготовку и повышение квалификации кадров, предусматривает сертификацию руководителей и специалистов. Особенностью данной системы является наличие в ней двух уровней взаимодействия. На национальном уровне предложено создать Ассоциацию развития стоимостного инжиниринга в строительстве, которая будет осуществлять координацию профессиональной деятельности специалистов в Республике Беларусь и на наднациональном уровне взаимодействовать с Международной Ассоциацией развития стоимостного инжиниринга и Комиссией по развитию стоимостного инжиниринга в строительстве при Межправительственном Совете по сотрудничеству в строительной деятельности государств – участников СНГ.

Ключевые слова: стоимостной инжиниринг, профессиональная деятельность, система профессиональной деятельности, специалист по стоимостному инжинирингу в строительстве.

SYSTEM OF ORGANIZATION OF PROFESSIONAL ACTIVITIES OF SPECIALISTS IN COST ENGINEERING IN CONSTRUCTION

V. S. Holubava

Abstract

The publication examines the current state of professional activity of specialists in construction cost management. The professional, educational standards and certification of managers and specialists involved in cost management in construction that exist in the Republic of Belarus are considered. A system has been proposed for organizing the professional activities of specialists in cost engineering in construction, which includes the actual professional activities regulated by a professional standard, the sphere of education that provides training, retraining and advanced training of personnel, and provides for the certification of managers and specialists. A special feature of this system is the presence of two levels of interaction in it. At the national level, it is proposed to create an Association for the Development of Cost Engineering in Construction, which will coordinate the professional activities of specialists in the Republic of Belarus and at the supranational level interact with the International Association for the Development of Cost Engineering and the Commission for the Development of Cost Engineering in Construction under the Intergovernmental Council for Cooperation in the Construction Activities of States – CIS participants.

Keywords: cost engineering, professional activity, system of professional activity, specialist in cost engineering in construction.

Введение

Стоимостной инжиниринг – новое для современных реалий экономики Республики Беларусь понятие. Стоимостной инжиниринг (cost engineering) – это сфера деятельности, предметом которой является управление стоимостью. В контексте строительства стоимостной инжиниринг представляет собой методологию, направленную на оптимизацию затрат по реализации проектов строительства зданий и сооружений, начиная с их планирования и заканчивая завершением жизненного цикла объекта недвижимости. Он включает в себя управление финансовыми потоками проекта с целью минимизации затрат инвестора без ущерба для качества, сроков реализации проекта при удовлетворении требований всех заинтересованных сторон.

Ежегодно, по данным национального статистического комитета в Республике Беларусь, возводится более 11 640 зданий, для каждого из которых разрабатывается задание на проектирование, проект, проводятся процедуры закупок, осуществляется сдача-приемка выполненных работ. Объем подрядных работ за 2022 год составил 13,5 млрд рублей. Если учесть, что в этот же период в стране действовало 8034 строительные организации, то в среднем на каждую организацию выполнение составило 1,68 млн рублей [1]. Все это свидетельствует о том, что управление стоимостью в такой капиталоемкой сфере деятельности, как строительство, имеет большое значение и требования к специалистам, осуществляющим управление стоимостью строительства очень высоки. Вместе с тем, существующая

в настоящее время в Республике Беларусь система квалификаций управление стоимостью строительства возлагает на специалиста по сметной работе – сметчика, ограничивая его роль в строительстве составлением сметной документации и ведением расчетов за выполненные работы. Такая ситуация не соответствует требованиям инвестиционно-строительной сферы, заинтересованной в повышении экономической эффективности реализации проектов строительства и сдерживает развитие стоимостного инжиниринга в строительстве.

Формирование системы профессиональной деятельности специалистов по стоимостному инжинирингу в строительстве

Стоимостной инжиниринг в строительстве представляет собой отдельный самостоятельный вид экономической деятельности, пронизывающий все процессы управления строительством. «Услуги по стоимостному инжинирингу в строительстве широко распространены в западных странах, оберегают предпринимателей от банкротства, способствуют развитию успешного и эффективного бизнеса даже в условиях экономического спада. В России система услуг для предпринимателей по стоимостному инжинирингу только начинает складываться и нуждается в подготовке соответствующих специалистов» [2, с. 148]. В Республике Беларусь также следует активно развивать стоимостной инжиниринг, перейти от управления отдельными процессами строительства к единой методологии, охватывающей все аспекты экономики строительства и недвижимости. Для этого необ-

ходимо сформировать систему организации профессиональной деятельности специалиста по стоимостному инжинирингу, охватывающую не только его трудовую деятельность, так и сферу образования. Аналогичные процессы уже идут в Российской Федерации. Так, «по стоимостному инжинирингу в НИУ МГСУ была разработана и с 2021 года реализуется основная профессиональная образовательная программа бакалавриата по профилю подготовки Б1.В.01 «Стоимостной инжиниринг» в рамках направления подготовки 08.03.01 «Строительство» [2, с. 149].

О необходимости совершенствования подготовки специалистов, формировании проектно-ориентированных навыков деятельности говорят такие ученые, как Н. Ю. Яськова, [3], Г. В. Лепеш [4], О. В. Володько, В. Ф. Володько [5], И. В. Терентьева [6] и другие. Проектно-ориентированный подход, являющийся отличительной характеристикой стоимостного инжиниринга в строительстве, требует трансформации инструментов и методов управления строительством, формирования целостной системы организации профессиональной деятельности специалиста по стоимостному инжинирингу, основы которого должны быть заложены в профессиональном стандарте.

В Российской Федерации еще в «2011 году, с целью развития профессиональной деятельности в сфере строительного ценообразования, была создана саморегулируемая организация Ассоциация «Национальное объединение специалистов стоимостного инжиниринга» (СРО Ассоциация «НОССИ»). В настоящее время в состав СРО Ассоциация «НОССИ» входит более 40 организаций из различных субъектов Российской Федерации» [7].

18 июля 2019 г. приказом № 504н Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации был утвержден профессиональный стандарт «Специалист в области планово-экономического обеспечения строительного производства». В этом стандарте определены требования, предъявляемые к должностям (специальностям) «Инженер-сметчик», «Руководитель планово-экономического отдела», «Экономист планово-экономического отдела строительной организации», «Специалист по планово-экономическому обеспечению», и выделено «пять обобщенных трудовых функций»:

- определение сметной стоимости строительства объектов капитального строительства;
- определение контрактной стоимости строительства объектов капитального строительства;
- определение фактической стоимости строительства объектов капитального строительства;
- формирование инвестиционной стоимости строительства объектов капитального строительства на предпроектном этапе;
- экспертиза и аудит стоимости строительства объектов капитального строительства» [8].

В развитие данного направления Ассоциация «Национальное объединение строителей» (НОСТРОИ), созданная 10 ноября 2009 г. по решению I Всероссийского Съезда саморегулируемых организаций (СРО) [9], в 2023 году разработала профессиональный стандарт «Специалист в области ценообразования в строительстве». Профессиональный стандарт определяет трудовые функции специалистов в области ценообразования в строительстве, требования к уровню образования и квалификации, опыту практической работы, раскрывает знания и умения, необходимые для профессиональной деятельности специалиста. 27 апреля 2023 г. приказом № 410н Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации был утвержден новый профессиональный стандарт «Специалист в области планово-экономического обеспечения строительного производства» [9]. В этом стандарте, в отличие от предыдущего, выделены только три «обобщенные трудовые функции»:

- выполнение финансово-экономических расчетов и ведение первичной учетной документации при выполнении строительномонтажных работ на производственном участке;
- осуществление планово-экономической деятельности в строительной организации;
- управление планово-экономической деятельностью строительной организации» [10].

Если в профессиональном стандарте 2019 г. все трудовые функции были разделены по этапам реализации проекта строительства (предпроектная оценка, сметная стоимость, экспертиза проекта,

контрактная цена, фактические затраты), то в профессиональном стандарте 2023 года все обобщенные трудовые функции касаются только деятельности строительной организации. Вместе с тем, стоимостной инжиниринг в строительстве, включая все приведенные в обоих стандартах функции, относится в первую очередь к деятельности инвестора и заказчика и представляет собой инструмент управления стоимостью строительства на всех этапах жизненного цикла объекта недвижимости, что значительно расширяет сферу профессиональной деятельности специалиста.

Рабочей группой, созданной Секторальным советом квалификаций при Министерстве архитектуры и строительства Республики Беларусь, разработан проект профессионального стандарта «Инженер по сметной работе (сметчик)». «Основная цель вида трудовой деятельности: определение стоимости строительства объекта и составление сметной документации» [11]. В данном профессиональном стандарте весь спектр управления стоимостью строительства сводится к трем «обобщенным трудовым функциям»:

- подготовка исходных данных для определения сметной стоимости строительства;
- определение сметной стоимости строительства и подготовка сметной документации;
- организация деятельности по подготовке сметной документации» [11].

Все эти функции ориентированы исключительно на сметную работу, ограниченную калькулированием сметных затрат в рамках сметной документации. Трудовые функции специалиста по стоимостному инжинирингу в строительстве значительно шире. Они охватывают все этапы жизненного цикла объекта недвижимости и все процессы управления стоимостью строительства со стороны инвестора, заказчика, проектировщика и подрядчика, характеризуют активное влияние на все параметры проекта: содержание, сроки, инвестиционную активность и экономическую эффективность строительства. Более того, обобщенные трудовые функции, предусмотренные профессиональным стандартом «Инженер по сметной работе (сметчик)», сводятся только к определению стоимости подрядных работ, оставляя за рамками оценку стоимости проектно-изыскательских работ, затрат на содержание заказчика, затрат жизненного цикла объекта строительства и другие задачи стоимостного инжиниринга.

Подготовка специалистов по стоимостному инжинирингу в европейских странах предусматривает формирование компетенций по разработке календарно-сетевых моделей, планированию проектов, предварительной оценке стоимости проекта, оценке рисков, управлению изменениями, анализу фактического выполнения проектов с учетом методики освоенного объема и общей теории управления. Основой подготовки специалистов в области стоимостного инжиниринга является овладение техническими, экономическими и управленческими знаниями и навыками. Для этого в первую очередь используются такие источники, как «Руководство по системе управления прибавочной стоимостью» [12], «Навыки и знания в области стоимостного проектирования» [13], «Международная система управления совокупными затратами ААСЕ» [14]. Все эти документы определяют сферу деятельности специалистов по стоимостному инжинирингу как специалистов, управляющих стоимостью и сроками реализации проекта, оценивающими последствия принятых решений на всем жизненном цикле объектов недвижимости.

Кроме безусловного наличия профессиональных и образовательных стандартов в системе профессиональной деятельности специалистов по стоимостному инжинирингу большая роль отводится их аттестации и сертификации, которые обеспечивают оценку уровня квалификации в конкретной прикладной сфере деятельности и стимулируют непрерывное совершенствование знаний и навыков.

В Республике Беларусь Указом Президента от 14 января 2014 г. № 26 (далее – Указ № 26) установлено, что «до разработки проектной документации на возведение, реконструкцию, реставрацию, капитальный ремонт, техническую модернизацию, благоустройство, снос объектов»:

- заказчиками, застройщиками, если иное не установлено Президентом Республики Беларусь, разрабатывается и утверждается предпроектная (предынвестиционная) документация;

– заказчиками, застройщиками назначается руководитель (управляющий) проекта по строительству объекта из числа работников соответствующей квалификации либо привлекается инженерная организация (инженер), в том числе с соблюдением требований законодательства о государственных закупках исходя из планируемых источников и объемов финансирования, предусмотренных в предпроектной (предынвестиционной) документации. Работник может быть назначен руководителем (управляющим) проекта только при наличии аттестата, подтверждающего его квалификацию, выдаваемого в порядке, установленном законодательством об административных процедурах» [15].

Эта норма определила требование об обязательной аттестации в Республике Беларусь специалистов по управлению проектами в строительстве. Пунктом 1.6 Указа № 26 предусмотрено, что «проектная документация на объект строительства разрабатывается заказчиком, застройщиком, проектной организацией (индивидуальным предпринимателем), имеющими аттестат соответствия, выдаваемый в порядке, установленном Советом Министров Республики Беларусь, уполномоченной им организацией» [15]. И в целом, начиная с 2014 года, в Беларуси «осуществление видов архитектурной, градостроительной, строительной деятельности (их составляющих), ... выполнение работ по обследованию зданий и сооружений без аттестата соответствия, когда его наличие является обязательным, запрещается» [15]. С принятием Указа № 26 получила новое развитие система обязательной аттестации юридических лиц и специалистов, участвующих в строительной деятельности.

В настоящее время процессы аттестации руководителей и специалистов, «осуществляющих деятельность в области архитектурной, градостроительной, строительной деятельности, выполнение работ по обследованию зданий и сооружений, критерии их допуска к аттестации по ее специализациям» регламентированы постановлением Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 26 марта 2014 г. № 15 (далее – Постановление № 15) [16]. А вопросы аттестации юридических лиц и индивидуальных предпринимателей регламентированы постановлением Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 02.05.2014 № 25 [17]. При этом квалификационные требования, предъявляемые к юридическим лицам и индивидуальным предпринимателям для получения аттестатов соответствия, предусматривают предоставление сведений о составе и профессиональной квалификации руководящих работников, специалистов и рабочих, работающих в организации по основному месту работы, наличии у работников квалификационных аттестатов.

Международная Ассоциация развития стоимостного инжиниринга (AACE) проводит не аттестацию, а сертификацию руководителей и специалистов, предусматривающую оценку знаний, навыков и компетенций на основе принятых Ассоциацией стандартов и критериев оценки. AACE осуществляется сертификация «профессионалов в области стоимостного инжиниринга:

CCC™ – Certified Cost Consultant – Сертифицированный стоимостной консультант;

CCE™ – Certified Cost Engineer – Сертифицированный стоимостной инженер;

CCT™ – Certified Cost Technician – Сертифицированный стоимостной техник;

CER™ – Certified Estimating Professional – Сертифицированный профессионал по оценке стоимости;

CFCC™ – Certified Forensic Claims Consultant – Сертифицированный консультант-эксперт по претензиям и искам;

EVP™ – Earned Value Professional – Профессионал в области освоенного объема;

DRMP™ – Decision and Risk Management Professional – Профессионал по управлению рисками и принятию решений;

PSP™ – Planning & Scheduling Professional – Профессионал по планированию и разработке графиков;

CST™ – Certified Scheduling Technician – Сертифицированный техник по разработке графиков» [18].

Перечень видов сертифицируемой деятельности отражает многообразие профессиональных функций специалистов по стоимостному инжинирингу и характеризует уровень их квалификации. Главным отличием от подходов, принятых на постсоветском пространстве, является то, что управление стоимостью непосредственно связано с управлением сроками, рисками, претензиями и исками, что определяет требования к инженерно-экономической подготовке, знанию менеджмента и хозяйственного права.

Отсутствие профессиональных стандартов, определяющих сферу профессиональной деятельности специалиста по стоимостному инжинирингу в строительстве, приводит к тому, что система образования и сертификации специалистов также находится в стадии формирования. И если в европейских странах, США, Китае существует сложившаяся сфера профессиональной деятельности этих специалистов (Cost Engineer jobs), то в Республике Беларусь в настоящее время единой системы профессиональной деятельности специалистов по стоимостному инжинирингу в строительстве не создано. Важно, чтобы эта система формировалась не фрагментарно, опираясь на инициативы отдельных организаций и учреждений, а была выстроена как единое целое с учетом ее регулирования на государственном уровне. На рисунке предложено авторское видение системы профессиональной деятельности специалиста по стоимостному инжинирингу в строительстве, которая состоит из двух уровней взаимодействия: национального и наднационального.



Рисунок – Система профессиональной деятельности специалистов по стоимостному инжинирингу в строительстве

Центральное место в системе занимают три блока:

1) Блок 1. Профессиональная деятельность. Она регламентирована профессиональными стандартами, определяющими перечень основных трудовых функций и их характеристики, группы занятий, профессий рабочих и должностей служащих. Этот блок является определяющим, потому что система подготовки, переподготовки и повышения квалификации кадров и сертификации руководителей и специалистов должны обеспечить формирование компетенций, которые необходимы для выполнения трудовых функций специалиста.

2) Блок 2. Подготовка, переподготовка и повышение квалификации. Этот блок охватывает деятельность сферы образования, предусматривает наличие полного комплекта учебно-программной документации. Его неразрывная связь с профессиональной деятельностью обеспечивается взаимодействием учреждений образования с базовыми организациями, работой филиалов кафедр в передовых организациях отрасли, целевой подготовкой и распределением специалистов, организацией курсов повышения квалификации.

3) Блок 3. Сертификация. Она играет роль независимой оценки квалификации руководителей и специалистов, работающих в строительстве, соответствия уровня квалификации классу сложности объекта. Сертификация может быть организована на базе Управляющей компании строительного холдинга РУП «Белстройцентр», которая в настоящее время проводит аттестацию юридических лиц, индивидуальных предпринимателей, руководителей и специалистов, осуществляющих строительную деятельность. В перспективе, при создании Национальной Ассоциации развития стоимостного инжиниринга в строительстве, полномочия по аттестации специалистов могут быть переданы этой ассоциации.

Все блоки неразрывно связаны между собой и формируют единую систему, обеспечивающую профессиональную деятельность специалистов по стоимостному инжинирингу в строительстве. Консолидирующую роль в развитии стоимостного инжиниринга в строительстве должна играть Ассоциация развития стоимостного инжиниринга в строительстве (Association for Advancement of Cost Engineering in Construction). Профессиональные объединения в таких отраслях как строительство, где более 90 % строительных организаций это субъекты малого и среднего предпринимательства, играют большую роль, так как многочисленные, но относительно небольшие субъекты хозяйствования не в состоянии обеспечить развитие персонала внутри организаций, в то время как сфера деятельности стоимостного инжиниринга, связанная с техническими, экономическими и управленческими аспектами строительства постоянно меняется.

Планируется, что основными направлениями деятельности Национальной Ассоциации развития стоимостного инжиниринга в строительстве будут:

– методологическая работа, включающая разработку стандартов (сводов знаний), обобщающих передовой опыт управления стоимостью строительства, методику расчетов и формирование баз данных, содержащих информацию об инструментах и методах стоимостного инжиниринга;

– сотрудничество с разработчиками программных комплексов с целью повышения функционала программ для проведения расчетов, охватывающих все направления деятельности специалиста по стоимостному инжинирингу. Учитывая, что в настоящее время развитие BIM-технологий напрямую подошло к управлению стоимостью, и программные комплексы активно развиваются в 3D-проектировании, но еще не преодолели проблем автоматизации, управления стоимостью строительства. Работа специалистов Ассоциации может способствовать не только развитию отечественных программных продуктов, но и адаптации пользователей к их применению. Проведение исследования рынка программных комплексов, включающее анализ функциональности, стоимости, условий лицензирования и поддержки продуктов различных разработчиков, формирование для них технических заданий, обеспечивающих учет требований законодательства Республики Беларусь, отраслевые, региональные, национальные особенности управления стоимостью строительства позволит совершенствовать инструменты стоимостного инжиниринга

и в конечном итоге повысить конкурентоспособность организаций Республики Беларусь на внутреннем и внешнем рынке;

– участие в разработке профессиональных, образовательных стандартов, правил сертификации специалистов, популяризация знаний, содействие членам Ассоциации в работе, проведение профессиональных консультаций, мониторинг передового опыта, изучение проблем и путей их решения для выработки инструментов лучшей практики.

Таким образом, Национальная Ассоциация развития стоимостного инжиниринга в строительстве является с одной стороны объединением, консолидирующим специалистов в Республике Беларусь, а с другой стороны – своего рода мостом, соединяющим специалистов по стоимостному инжинирингу из Республики Беларусь с коллегами из других стран.

В настоящее время в рамках экономического сотрудничества государств-участников СНГ функционирует Межправительственный Совет по сотрудничеству в строительной деятельности. К функциям совета среди прочего отнесено:

– согласование и совместная реализация межгосударственного сотрудничества в строительной деятельности по наиболее важным и актуальным направлениям;

– осуществление согласованной деятельности в вопросах технического нормирования, стандартизации и сертификации с последующим сближением нормативной базы в соответствии с международными требованиями;

– согласование методологического обеспечения организации проектирования, деятельности государственного строительного надзора, экспертизы, ценообразования в строительстве, нормирования расхода материальных ресурсов, тарификации строительных работ, нормирования и охраны труда;

– взаимодействие в вопросах организации лицензирования строительной деятельности, сертификации продукции;

– содействие в разработке программ подготовки и переподготовки кадров строительных комплексов для работы в условиях рыночной экономики» [19].

На XLIV заседании Межправительственного совета по сотрудничеству в строительной деятельности, которое состоялось 05.12.2023 г. в г. Минске, Федеральному государственному бюджетному образовательному учреждению высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (ФГБОУ ВПО МГСУ) придан статус базовой организации государств – участников СНГ по подготовке, профессиональной переподготовке и повышению квалификации кадров строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства. Кроме того, на этом заседании проходило «обсуждение дальнейшей работы над проектами Соглашения об общих принципах системы межгосударственных нормативных документов в строительстве и Концепции ценообразования в строительной деятельности государств – участников СНГ» [20]. То есть работа по развитию ценообразования в строительстве, включая проблему согласованности деятельности по подготовке кадров ведется в рамках всего СНГ. Органом, обеспечивающим координацию деятельности в этой сфере в государствах – участниках СНГ, является Комиссия по ценообразованию в строительной деятельности, работающая в рамках Межправительственного Совета по сотрудничеству в строительной деятельности. «Основной целью работы Комиссии является развитие сотрудничества в области ценообразования в строительной деятельности государств-участников Межправительственного совета, разработка и согласование мероприятий по совершенствованию национальных систем ценообразования, координация усилий в области создания законодательной и нормативной базы, обеспечение условий для обмена опытом и выполнения совместных разработок в области ценообразования в градостроительной деятельности, сохранение и налаживание деловых и кооперативных связей организаций и предприятий строительного профиля» [21].

С целью развития стоимостного инжиниринга в государствах – участниках СНГ предлагается:

1. Переработать уставные документы, цели и задачи Комиссии, расширив сферу ее деятельности от ценообразования в строительстве до стоимостного инжиниринга в строительстве. Автором предлагается новое название: Комиссия по развитию стоимостного

инжиниринга в строительстве при Межправительственном Совете по сотрудничеству в строительной деятельности государств – участников СНГ, которое будет отражать расширение сферы ее деятельности.

2. Содействовать в обобщении передового опыта государств-участников СНГ в сфере стоимостного инжиниринга в строительстве, выработке стандартов (сводов знаний) и программных продуктов, учитывающих специфику управления стоимостью строительства на постсоветском пространстве.

3. Дополнительно к Концепции ценообразования в строительной деятельности государств – участников СНГ разработать Концепцию развития стоимостного инжиниринга в строительстве, центральной частью которой должно стать формирование системы профессиональной деятельности специалистов по стоимостному инжинирингу в строительстве.

4. Сформировать систему взаимодействия Комиссии по развитию стоимостного инжиниринга в строительстве при Межправительственном Совете по сотрудничеству в строительной деятельности государств – участников СНГ с Национальными Ассоциациями развития стоимостного инжиниринга в строительстве государств – участников СНГ.

5. Сформировать систему взаимодействия между национальными Ассоциациями развития стоимостного инжиниринга в строительстве государств – участников СНГ и Международной Ассоциацией развития стоимостного инжиниринга (AACE).

Учитывая высокий уровень динамичности строительства, его экспортоориентированность и интегрированность в мировое экономическое пространство, важно формировать систему организации профессиональной деятельности специалистов по стоимостному инжинирингу, унифицированную не только в рамках отдельно взятого государства, а с учетом расширения единого рынка строительных услуг государств – членов ЕАЭС, интересов развития интеграционных процессов государств – участников СНГ и повышения экспортного потенциала в страны дальнего зарубежья. Взаимодействие с Международной Ассоциацией развития стоимостного инжиниринга (AACE) позволит субъектам хозяйствования государств – участников СНГ не только активнее перенимать передовой зарубежный опыт, но и формировать стратегии управления стоимостью строительстве при реализации экспортных контрактов, с учетом норм и правил, сложившихся на внешних рынках.

Заключение

Человеческий капитал рассматривается в настоящее время как основная движущая сила экономического развития государств, регионов, отраслей, субъектов хозяйствования. Строительство отличается сложной организационной структурой, базируется на взаимодействии многих субъектов хозяйствования, специалистов, работающих в разных организациях. Стоимостной инжиниринг в строительстве, пронизывающий все экономические процессы управления стоимостью строительства объектов недвижимости, играет важнейшую роль в этой сфере деятельности. Однако сама сфера профессиональной деятельности специалиста по стоимостному инжинирингу в настоящее время в Республике Беларусь не сформирована.

Из государств – участников СНГ наибольшее развитие стоимостной инжиниринг получил в Российской Федерации и ее опыт формирует основу предлагаемой автором системы профессиональной деятельности специалистов по стоимостному инжинирингу в строительстве.

Организация профессиональной деятельности специалиста по стоимостному инжинирингу в строительстве должна носить системный комплексный характер. Предлагаемая автором система включает два уровня взаимодействия элементов системы: национальный, объединяющий специалистов по стоимостному инжинирингу в строительстве в Республике Беларусь, сферу их профессиональной деятельности, образовательную сферу, обеспечивающую подготовку, переподготовку и повышение квалификации кадров и сферу сертификации, предусматривающей создание Национальной Ассоциации развития стоимостного инжиниринга в строительстве, и надгосударственный уровень. Надгосударственный уровень обеспечивается взаимодействием Национальной Ассоциации развития стоимостного инжиниринга в строительстве с Международной ассоциацией разви-

тия стоимостного инжиниринга и Комиссией по развитию стоимостного инжиниринга в строительстве при Межправительственном Совете по сотрудничеству в строительной деятельности государств – участников СНГ.

Системный подход к организации профессиональной деятельности специалиста по стоимостному инжинирингу в строительстве призван обеспечить развитие кадрового потенциала и, как следствие, повысить экономическую эффективность строительства, конкурентоспособность деятельности строительных организаций на внутреннем и внешних рынках, стимулировать их инвестиционную активность и способствовать удовлетворению требований населения в строительстве комфортных и доступных объектов недвижимости.

Список цитированных источников

1. Национальный статистический комитет [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.belstat.gov.by/upload-belstat/upload-belstat-pdf/oficial_statistika/2022/works_construction.pdf. – Дата доступа: 14.02.2024.
2. Мисаилов, А. Ю. Стоимостной инжиниринг в строительстве как новое направление подготовки студентов высшей школы / А. Ю. Мисаилов // Вестник Московского городского педагогического университета. Серия: Экономика. – 2023. – №1 (35). – С. 145–155.
3. Яськова, Н. Ю. Мировые тренды развития и задачи экономической науки в строительстве / Н. Ю. Яськова // Экономика строительства. – 2018. – № 3 (51). – С. 3–11.
4. Лепеш, Г. В. Инженерная составляющая экономического образования / Г. В. Лепеш // ТТПС. – 2017. – № 3 (41). – С. 3–6.
5. Володько, О. В. Влияние цифровой экономики на подготовку кадров / О. В. Володько, Л. П. Володько // Современные проблемы экономики и менеджмента : материалы Междунар. науч.-практ. конф., 24 октября 2019 г. / редкол.: А. А. Федченко, О. А. Колесникова ; ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», АНО ВО «Воронежский институт высоких технологий», Воронежское региональное отделение «Академия труда и занятости». – Воронеж : «Истоки», 2019. – С. 44–51.
6. Терентьева, И. В. Государственно-общественное управление высшей школой в регионе : автореферат дис. ... докт. пед. наук : 13.00.01 / И. В. Терентьева ; ФГБУ «Российская академия образования». – Казань, 2009. – 35 с.
7. Саморегулируемая организация Ассоциация «Национальное объединение специалистов стоимостного инжиниринга» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://sro-nossi.ru/o_partnerstve. – Дата доступа: 14.02.2024.
8. Об утверждении профессионального стандарта «Специалист в области планово-экономического обеспечения строительного производства» [Электронный ресурс] : приказ Минтруда РФ от 18.07.2019 № 504н (Зарегистрировано в Минюсте РФ 14.08.2019 № 55613) // Министерство юстиции Российской Федерации. – Режим доступа: <https://minjust.consultant.ru/documents/43767>. – Дата доступа: 14.02.2024.
9. НОСТРОИ национальное объединение строителей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://nostroy.ru/nostroy/ob_obedinenii. – Дата доступа: 14.02.2024.
10. Об утверждении профессионального стандарта «Специалист в области планово-экономического обеспечения строительного производства» [Электронный ресурс] : приказ Минтруда РФ от 27.02.2023 № 410н // Министерство юстиции Российской Федерации. – Режим доступа: <https://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-profess>. – Дата доступа: 27.02.2024.
11. Проект профессионального стандарта «Инженер по сметной работе (сметчик)» [Электронный ресурс] // Госстройпортал. – Режим доступа: <https://gosstroyportal.by/api/Files/DownloadAny?objectId=64f58c0909afac4ee6669010>. – Дата доступа: 14.02.2024.
12. Earned Value Management System Manual: EVMS Systems Manual (Volume 1) by DR. Sean Thomas Regan (2011-08-05)
13. Skills & Knowledge of Cost Engineering, 6th Edition (Digital Version) Dr. Makarand Hastak, PE CCP, Editor AACE International, 2015.

14. AACE International Total Cost Management Framework: An Integrated Approach to Portfolio, Program, and Project Management Paperback. – March 16, 2015.
15. О мерах по совершенствованию строительной деятельности [Электронный ресурс] : Указ Президента Респ. Беларусь 14.01.2024 № 26 // КонсультантПлюс: Версия Проф. технология 3000 / ООО «ЮрСпектр». – М., 2024.
16. О некоторых вопросах аттестации руководителей и специалистов [Электронный ресурс]: постановление Мин-ва архитектуры и строительства Респ. Беларусь 26.03.2014 № 15 // КонсультантПлюс: Версия Проф. технология 3000 / ООО «ЮрСпектр». – М., 2024.
17. Об аттестации юридических лиц и индивидуальных предпринимателей [Электронный ресурс] : постановление Мин-ва архитектуры и строительства Респ. Беларусь 02.05.2014 № 25 // КонсультантПлюс: Версия Проф. технология 3000 / ООО «Юр-Спектр». – М., 2024.
18. Международная Ассоциация развития стоимостного инжиниринга (Association for Advancement of Cost Engineering) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.aace.ru/about-the-association-aace/aace-international>. – Дата доступа: 14.02.2024.
19. Исполнительный комитет СНГ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cis.minsk.by/page/2380>. – Дата доступа: 14.02.2024.
20. Состоялось XLIV заседание Межправительственного совета по сотрудничеству в строительной деятельности [Электронный ресурс] // Исполнительный комитет СНГ. – Режим доступа: <https://cis.minsk.by/news/26568>. – Дата доступа: 14.02.2024.
21. Комиссия по ценообразованию стран СНГ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fafccs.ru/sng>. – Дата доступа: 14.02.2024.
7. Samoreguliruemaya organizaciya Associaciya «Nacional'noe ob'edinenie specialistov stoimostnogo inzhiniringa» [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: https://sro-nossi.ru/o_partnerstve. – Data dostupa: 14.02.2024.
8. Ob utverzhenii professional'nogo standarta «Specialist v oblasti planovo-ekonomicheskogo obespecheniya stroitel'nogo proizvodstva» [Elektronnyj resurs] : prikaz Mintruda RF ot 18.07.2019 № 504n (Zaregistrovano v Minyuste RF 14.08.2019 № 55613) // Ministerstvo yusticii Rossijskoj Federacii. – Rezhim dostupa: <https://minjust.consultant.ru/documents/43767>. – Data dostupa: 14.02.2024.
9. NOSTROJ nacional'noe ob'edinenie stroitelej [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: https://nostroy.ru/nostroy/ob_obedinenii. – Data dostupa: 14.02.2024.
10. Ob utverzhenii professional'nogo standarta «Specialist v oblasti planovo-ekonomicheskogo obespecheniya stroitel'nogo proizvodstva» [Elektronnyj resurs] : prikaz Mintruda RF ot 27.02.2023 № 410n // Ministerstvo yusticii Rossijskoj Federacii. – Rezhim dostupa: <https://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-profess>. – Data dostupa: 27.02.2024.
11. Proekt professional'nogo standarta «Inzhener po smetnoj rabote (smetchik)» [Elektronnyj resurs] // Gosstrojportal. – Rezhim dostupa: <https://gosstroyportal.by/api/Files/DownloadAny?objectId=64f58c0909afac4ee6669010>. – Data dostupa: 14.02.2024.
12. Earned Value Management System Manual: EVMS Systems Manual (Volume 1) by DR. Sean Thomas Regan (2011-08-05)
13. Skills & Knowledge of Cost Engineering, 6th Edition (Digital Version) Dr. Makarand Hastak, PE CCP, Editor AACE International, 2015.
14. AACE International Total Cost Management Framework: An Integrated Approach to Portfolio, Program, and Project Management Paperback. – March 16, 2015.
15. O merah po sovershenstvovaniyu stroitel'noj deyatel'nosti [Elektronnyj resurs] : Ukaz Prezidenta Resp. Belarus' 14.01.2024 № 26 // Konsul'tantPlyus: Versiya Prof. tekhnologiya 3000 / ООО «YUrSpektr». – М., 2024.
16. O nekotoryh voprosah attestacii rukovoditelej i specialistov [Elektronnyj resurs]: postanovlenie Min-va arhitektury i stroitel'stva Resp. Belarus' 26.03.2014 № 15 // Konsul'tantPlyus: Versiya Prof. tekhnologiya 3000 / ООО «YUrSpektr». – М., 2024.
17. Ob attestacii yuridicheskix lic i individual'nyh predprinimatelej [Elektronnyj resurs] : postanovlenie Min-va arhitektury i stroitel'stva Resp. Belarus' 02.05.2014 № 25 // Konsul'tantPlyus: Versiya Prof. tekhnologiya 3000 / ООО «YUr-Spektr». – М., 2024.
18. Mezhdunarodnaya Associaciya razvitiya stoimostnogo inzhiniringa (Association for Advancement of Cost Engineering) [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.aace.ru/about-the-association-aace/aace-international>. – Data dostupa: 14.02.2024.
19. Ispolnitel'nyj komitet SNG [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://cis.minsk.by/page/2380>. – Data dostupa: 14.02.2024.
20. Sostoyalos' XLIV zasedanie Mezhpriavitel'stvennogo soveta po sotrudnichestvu v stroitel'noj deyatel'nosti [Elektronnyj resurs] // Ispolnitel'nyj komitet SNG. – Rezhim dostupa: <https://cis.minsk.by/news/26568>. – Data dostupa: 14.02.2024.
21. Komissiya po cenoobrazovaniyu stran SNG [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://fafccs.ru/sng>. – Data dostupa: 14.02.2024.

References

1. Nacional'nyj statisticheskij komitet [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: https://www.belstat.gov.by/upload-belstat/upload-belstat-pdf/oficial_statistika/2022/works_construction.pdf. – Data dostupa: 14.02.2024.
2. Misailov, A. YU. Stoimostnoj inzhiniring v stroitel'stve kak novoe napravlenie podgotovki studentov vysshej shkoly / A. YU. Misailov // Vestnik Moskovskogo gorodskogo pedagogicheskogo universiteta. Seriya: Ekonomika. – 2023. – №1 (35). – S. 145–155.
3. YAs'kova, N. YU. Mirovye trendy razvitiya i zadachi ekonomicheskoy nauki v stroitel'stve / N. YU. YAs'kova // Ekonomika stroitel'stva. – 2018. – № 3 (51). – S. 3–11.
4. Lepesh, G. V. Inzhenernaya sostavlyayushchaya ekonomicheskogo obrazovaniya / G. V. Lepesh // TTPS. – 2017. – № 3 (41). – S. 3–6.
5. Volod'ko, O. V. Vliyaniye cifrovoj ekonomiki na podgotovku kadrov / O. V. Volod'ko, L. P. Volod'ko // Sovremennyye problemy ekonomiki i menedzhmenta : materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 24 oktyabrya 2019 g. / redkol.: A. A. Fedchenko, O. A. Kolesnikova ; FGBOU VO «Voronezhskij gosudarstvennyj universitet», ANOO VO «Voronezhskij institut vysokix tekhnologij», Voronezhskoe regional'noe otdeleniye «Akademiya truda i zanyatosti». – Voronezh : «Istoki», 2019. – S. 44–51.
6. Terent'eva, I. V. Gosudarstvenno-obshchestvennoe upravleniye vysshej shkoly v regione : avtoreferat dis. ... dokt. ped. nauk : 13.00.01 / I. V. Terent'eva ; FGBU «Rossijskaya akademiya obrazovaniya». – Kazan', 2009. – 35 s.
7. Samoreguliruemaya organizaciya Associaciya «Nacional'noe ob'edinenie specialistov stoimostnogo inzhiniringa» [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: https://sro-nossi.ru/o_partnerstve. – Data dostupa: 14.02.2024.
8. Ob utverzhenii professional'nogo standarta «Specialist v oblasti planovo-ekonomicheskogo obespecheniya stroitel'nogo proizvodstva» [Elektronnyj resurs] : prikaz Mintruda RF ot 18.07.2019 № 504n (Zaregistrovano v Minyuste RF 14.08.2019 № 55613) // Ministerstvo yusticii Rossijskoj Federacii. – Rezhim dostupa: <https://minjust.consultant.ru/documents/43767>. – Data dostupa: 14.02.2024.
9. NOSTROJ nacional'noe ob'edinenie stroitelej [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: https://nostroy.ru/nostroy/ob_obedinenii. – Data dostupa: 14.02.2024.
10. Ob utverzhenii professional'nogo standarta «Specialist v oblasti planovo-ekonomicheskogo obespecheniya stroitel'nogo proizvodstva» [Elektronnyj resurs] : prikaz Mintruda RF ot 27.02.2023 № 410n // Ministerstvo yusticii Rossijskoj Federacii. – Rezhim dostupa: <https://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-profess>. – Data dostupa: 27.02.2024.
11. Proekt professional'nogo standarta «Inzhener po smetnoj rabote (smetchik)» [Elektronnyj resurs] // Gosstrojportal. – Rezhim dostupa: <https://gosstroyportal.by/api/Files/DownloadAny?objectId=64f58c0909afac4ee6669010>. – Data dostupa: 14.02.2024.
12. Earned Value Management System Manual: EVMS Systems Manual (Volume 1) by DR. Sean Thomas Regan (2011-08-05)
13. Skills & Knowledge of Cost Engineering, 6th Edition (Digital Version) Dr. Makarand Hastak, PE CCP, Editor AACE International, 2015.
14. AACE International Total Cost Management Framework: An Integrated Approach to Portfolio, Program, and Project Management Paperback. – March 16, 2015.
15. O merah po sovershenstvovaniyu stroitel'noj deyatel'nosti [Elektronnyj resurs] : Ukaz Prezidenta Resp. Belarus' 14.01.2024 № 26 // Konsul'tantPlyus: Versiya Prof. tekhnologiya 3000 / ООО «YUrSpektr». – М., 2024.
16. O nekotoryh voprosah attestacii rukovoditelej i specialistov [Elektronnyj resurs]: postanovlenie Min-va arhitektury i stroitel'stva Resp. Belarus' 26.03.2014 № 15 // Konsul'tantPlyus: Versiya Prof. tekhnologiya 3000 / ООО «YUrSpektr». – М., 2024.
17. Ob attestacii yuridicheskix lic i individual'nyh predprinimatelej [Elektronnyj resurs] : postanovlenie Min-va arhitektury i stroitel'stva Resp. Belarus' 02.05.2014 № 25 // Konsul'tantPlyus: Versiya Prof. tekhnologiya 3000 / ООО «YUr-Spektr». – М., 2024.
18. Mezhdunarodnaya Associaciya razvitiya stoimostnogo inzhiniringa (Association for Advancement of Cost Engineering) [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.aace.ru/about-the-association-aace/aace-international>. – Data dostupa: 14.02.2024.
19. Ispolnitel'nyj komitet SNG [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://cis.minsk.by/page/2380>. – Data dostupa: 14.02.2024.
20. Sostoyalos' XLIV zasedanie Mezhpriavitel'stvennogo soveta po sotrudnichestvu v stroitel'noj deyatel'nosti [Elektronnyj resurs] // Ispolnitel'nyj komitet SNG. – Rezhim dostupa: <https://cis.minsk.by/news/26568>. – Data dostupa: 14.02.2024.
21. Komissiya po cenoobrazovaniyu stran SNG [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://fafccs.ru/sng>. – Data dostupa: 14.02.2024.

Материал поступил 11.03.2024, одобрен 26.03.2024, принят к публикации 26.03.2024

МЕТОДИКА УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛОМ ТРАНСПОРТНОЙ ОРГАНИЗАЦИЙ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ УПУЩЕННОЙ ВЫГОДЫ

О. Ю. Лукашкова

Аспирант, Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, e-mail: olinait@gmail.com

Реферат

В статье проведена исследовательская работа, посвященная методикам управления кадровым потенциалом организации с учетом текучести персонала. Автором разработана методика оценки валовой упущенной выгоды на основе аналитики добровольного увольнения сотрудников, а также предложена программа ее финансовой компенсации. Предполагаемый подход позволит руководству компании принимать более обоснованные управленческие решения в сфере управления персоналом и повысить мотивацию закрепления ключевых сотрудников.

Ключевые слова: валовая упущенная выгода, текучесть кадров, возврат денежных средств, мотивация.

METHODOLOGY FOR PERSONNEL MANAGEMENT OF TRANSPORT ORGANIZATIONS IN BASIS FOR ASSESSING LOST PROFITS

O. Y. Lukashkova

Abstract

The article contains research work devoted to methods for managing the human resources potential of an organization, taking into account staff turnover. The author has developed a methodology for assessing gross lost profits based on analytics of voluntary dismissal of employees, and also proposed a program for its financial compensation. The proposed approach will allow the company's management to make more informed management decisions in the field of personnel management and increase the motivation to retain key employees.

Keywords: gross loss of profit, staff turnover, return of funds, motivation.

Введение

В условиях современного рынка конкуренция между транспортными организациями становится все более острой, и эффективное управление персоналом играет ключевую роль в достижении конкурентных преимуществ. Одним из методов улучшения управления персоналом является использование методики основанной на оценке упущенной выгоды.

Исследование показывает, что эффективное управление персоналом на основе оценки упущенной выгоды может способствовать повышению производительности, снижению издержек и улучшению качества услуг в транспортной организации. Открытие новых путей оптимизации работы персонала и повышения его мотивации является ключевым вопросом для устойчивого развития и конкурентоспособности организации.

Методика оценки упущенной выгоды

Текучесть персонала обусловлена добровольным увольнением сотрудников компании в определенный период времени определяется соотношением их к общему числу сотрудников. Высокая текучесть кадров может быть проблемой для компании, так как она может привести к потере ценных знаний и опыта, дополнительным затратам на новый набор персонала, а также отрицательно сказаться на эффективности и стабильности работы организации.

Текучесть кадров – это показатель, который отражает скорость обновления и перемещения персонала в организации. Он может быть измерен в виде процента или числа сотрудников, которые покинули организацию в определенный период времени.

Основной причиной текучки кадров является отсутствие возможности роста, организации комфортных условий труда, недостаточная оплата за труд, неэффективная система мотивационных выплат и т. д.

Увольнение сотрудника, по собственному желанию или по инициативе компании, всегда несёт проблемы бизнесу. Во-первых, поиск и обучение замены может стоить дорого. Во-вторых, нарушаются бизнес-процессы. Наконец, падает моральный дух оставшихся сотрудников – замечено, что продуктивность в подразделении после увольнений снижается. Соответственно, чем больше человек увольняется из компании, тем сильнее эти негативные эффекты [1].

Различные организации и специалисты в области управления персоналом разрабатывают и применяют свои собственные формулы, учитывая особенности своей сферы деятельности и требования своих организаций. Одним из распространенных способов расчета текучести кадров является формула, которая выглядит следующим образом: общее количество ушедших из компании сотрудников за год делится на среднюю численность штата за этот же период: **Текучка кадров = (число уволенных за год) / (средняя численность сотрудников за год) * 100 % [2].**

Эта формула помогает оценить, насколько активно сотрудники покидают организацию.

Однако существуют и другие подходы и модификации формул для расчёта текучести кадров, которые могут учитывать дополнительные факторы, такие как причины увольнений, статус сотрудников и другие.

Понимание причин и трендов текучести кадров, методика управления профессиональными компетенциями может помочь организации разработать стратегию для удержания талантов и ее снижения.

Расчет текучести кадров организации важен для организации и принятия мер по улучшению условий работы, связи с коллективом и мотивации сотрудников. Также расчет текучести кадров позволяет оценить эффективность системы подбора и оценки персонала, а также эффективность программ обучения и развития сотрудников на основе предлагаемого такого ключевого критерия негативного воздействия ее на экономику компании как валовая упущенная выгода. Это понятие применяется к различным аспектам бизнеса, таким как упущенная прибыль из-за неэффективных процессов производства, недостаточной маркетинговой стратегии или неудачных инвестиций. Упущенная выгода может указывать на неэффективное управление организацией, недостаточное использование ресурсов или упущенные возможности для увеличения прибыли. Анализ упущенной выгоды позволит выявить слабые места и проблемные области в бизнесе и позволит принимать меры для их устранения.

Величина валовой упущенной выгоды будет полезна при принятии решений о замещении вакансий, планировании бюджета и разработке стратегии развития организации.

Упущенная выгода организации – это потенциальная прибыль или экономия, которую организация могла бы получить, если бы использовала определенные возможности, ресурсы или стратегии, но этого не сделала.

Валовую упущенную выгоду в управлении персоналом предлагается определять как потенциальную прибыль, которую организация теряет из-за текучести кадров. Она включает в себя не только прямые затраты на замещение ушедших сотрудников, такие как затраты на рекрутинг, обучение новых сотрудников и временное снижение производительности, но и более широкие экономические последствия, такие как потеря институциональной памяти, навыков и опыта, ухудшение клиентских отношений, упущенные возможности для инноваций и развития бизнеса.

Оценку валовой упущенной выгоды производства предлагается рассчитывать по следующей формуле

$$ВУВ = \frac{ЧП}{Чтр.рес.} * Чувол.,$$

где ВУВ – валовая упущенная выгода организации; ЧП – чистая прибыль организации за расчетный период; Чтр.рес. – число сотрудников организации на расчетный период; Чувол. – число уволенных сотрудников из организации за расчетный период.

В ходе эмпирических исследований статистики численности трудовых ресурсов Республики Беларусь был определен процент текучести кадров на макроуровне, который составляет в среднем 16,9 % за период 2016–2022 гг. по Республике Беларусь при норме от 3 до 7 % в год (таблица 1).

Таблица 1 – Расчет текучести кадров и валовой упущенной выгоды на макроуровне

	Условные обозначения	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Средний за период
Объем промышленного производства, млн руб. [3]	Vпп	81794,9	94306,0	110363,9	115700,5	118407,7	155870,0	170378,0	120974,4
Грузооборот, млн т-км [3]	Гоб	125819,7	133348,0	138838,1	130842,3	123158,1	118775,7	88626,0	122772,6
Валовая добавленная стоимость в промышленности, млн руб. [3]	Vдс	24000,8	27807,5	31741,7	35015,7	38194,6	47750,9	54259,0	36967,2
Прибыль от реализации продукции, товаров работ, услуг, млн руб. [3]	Vрп	8063,5	10432,6	10964,3	11385,8	13206,6	18323,9	20977,5	13336,3
Чистая прибыль, млн руб. [3]	Vчп	2681,1	4390,9	3141,5	6591,0	3354,1	9384,9	9258,2	5543,1
Численность уволенных работников ВСЕГО по видам экономической деятельности в Республике Беларусь, тыс. чел. [3]	Чувол	954,6	953,1	980,9	967,7	956,6	980,6	971,3	966,4
Численность трудовых ресурсов в среднем за период, тыс. чел.	Чтр.рес.	5771,2	5714,9	5697,6	5697,9	5697,9	5684,3	5654,6	5702,6
Производительность труда по выручке	Vпп / Чтр.рес.	14,17	16,50	19,37	20,31	20,78	27,42	30,13	21,21
Производительность труда по валовой добавленной стоимости	Vдс / Чтр.рес.	4,16	4,87	5,57	6,15	6,70	8,40	9,60	6,48
Производительность труда по чистой прибыли	Vчп / Чтр.рес.	0,46	0,77	0,55	1,16	0,59	1,65	1,64	0,97
Текучесть, %	Чувол / Чтр.рес.*100	16,5	16,7	17,2	17,0	16,8	17,3	17,2	16,9
Приверженность, %	1 / Текучесть	0,060	0,060	0,058	0,059	0,060	0,058	0,058	0,059
Валовая упущенная выгода организации, млн руб.	ВУВ	443,48	732,28	540,86	1119,33	563,09	1618,93	1590,23	939,35



Рисунок 1 – Показатели технологической эффективности

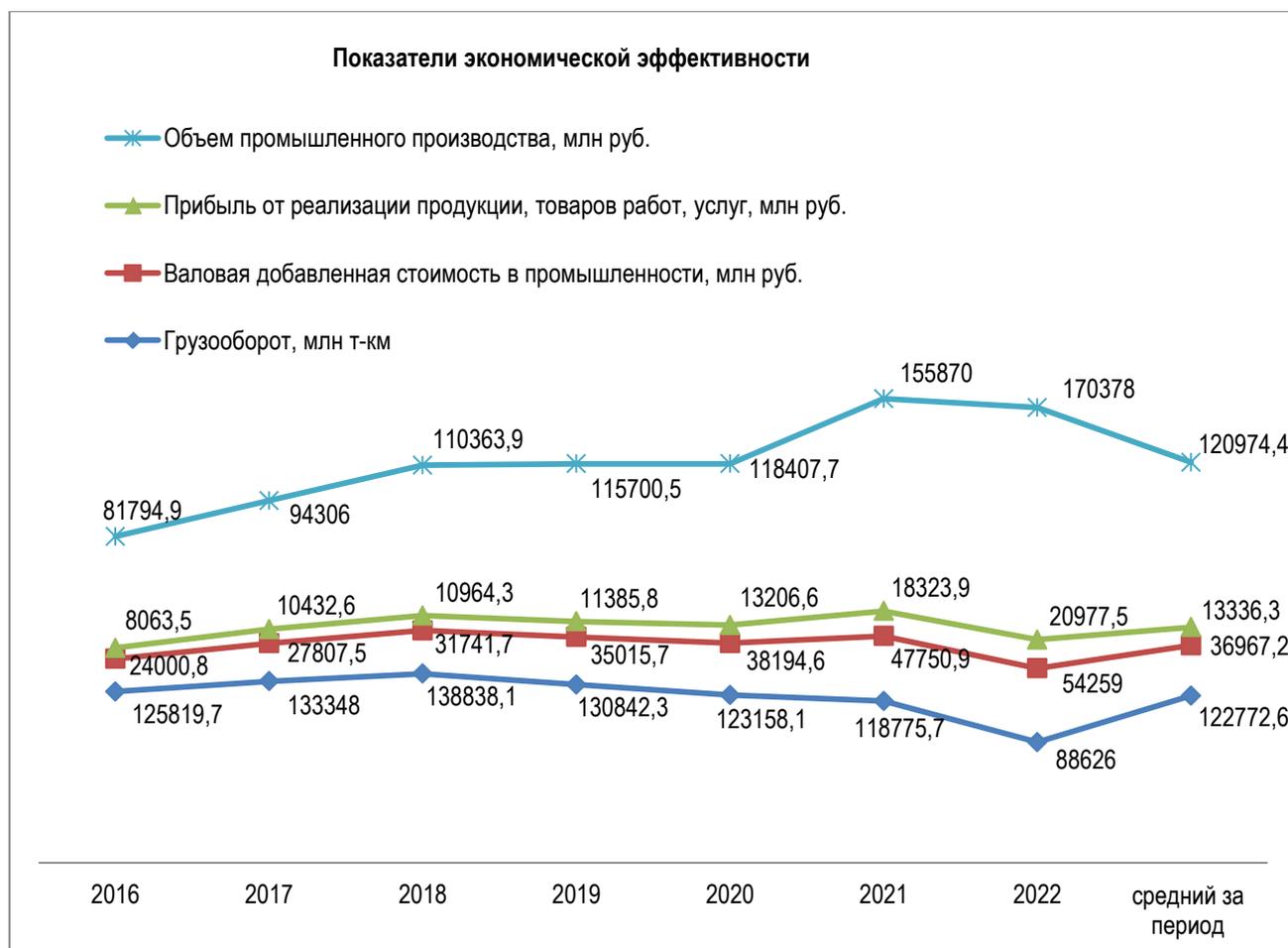


Рисунок 2 – Показатели экономической эффективности

Исследования на макроуровне (таблица 1) показывают, что за период 2016–2022 гг. среднее значение валовой упущенной выгоды 939,35 млн руб. в Республике Беларусь из-за увольнения сотрудников.

В таблице 1 также был рассчитан коэффициент приверженности (%) – обратный показатель текучести кадров.

$$\text{Приверженность} = \frac{1}{K_{\text{тек}}},$$

где $K_{\text{тек}}$ – текучесть кадров.

Приверженность – это состояние или качество человека, который предан, склонен к какой-либо идее, убеждению или ценности. Это означает верность, постоянство и готовность действовать в соответствии с убеждениями.

Приверженность персонала – важный показатель, отражающий привязанность и преданность сотрудников организации. Сущность показателя приверженности персонала заключается в оценке эмоциональной приверженности, нормативной приверженности, инструментальной приверженности (восприятие сотрудниками выгод и за-

трат, связанных с уходом из организации, оценка альтернативных вариантов трудоустройства и доступности), приверженности карьерному росту.

Исследования показывают, что чем выше приверженность персонала, тем выше продуктивность результата работы, снижение текучести кадров, более позитивное отношение к работе, улучшенное обслуживание клиентов, повышение инноваций и творчества, улучшение репутации бренда работодателя.

Отслеживание и измерение показателя приверженности персонала помогает организациям улучшить вовлеченность сотрудников, повысить мотивацию и создать позитивную рабочую среду.

В связи с вышеизложенным, предлагаем условие для удержания сотрудника в компании, такое как возврат денежных средств, который можно использовать как один из инструментов управления для повышения мотивации персонала компании к непрерывной работе.

Существующие программы управления персоналом компаний в своей практике и предлагаемая методика использования ими возврата денежных средств (таблица 2).

Таблица 2 – Программы управления персоналом компаний

Программа	Описание программы	Условия выплат	Частота выплат
Существующие			
Премирование	программа премирования, в рамках которой сотрудники получают дополнительные денежные вознаграждения за достижение определенных целей или отличные результаты в работе	это может быть связано с достижением установленных показателей производительности, выполнением проектов в срок или превышением ожидаемых результатов	переменная
Бонусы за проекты	сотрудникам можно предложить дополнительные денежные вознаграждения в качестве бонуса. Это не только стимулирует усилия в работе, но и признает их вклад в успех компании	когда сотрудники выполняют успешные проекты или достигают важных мильных камней	переменная
Деление прибыли	это может стать мощным стимулом для персонала, поскольку они видят прямую связь между своими усилиями и финансовым успехом компании	сотрудники могут получать дополнительные денежные вознаграждения в виде доли прибыли, которая распределяется между ними, в зависимости от вклада в компанию	переменная
Бонусы за стаж	для поощрения долголетия сотрудников в компании можно создать программы бонусов за стаж	сотрудникам, которые проработали определенное время в компании, предоставляются дополнительные денежные льготы или вознаграждения	постоянная
Программы реферальных вознаграждений	программа, поощряющая сотрудников рекомендовать подходящих кандидатов на вакансии в компании. Это стимулирует сотрудников их участие в процессе привлечения новых талантов	если рекомендация приводит к успешному найму, сотрудник получает денежную премию	переменная
Предлагаемая			
Возврат денежных средств	программа возврата денежных средств при условии непрерывной работы в компании в течение года	если сотрудник работает в компании непрерывно в течение года	постоянная

В качестве примера повышения мотивации к непрерывной работе можно привести методику возврата подоходного налога в конце года сотрудникам компании, которая может быть апробирована на основе следующих данных.

Предположим, у налогоплательщика есть годовой доход в размере 20 000 рублей, а ставка подоходного налога составляет 13 %.

1. Расчет подоходного налога на доход:

Налог на доход = Годовой доход * ставка подоходного налога = 20 000 * 0.13 = 2600 рублей.

2. Расчет возврата подоходного налога:

Возврат подоходного налога = Годовой подоходный налог * маргинальная ставка вклада сотрудника в эффективное использование суммы годового подоходного налога = 2600 * 0.35 = 910 рублей.

Таким образом, в данном примере возврат подоходного налога составляет 910 рублей.

Получается, что в конце года налогоплательщику компании идет возврат подоходного налога при условии непрерывной работы в компании в течение года.

Заключение

Чтобы ценные кадры оставались в компании надолго, необходимо применять программы удержания персонала, чтобы сотрудники понимали выгоду вклада своих компетенций в проекты организации не в случайном порядке, а на постоянной основе при выполнении определенных условий.

Успешность использования возврата денежных средств для повышения мотивации персонала зависит от различных факторов, включая культуру компании, ожидания сотрудников и конкретные цели, которые хочет достичь компания. Поэтому важно провести анализ и внедрить методику возврата денежных средств с учетом специфики компании.

Эффективное управление этими проблемами включает в себя стратегии удержания сотрудников, создание стимулов для долгосрочного сотрудничества и продуманное планирование карьерного роста. Анализ валовой упущенной выгоды поможет руководству понять реальный экономический ущерб, который наносит текучесть кадров, и принимать обоснованные решения для улучшения управления персоналом.

Удержание сотрудников должно быть частью корпоративной культуры – то есть методы удержания персонала необходимо применять всегда, а не только тогда, когда текучесть кадров уже достигла критических масштабов [4].

Если компания следует стратегиям и проявляет подлинное беспокойство о благополучии сотрудников, ей не придётся выплачивать самую высокую зарплату, чтобы иметь самый низкий уровень текучести кадров [2].

Таким образом, предлагаемая методика оценки валовой упущенной выгоды опочивает организации определить возможности для улучшения и роста ее экономики за счет снижения текучести персонала, а также разработать стратегии, направленные на устранение упущенной прибыли и обеспечение эффективного использования трудовых ресурсов.

Список цитированных источников

1. Работа не мечты. Почему в компании большая текучка кадров и что с этим делать [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://happy-job.ru/hr-blog/rabota-ne-mechty-pochemu-v-kompanii-bolshaya-tekuchka-kadrov-i-chto-s-etim-delat>. – Дата доступа: 22.03.2024.
2. Севостьянов, Д. А. Роль текучести кадров в организации, причины ее возникновения и стратегии по удержанию персонала [Электронный ресурс] / Д. А. Севостьянов, А. А. Гоголева. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32722300>. – Дата доступа: 15.03.2024.
3. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/socialnaya-sfera/trud>. – Дата доступа: 25.03.2024.
4. Трифанов, С. Е. Управление качеством управления персоналом финансовой организации: на примере удержания специалистов по продажам [Электронный ресурс] / С. Е. Трифанов. – Режим доступа: <http://publishing-vak.ru/file/archive-economy-2022-9/d38-trifanov.pdf>. – Дата доступа: 05.03.2024.

References

1. Rabota ne mechty. Pochemu v kompanii bol'shaya tekuchka kadrov i chto s etim delat' [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://happy-job.ru/hr-blog/rabota-ne-mechty-pochemu-v-kompanii-bolshaya-tekuchka-kadrov-i-chto-s-etim-delat>. – Data dostupa: 22.03.2024.
2. Sevost'yanov, D. A. Rol' tekuchesti kadrov v organizacii, prichiny ee vznikoneniya i strategii po uderzhaniyu personala [Elektronnyj resurs] / D. A. Sevost'yanov, A. A. Gogoleva. – Rezhim dostupa: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32722300>. – Data dostupa: 15.03.2024.
3. Nacional'nyj statisticheskij komitet Respubliki Belarus' [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/socialnaya-sfera/trud>. – Data dostupa: 25.03.2024.
4. Trifanov, S. E. Upravlenie kachestvom upravleniya personalom finansovoj organizacii: na primere uderzhaniya specialistov po prodazham [Elektronnyj resurs] / S. E. Trifanov. – Rezhim dostupa: <http://publishing-vak.ru/file/archive-economy-2022-9/d38-trifanov.pdf>. – Data dostupa: 05.03.2024.

Материал поступил 06.03.2024, одобрен 07.05.2024, принят к публикации 05.06.2024

MAIN APPROACHES TO THE DEFINITION OF THE CONCEPT «LABOR RESOURCES»

T. D. Zakharchuk

Graduate student, Brest State Technical University, Brest, Belarus, e-mail: mim@bstu.by

Abstract

Currently, there are many approaches to the definition of the concept of "labor resources". The article discusses different interpretations of the concept of "labor resources", such as "labor potential", "human resources", "human capital", "labor force", "staff". Common signs and differences of the concept of "labor resources" are revealed. The author's concept of labor resources is proposed.

Keywords: labor resources, labor potential, labor force, human resources, personnel, human capital.

ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОНЯТИЯ «ТРУДОВЫЕ РЕСУРСЫ»

Т. Д. Захарчук

Реферат

В настоящее время существует множество подходов к определению понятия «трудовые ресурсы». В статье рассмотрены разные интерпретации понятия «трудовые ресурсы», такие как «трудовой потенциал», «человеческие ресурсы», «человеческий капитал», «рабочая сила», «персонал». Выявлены общие признаки и отличия понятия «трудовые ресурсы». Предложено авторское понятие трудовых ресурсов.

Ключевые слова: трудовые ресурсы, трудовой потенциал, рабочая сила, человеческие ресурсы, персонал, человеческий капитал.

Introduction

The article presents a brief overview of scientific research by domestic and foreign scientists regarding the definition of the concepts of "labor resource", "labor potential", "human capital", "human resources", "labor force", "personnel". The key factor in the effective organization of production at an enterprise is people and their rational use.

Labor resources serve as one of the main elements of production. Providing an organization with the necessary amount of labor resources, their appropriate use, and a high level of labor productivity are important for increasing production volumes and increasing production efficiency.

Efficiency in the use of labor resources is an important economic term, defined as achieving the greatest effect with minimal expenditure of labor resources and is measured as a quotient of the result and the cost of living labor

Therefore, it is necessary to make great efforts to find and attract employees who have the most complete set of favorable and valuable characteristics and qualities: professional, personal, business qualifications. At the same time, there is a discrepancy in terminology to designate this resource for production activities.

With the development of market relations in the production system of an organization, labor resources play an increasingly important role. Until now, various concepts have been used in the theory and practice of management: "human resource management", "labor management", "personnel management", "personnel management", "human resource management", "personnel work", "personnel policy" and others, one way or another related to human labor activity and its management.

The presented article provides a brief overview of the scientific research of domestic and foreign scientists regarding the definition of the concepts of "labor resource", "labor potential", "labor force". Understanding the elements that form the basic part of the concept of "labor resource" and "labor potential" further provides a correct interpretation of functional dependence within the framework of the structure of distribution of administrative tasks and functions between employees of the organization. Therefore, in order for an organization to function effectively, it is necessary to determine the goals and objectives of the formation of labor resources. In this regard, it is advisable to consider and analyze the concept of "labor resources" from the perspective of its content.

Labor resources are the main driving forces of activity, as they produce results. This scientific article provides a theoretical review of the opinions of different authors on the concept of "enterprise labor resources". In addition, concepts such as labor force, employee labor potential, human capital are currently used, the essence of which was also reflected in this scientific article. Based on the stated opinions, a classifi-

cation of labor resources was carried out according to general and distinctive characteristics. To reflect the full essence of the concept of "labor resources," a definition of labor resources was proposed.

Basic approaches to defining the concept of "labor resources"

Let us consider various approaches of scientists to the definition of the concept of "labor resources". In his article, Academician S. G. Strumilin was one of the first to formulate the concept of "labor resources" in 1922 – this is the part of the population that has the physical development and intellectual (mental) abilities necessary for work [9].

Yu. M. Ostapenko believes that this is "the working part of the population that has the physical development, mental abilities and knowledge necessary to perform useful work in the national economy" [1].

O. V. Baskakova notes that labor resources, from an economic point of view, determine the relationship of the working population with the physical and intellectual ability to work, with the conditions of reproduction of the labor force determined by the state [1].

A. T. Romanova notes that the size of the working-age population, the size of the population in the country, as well as the working-age population not engaged in the labor process, acts as a planned accounting indicator [6].

V. V. Adamchuk, K. S. Remizov and others define the category "labor resources" as a part of the population that has the appropriate professional knowledge, physical and intellectual skills and the ability to work in any field of labor, i.e. they are considered from the point of view of the participation of the working population in the public sector of the economy [3]. According to the existing methodology, the concept of "labor resources" is a part of the country's population that has the physical development, mental abilities and knowledge necessary to work in the national economy [4].

By systematizing various approaches to defining the concept of "labor resources," we can highlight some interpretations of its interpretation. This is a consideration of labor resources as one of the forms of the expression "human resources". AND I. Kibanov in his works argues that "human resources" is a concept that reflects the main wealth of any society, the prosperity of which is possible by creating conditions for the reproduction, development and use of this resource, taking into account the interests of each person [5].

G. V. Savitskaya believes that "the labor force includes that part of the population that has the necessary physical data, knowledge and labor skills in the relevant industry" [8]. The same opinion is shared by Doctor of Economic Sciences, Professor V. I. Barilenko [1].

E. G. Zhulin defines the essence of the concept as follows: "labor resources represent the able-bodied part of the population, which, having the physiological and intellectual abilities to work, is capable of producing material goods and providing services. Labor resources include employed (functioning in the economy) people and unemployed people, but capable of starting work at any time. Thus, labor resources are real and potential workers [7].

Yu. P. Kokin considers labor resources as a category that occupies an intermediate position between the economic categories "population" and "total labor force". In quantitative terms, the labor force includes the entire working-age population employed, regardless of age, in the spheres of the public economy and individual labor activity. They also include persons of working age, potentially capable of participating in labor, but employed in household and private farming, in off-the-job studies, and in military service [10].

In a broad sense, the interpretation of the concept of "labor resources" is identified with the category of "labor potential". The labor potential of an employee is "a measure of available resources and opportunities that are formed continuously throughout the life of an individual, are realized in behavior when performing work and determine its real fruitfulness. Based on his labor potential, an adult becomes a member of society" [6].

It should be noted that, in contrast to labor resources, which determine the quantity and structure of the labor force, labor potential characterizes its quality and potential. In modern scientific sources, the term "human capital" is often used, and "labor resources" are an integral part of it. The concepts of the foundations of the formation of human capital were laid down in the works of the founders of classical economic theory: A. Smith, D. Riccardo and others. They were among the first to introduce into science ideas about the importance of labor, human ability, and his education in increasing the wealth of the country and its population [2].

T. Schultz was one of the first to define human capital. He wrote: "The concept of capital presupposes the existence of something that ac-

tually exists, that has the economic property of providing future services of some value. Understanding capital as something that provides future services allows us to further divide the whole into two parts: human and non-human capital" [2].

S. A. Dyatlov defined human capital as "a certain supply of health, knowledge, skills, abilities, motivations, formed as a result of investments and accumulated by a person, which are expediently used in a certain area of social reproduction, contribute to increasing labor productivity and production efficiency, and, consequently, influence the growth of earnings (income) of this person" [7].

The concept of "labor resources" is also identified with the concept of "labor force". Thus, the meaning of the term "labor" as a set of innate and acquired physical, intellectual and spiritual abilities of a person to work, necessary and directly intended for use in the production of goods and services, was revealed by M. Ya. Ozerov [8].

L. A. Androsova argues that labor is usually understood as a person's ability to work, that is, the totality of his physical and intellectual data that can be used in production [8].

Identification of the concepts of "human resources" with the concept of "personnel". The concept of "labor resources" covers all current and potential employees who have the ability to work. Within an individual company, the term "personal" is most often used. Personnel - a permanent composition of employees of the organization who make up a group for professional or other reasons, indicating the positions and salaries allocated for each position; the totality of all employees of an organization engaged in labor activities, as well as those on the balance sheet (included in the staff), but are temporarily not working for various reasons (vacation, illness, etc.) [10]. As a result of the analysis of various interpretations of the concept of "labor resources", the main approaches to its definition were identified, which, in turn, are the basis for the scientific conceptualization of the concept under study. Let us conduct a theoretical review of the concepts of "labor resources", highlight common features and differences, the results of which are presented in Table 1.

Table 1 – Theoretical review of the definition of the concepts of "labor resources"

Author	Definition	Difference	General signs
Kasimovsky E. V.	Labor resources are a specific set of working-age population participating in social production	–	Working age
Kibanov A. Ya. [2]	Labor resources are the working-age part of the population that has physical and intellectual capabilities and is capable of producing material goods or providing services.	Labor resources were considered as productive force	Working age, physical development
Kokina Yu. P., and Shlender P. E.	Labor resources occupy an intermediate position between the public and the general labor force. The authors define labor resources as a separate category, cut off from the rest of the population	Labor resources were considered as a separate category, cut off from the rest of the population	Work force
Magura M. I.	Labor resources are the part of the country's population that, due to their physical development, mental abilities and knowledge, is capable of working in the national economy.	–	Working age, physical development
Minakov I. A.	Labor resources as a key and productive force is a significant factor of production, the rational implementation of which guarantees the growth of production and its economic efficiency	Labor resources were considered as a productive force, as a factor of production	–
Ostapenko Yu. M.	Labor resources are the number of people who can be forced to work, that is, who are physically able to work.	–	Working age, physical development
Strumilin S. G. [10]	Labor resources is a planning and accounting category that characterizes part of population that is of working age.	Labor resources were considered as a planning and accounting category	Working age, physical development
Dolgushkin N. K. and Novikov V. G.	Labor resources are a part of the country's population that has important physical development, health, education, culture, opportunities, qualifications, and professional knowledge to work in the field of socially useful activities	Category of the population for work in the field of socially beneficial activities	A separate category of the population, physical development
E. G. Zhulina	Labor resources represent the able-bodied part of the population, which, having the physiological and intellectual abilities to work, is capable of producing material goods and providing services.	Labor resources are real and potential workers	Working age, physical development

Conclusion

One of the elements of the productive forces is the labor resources of society. They express man's relationship to nature and at the same time are endowed with a certain social socio-economic content and can be considered as an independent category in which productive forces and production relations interpenetrate and mutually determine each other.

The distribution and use of labor resources must be studied in sufficient connection with technological progress. At present, there is no republic where large scientific teams are not working on the problems of labor resources.

Interest in these problems is not accidental. It is due to the fact that labor is the basis of all economic processes occurring in society. The labor and working time available to society are ultimately regulators of social production.

Numerous studies of the problem of labor resources show how far we are still from fully mastering the methods of controlling the use of labor resources that society has, how false the tasks of science and practice are in order to bring society closer to the ideal - the full and rational use of labor resources.

Let us summarize from all of the above. In order to fully reflect the essence of the concept of "labor resources", the following definition can be proposed: "labor resources are a real, active part of the labor potential, expressed in the number of capable personnel possessing a set of necessary physical, mental and spiritual skills that are realized only in the process creation of tangible goods and services over a period of time."

References

1. Analiz hozyajstvennoj deyatel'nosti: uchebnoe posobie / V. I. Barilenko [i dr.]; pod red. V. I. Barilenko. – M. : Izdatel'stvo «Omega-L», 2009. – 414 s.
2. Armstrong, M. Oplata truda: Prakticheskoe rukovodstvo po postroeniyu optimal'noj sistemy oplaty truda i voznagrazhdeniya personala / M. Armstrong, T. Stivens ; per. s angl. O. V. Teplyh ; pod red. T. V. Gerasimovoj. – Dnepropetrovsk : Balans Biznes Buks, 2013. – 512 s.
3. Galiullin, H. YA. Metodologicheskie problemy ocenki ekonomicheskoy effektivnosti truda / H. YA. Galiullin, G. P. Ermakov // Problemy sovremennoj ekonomiki. – 2013. – № 4 (48). – S. 159–164.
4. Gastev, A. K. Kak nado rabotat': Prakticheskoe vvedenie v nauku organizacii truda / A. K. Gastev ; pod obshch. red. N. M. Bahraha [i dr.]. – Izd. 3-e. – M. : LIBROKOM, 2013. – 480 s.
5. Gorskina, L. S. Kachestvo trudovoj zhizni na promyshlennyh predpriyatiyah – mif ili real'nost' / L. S. Gorskina // Upravlenie ekonomicheskimi sistemami: elektronnyj nauchnyj zhurnal. – 2017. – № 2. – S. 17–18.
6. Gretchenko, A. I. Proizvoditel'nost' truda: aktivizaciya chelovecheskogo faktora / A. I. Gretchenko. – M. : Ekonomika, 2013. – 143 s.
7. Zhulina, E. G. Ekonomika truda: uchebnoe posobie / E. G. Zhulina. – M. : Eksmo, 2010. – 208 s.
8. Savickaya, G. V. Analiz hozyajstvennoj deyatel'nosti predpriyatiya / G. V. Savickaya. – 4-e izd., pererab. i dop. – Minsk : 000 «Novoe znanie», 2000. – 688 s.
9. Strumilin, S. G. Nashi trudovye resursy i perspektivy / S. G. Strumilin // Hozyajstvennoe stroitel'stvo. – 1922. – Vyp. 2. – S. 32–46.
10. Ekonomika truda : uchebnyk / pod red. YU. P. Kokina, P. E. Shlendera. – 2-e izd., pererab. i dop. – M. : Magistr, 2010. – 686 s.

Список цитированных источников

1. Анализ хозяйственной деятельности: учебное пособие / В. И. Бариленко [и др.]; под ред. В. И. Бариленко. – М. : Издательство «Омега-Л», 2009. – 414 с.
2. Армстронг, М. Оплата труда: Практическое руководство по построению оптимальной системы оплаты труда и вознаграждения персонала / М. Армстронг, Т. Стивенс ; пер. с англ. О. В. Теплых ; под ред. Т. В. Герасимовой. – Днепропетровск : Баланс Бизнес Букс, 2013. – 512 с.
3. Галиуллин, Х. Я. Методологические проблемы оценки экономической эффективности труда / Х. Я. Галиуллин, Г. П. Ермаков // Проблемы современной экономики. – 2013. – № 4 (48). – С. 159–164.
4. Гастев, А. К. Как надо работать: Практическое введение в науку организации труда / А. К. Гастев ; под общ. ред. Н. М. Бахраха [и др.]. – Изд. 3-е. – М. : ЛИБРОКОМ, 2013. – 480 с.
5. Горскина, Л. С. Качество трудовой жизни на промышленных предприятиях – миф или реальность / Л. С. Горскина // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. – 2017. – № 2. – С. 17–18.
6. Греченко, А. И. Производительность труда: активизация человеческого фактора / А. И. Греченко. – М. : Экономика, 2013. – 143 с.
7. Жулина, Е. Г. Экономика труда: учебное пособие / Е. Г. Жулина. – М. : Эксмо, 2010. – 208 с.
8. Савицкая, Г. В. Анализ хозяйственной деятельности предприятия / Г. В. Савицкая. – 4-е изд., перераб. и доп. – Минск : 000 «Новое знание», 2000. – 688 с.
9. Струмилин, С. Г. Наши трудовые ресурсы и перспективы / С. Г. Струмилин // Хозяйственное строительство. – 1922. – Вып. 2. – С. 32–46.
10. Экономика труда : учебник / под ред. Ю. П. Кокина, П. Э. Шлендера. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Магистр, 2010. – 686 с.

Материал поступил 12.04.2024, одобрен 08.05.2024, принят к публикации 08.05.2024

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КОНКУРЕНЦИИ И ЕЕ РОЛЬ В ФОРМИРОВАНИИ НАЦИОНАЛЬНЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Н. П. Четырбок

*К. э. н., доцент, первый проректор, ГУО «Брестский областной институт развития образования», Брест, Беларусь,
e-mail: natabrest@hotmail.com*

Реферат

Теоретические подходы к определению таких понятий, как конкуренция, конкурентоспособность национальных экономических систем весьма многогранны и разнообразны. При этом отсутствует анализ функциональной взаимосвязи составляющих данных понятий. Еще более актуально стоит вопрос их применения и приложения на такой объект исследования, как экономические системы. В данной статье рассмотрены такие понятия, как конкуренция, конкурентные отношения, конкурентная среда, конкурентная борьба относительно национальных экономических систем.

Ключевые слова: конкуренция, конкурентные отношения, конкурентная среда, конкурентная борьба, национальные экономические системы.

THEORETICAL ASPECTS OF COMPETITION AND ITS ROLE IN THE FORMATION OF NATIONAL ECONOMIC SYSTEMS

N. P. Chetyrbock

Abstract

Theoretical approaches to defining such concepts as competition and the competitiveness of national economic systems are very multifaceted and diverse. At the same time, there is no analysis of the functional relationship of the components of these concepts. Even more pressing is the question of their application and application to such an object of study as economic systems. This article examines such concepts as competition, competitive relations, competitive environment, competition in relation to national economic systems.

Keywords: competition, competitive relations, competitive environment, competitive struggle, national economic systems.

Введение

Если идти от истоков, то этимологически понятие «**конкуренция**» происходит от латинского термина *conspicentia*, который можно перевести как «столкновение», что как нельзя лучше отражает сущность экономических отношений, складывающихся в процессе борьбы за лидерство между субъектами хозяйствования на глобальных и локальных рынках. По сути это особый вид соперничества между странами за ресурсы и инвестиции, а между предприятиями – за выгодные условия хозяйствования и максимизацию прибыли. В то же время существуют и иные взгляды на конкуренцию. Так, в *классической экономической теории* она предстаёт как саморегулирующий механизм коммерческой деятельности, уравнивающий спрос и предложение на товарном рынке. В *современной же микроэкономической теории* конкуренция рассматривается в качестве свойства последнего, где под ней подразумевается уже не соперничество, а степень зависимости общих рыночных условий от поведения его отдельных участников.

Как следует из вышесказанного, представления о содержании конкуренции и ее роли в формировании и развитии экономических отношений весьма разнообразны, что не позволяет однозначно сформулировать ее дефиницию. Рассмотрим более подробно данную дефиницию и ее роль в формировании национальных экономических систем.

Содержание и роль конкуренции в формировании национальных экономических систем

Основоположником теории конкуренции по праву считается А. Смит, сформулировавший базовые законы спроса и предложения. Им была разработана модель совершенной конкуренции, выявлена определяющая роль последней в функционировании рыночной экономики [1, с. 423]. Позднее основные идеи А. Смита о ценовом регулировании рынка на основе конкуренции развил Д. Риккардо, выявив значение конкуренции для развития экономики и определив условия ее возникновения. Ученый рассматривал конкуренцию как *необходимое условие рыночного ценообразования* [2].

Весьма весомый вклад в развитие классической экономической теории внес и Дж. Милль, он сделал вывод о том, что конкуренция не только

формирует условия для свободного ценообразования, но и сама является *экономическим законом, устанавливающим правила рыночного равновесия* [3, с. 394].

Новые черты классической теории конкуренции придал своими трудами А. Маршалл, который констатировал факт монопольного влияния на процесс ценообразования, а также отмечал, что при использовании нововведений, позволяющих повысить экономическую эффективность, в краткосрочном периоде конкуренция отсутствует, позволяя предпринимателям получать прибыль выше среднего уровня [4, с. 6–12].

Таким образом, можно констатировать, что в рамках классической экономической теории конкуренция рассматривается не только как имманентное рыночному свойство, но и как объективный **закон развития рыночной экономической системы**, который выступает важнейшим механизмом обеспечения ее эффективности, пропорциональности и динамичности. Однако появление к началу XX века крупных компаний и их объединений потребовало радикальной корректировки подходов к разработке рыночной модели.

Так возникла *структурная концепция конкуренции*, в которой акцент сместился с исследования борьбы между конкурентами на анализ структуры рынка. Э. Чемберлин разработал модель монополистической конкуренции, согласно которой на рынке функционирует большое число продавцов и деятельность одного из них не влияет на эффективность деятельности его конкурентов. Кроме того, на основе анализа феномена дифференциации продукта он выдвинул обновленную концепцию ценообразования с ведущей ролью неценовых факторов [5].

В том же году вышла известная работа британского ученого-экономиста Дж. Робинсона, посвященная *несовершенной конкуренции*, где в центре исследования оказались монополии и их влияние на ценообразование и трансформацию конкуренции в сравнении с неоклассической моделью совершенной конкуренции. Ее несомненной заслугой стала также разработка концепции монополии как зеркального отражения монополии с диктатом одного покупателя над поставщиками продукции производственного назначения [6].

Но к концу XX века конкуренция стала снова приобретать новые черты. Центр конкурентного противостояния переместился из сферы

обращения в сферу производства на межотраслевой и интернациональном уровне. Причиной этих изменений послужила глобализация экономики, транснационализация ее структуры, а также ускорение темпов научно-технического прогресса, что потребовало от ученых дальнейшего развития основных положений теории конкуренции [7, с. 18; 8, с. 159].

Свое продолжение она получила благодаря работам М. Портера, А. Стрикленда, А. Томпсона, И. Ансоффа и др. Особое внимание заслуживает работа М. Портера, который представил свое видение **эффективной конкуренции**, согласно которой компании для успешного развития необходимо достичь лидерства в одной из трех областей: в продукте, цене или узкой рыночной нише.

В рамках данной теории он разработал три вида конкурентных стратегий, позволяющих предприятиям устанавливать более высокие цены на производимую ими продукцию. К ним он отнес [9]:

- лидерство в снижении издержек;
- дифференциацию продукции на основе ее индивидуализации;
- фокусирование на определенных типах покупательских предпочтений.

Основываясь на исследованиях М. Портера, Дж. Стрикленд и А. Томпсон выделили свои пять вариантов подходов к выбору конкурентной стратегии компании [10, с. 153]:

1. Стратегия лидерства на основе низких издержек. Стремление стать поставщиком самых дешевых товаров и услуг, привлекательных для широкого круга потребителей.

2. Стратегия дифференциации, или индивидуализации. Стремление индивидуализировать свою продукцию для того, чтобы она отличалась от продукции конкурентов и таким образом стала более привлекательной для широкого круга покупателей.

3. Стратегия наилучшей стоимости. Предложение потребителям большей реальной ценности денег с упором на сочетание низких издержек и дифференциации качества. Цель состоит в том, чтобы иметь наилучшие (наиболее низкие) издержки и цены, чем у продукции конкурентов, обладающей аналогичными свойствами и качеством.

4. Стратегия концентрации на узком сегменте или нише рынка на основе низких издержек. Концентрация на узком потребительском сегменте и опережение конкурентов за счет более низких издержек.

5. Стратегия концентрации на узком сегменте или нише рынка на основе дифференциации. Предложение узкому сегменту рынка товаров и услуг, индивидуализированных под его вкусы и потребности.

В ходе дальнейшего осмысления изменений, происходящих в экономике, М. Портер дает новую оценку роли конкуренции в ее развитии. Согласно его взглядам, в качестве основной характеристики современного рынка следует рассматривать **конкурентную среду**, существующую между акторами экономической системы и являющуюся главным фактором, обуславливающим интенсивность конкуренции, то есть он переходит от построения абстрактных моделей рыночной конкуренции к исследованию ее практической сущности на уровне хозяйствующих субъектов, являющихся ее фактическими носителями.

Тогда начальное звено этой логической цепочки можно представить следующим образом (рисунок 1).

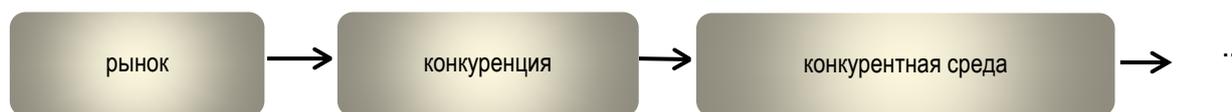


Рисунок 1 – Трансформация парадигмы рыночной конкуренции

Далее для ее описания он задает конкурентное пространство, основанное на пяти измерениях, имеющих как в научной среде, так и в практике использования, достаточно широкое толкование. В авторской интерпретации они выглядят как угроза появления товаров заменителей, угроза появления новых конкурентов, способность поставщиков торговаться, способность покупателей торговаться, соперничество между имеющимися конкурентами [11; 12, с. 52, 53].

Чтобы обеспечить корреляцию логики построения данного вида пространства с терминологией, используемой в теории конкуренции, названные измерения, с нашей точки зрения, можно интерпретировать соответственно как влияние научно-технического прогресса на конъюнктуру рынка, уровень барьеров входа на рынок, тип конкурентного рынка и, что в рассматриваемом контексте наиболее значимо, характер **конкурентных отношений**, складывающихся между его участниками.

Рассмотрим выделенные нами понятия конкурентной среды и конкурентных отношений отдельно.

Известный немецкий экономист Вальтер Ойкен (1947 г.) определил **конкурентную среду** как **конкурентный порядок**, осуществляемый на основе законодательно закрепленных норм и правил хозяйствования [13]. Но, несмотря на сделанную им объективно верную теоретическую посылку, ученым не удалось выработать единого подхода к определению данного понятия, в связи с чем в экономической литературе и по настоящее время встречаются его разнообразные трактовки.

Так российский профессор Н. И. Усик представляет конкурентную среду в виде **институциональных условий** деятельности субъектов рынков, формируемых с помощью инструментов государственной конкурентной политики. При этом, по ее мнению, сущность конкурентной среды заключается в **обеспечении механизма конкуренции**, а содержание – выражается в **нормах и правилах функционирования** бизнеса в регулируемой правительством экономической системе [14, с. 35].

Однако, при всей логической обоснованности данной трактовки, она выглядит несколько эклектично для дефиниции. В ней одновременно наличествуют такие ключевые словосочетания как: институцио-

нальные условия, механизм обеспечения конкуренции, нормы и правила функционирования, что затрудняет цельность ее восприятия.

Ряд авторов делают упор в определении конкурентной среды на состоянии борьбы, соперничества между производителями. В частности, В. И. Воронов считает, что конкурентная среда – это сложившаяся ситуация, в рамках которой производители товаров и услуг находятся в **состоянии борьбы** за потребителей, поставщиков, партнеров и преобладающее положение на рынке. Е. Е. Баин и Л. Г. Воробьева под конкурентной средой понимают **соперничество между производителями** однородных товаров и услуг за потребителя, поставщиков, положение на рынке. Правда, данное соперничество, по их мнению, должно происходить в **рамках** совокупных экономических, правовых, природных и других условий, которые напрямую влияют на конкурентное преимущество производителя [15, 16].

Но и борьба и соперничество – это не среда, а результат конкурентных отношений, складывающихся между акторами экономической системы под воздействием внешних вызовов, в том числе диктуемых этой средой.

Также неадекватным представляется нам определение, согласно которому конкурентная среда рассматривается как **рынок**, на котором свободно соперничают субъекты конкурентной борьбы за право продать свой товар свободному покупателю [17], так как конкурентная среда по М. Портеру (с чем мы абсолютно согласны) – это то, что обуславливает интенсивность конкуренции на рынке, а не сам рынок.

Наиболее близкой нашим представлениям является позиция А. С. Новоселова, который интерпретирует конкурентную среду как совокупность рыночных сил и факторов, определяющих функционирование хозяйствующих субъектов и их отношения в ходе конкуренции [18, с. 115].

В результате можно сделать вывод, что в общепринятом понимании конкурентная среда представляет собой состояние рынка, благодаря которому субъекты предпринимательства могут конкурировать между собой за лучшие условия хозяйствования. При этом весьма значимым аспектом здесь является то, что она формируется не столько самими субъектами рынка, взаимодействие которых

складывается в результате соперничества, сколько детерминирует ся экзогенными факторами.

Однако, в нашем понимании, определения понятий должны не столько отражать суть и значимые, но детали, отражающие их содержание, сколько устанавливать взаимосвязи между ними и базовой категорией. Тогда можно сказать, что с точки зрения причинно-следственных связей **конкурентная среда представляет собой условия существования конкуренции как экономического феномена.**

Исходя из этих представлений, рассмотрим второе из выделенных нами понятий – **конкурентные отношения.**

Здесь следует отметить, что имеющиеся в научной литературе определения «конкурентных отношений», как самостоятельного экономического понятия, весьма не многочисленны и чаще всего алогичны.

Так, например, профессор А. Ш. Хасанова считает, что конкурентные отношения представляют собой *системное образование*, основными *структурными элементами* которого являются конкуренция и монополизм, организуемые и направляемые координирующим экономическим центром [19].

Но отношения как таковые виртуальны и не могут быть представлены в виде материальной системы, обладающей к тому же структурными элементами. По сути они представляют собой совокупность взаимодействий между субъектами и возникающих в их структуре взаимосвязей.

Е. И. Кузнецова также рассматривает *конкурентные отношения в виде целостной хозяйственной системы*, функционирующей на основе высокоразвитой технологии, частной собственности, конкуренции между участниками рыночных отношений и активного участия государства в регулировании макро- и микроэкономических процессов. Не говоря уже о том, что эта система в ее представлении

функционирует на основе *конкуренции между участниками рыночных отношений.* Но наиболее примечательным является тот факт, что по тексту своей авторской монографии [20] она фактически отождествляет понятия конкуренции и конкурентных отношений, используя их в качестве синонимов, что, с нашей точки зрения, методологически в корне не верно.

Наиболее адекватной нам представляется формулировка Г. Ю. Гуляева, согласно которой конкурентные отношения представляют собой взаимодействие субъектов хозяйствования, нацеленное на обеспечение их наилучшего положения в экономической системе, влекущее за собой получение большей прибыли, укрепление устойчивости на рынке, повышение репутации и имиджа компании [21].

В итоге можно сделать обобщающий вывод, согласно которому **конкурентные отношения представляют собой взаимосвязи между субъектами хозяйствования, формирующиеся в процессе их противоборствующего взаимодействия за экономическое лидерство на конкурентных рынках.**

В структуре же понятий, всесторонне характеризующих конкуренцию как базовую рыночную категорию, их следует определить в качестве **формы ее проявления, отражающейся в конкурентной рыночной среде, детерминируемой экзогенными факторами пентагонального конкурентного пространства.**

Как следует из данного нами определения, **формой выражения конкурентных отношений является конкурентная борьба.**

Тогда можно говорить о формировании еще одной группы понятий, являющейся продолжением и пока промежуточным звеном трансформационной логической цепочки, начало которой приведено на рисунке 2.

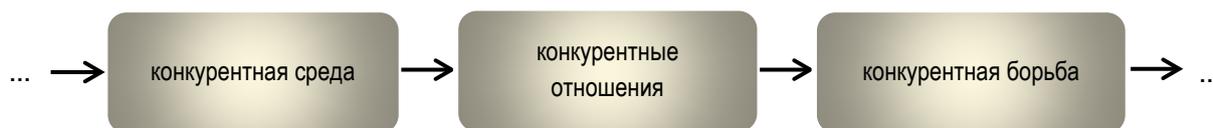


Рисунок 2 – Схема причинно-следственных связей между понятиями конкурентного пространства

В современной научной литературе понятию конкурентной борьбы внимания практически не уделяется, что, по-видимому, связано с очевидностью его восприятия. В энциклопедиях же оно идентифицируется с понятием конкуренции и традиционно рассматривается как процесс сознательного соперничества между экономическими агентами за наиболее выгодные условия продажи или покупки на рынке, или как борьба между экономическими субъектами за максимально эффективное использование факторов производства, что, несмотря на присутствующие формальные различия, не имеет содержательных отличий.

Но, согласно приведенной на рисунке 2, «конкурентная борьба» занимает в ней понятийную нишу, достаточно «удаленную от конкуренции», что требует для нее, на наш взгляд, отдельного определения.

Тогда, основываясь на сделанных нами выше ограничениях, **конкурентная борьба** должна рассматриваться в качестве **форм и методов рыночного поведения субъектов хозяйствования, детерминируемых складывающимися между ними отношениями в границах конкурентного пространства.**

Фактически речь идет о прямой взаимосвязи между понятием конкурентной борьбы и конкурентными стратегиями, рассмотренными нами выше в структурном варианте, предложенном Дж. Стриклендом и А. Томпсоном. В данном контексте родоначальник концепции стратегического менеджмента И. Ансофф также отмечает, что только пересмотр конкурентной позиции компании на рынке может повысить ее будущую эффективность до уровня, при котором она будет способна достичь поставленных целей [22, с. 206].

Такая авторская позиция по сути означает необходимость разработки компанией стратегии конкурентной борьбы в занимаемой ею рыночной нише, которая должна обеспечить ей предпочтительное положение на рынке по отношению другим его участникам. Поэтому М. Портер последовательно вводит в понятийный аппарат экономической науки понятие **конкурентного преимущества**, которое вы-

ражается в более низких чем у конкурентов издержках, а также в дифференцировании товара. Он рассматривает его как способность предоставлять целевым покупателям более высокую потребительскую ценность, чем конкуренты [23, с. 17; 24].

Развивая теорию М. Портера, белорусский ученый В. Ю. Шутин отмечает, что конкурентное преимущество в своей основе имеет объективные или субъективно ощущаемые и оцениваемые на уровне индивидуального выбора выгоды, которые субъект конкуренции в состоянии предоставить их приобретателю. По своему содержанию оно является относительной пространственно-временной характеристикой субъекта конкуренции [25, с. 10; 26, с. 41].

Очевидно, что такое поведение экономических субъектов является их *ответной реакцией на внешние вызовы, возникающие в результате конкурентной борьбы*, которая подталкивает их к приобретению *инновационных компетенций*, способных обеспечить им совершенствование существующего товара или создании нового, повышение эффективности производственно-хозяйственной деятельности. Предприятие, создавшее конкурентное преимущество, может стать монополистом, а предприятие, не совершенствующее свою деятельность, – превратиться в банкрота.

Следует отметить, что большинство исследователей имеют схожее представление о данном экономическом понятии. Так, например, А. К. Нестеров считает, что наличие у организации конкурентного преимущества означает ее превосходство над конкурентами, которое позволяет ей получать желаемую прибыль и удерживать прочные позиции на рынке [27]. Согласно [28] – это также набор отличий, который делает один бизнес перспективнее остальных и, в конечном итоге, привлекательнее для клиента.

Некоторые авторы (О. Н. Немченко, Н. М. Хачатурян, А. Ф. Бакланова) разделяют конкурентные преимущества на *внешние*, основанные на отличительных качествах товаров, образующих ценность для покупателя, и *внутренние*, базирующиеся на превосходстве

фирмы в отношении издержек производства и управления, создающие ценность для производителя [29].

Однако, хотя такой подход и представляется весьма креативным, но лежит он скорее в плоскости классификации, чем понятийного анализа.

Наиболее обоснованным, с научной точки зрения, выглядит, на наш взгляд, мнение аналитиков компании Active Sales Group, занимающихся маркетингом в сфере B2B. Интегрально они считают, что конкурентные преимущества компании – это ее уникальные материальные и нематериальные активы, воспринимаемые целевым рынком как значительные и превосходящие, но для которых затраты на создание не должны превышать их потребительской стоимости [30].

Надо сказать, что данное экономическое понятие является одним из ключевых, так как в нем отражаются экономические, научно-технические, производственные, организационно-управленческие и иные преимущества компании. В. Ю. Шутинин в своей работе [31] обосновал, что источником формирования конкурентных преимуществ субъекта экономической системы является его конкурентный потенциал. Более того, он считает, что по сути конкурентное преимущество является реализованным конкурентным потенциалом [25, с. 11].

Таким образом, ученый не разделяет, а объединяет материальное и нематериальное в рамках единого закона диалектики о переходе количественных отношений в качественные с помощью детерминированных им причинно-следственных связей. Следуя его логике, конкурентный потенциал можно трактовать как форму конкурентных преимуществ.

Однако, несмотря на то, что понятие конкурентного потенциала полностью подходит для использования в качестве исходного объекта при проведении структурно-функционального анализа, оно совершенно не годится для анализа сравнительного. Для целей последнего используется одно из самых востребованных сегодня в экономических исследованиях понятий – «конкурентоспособность». В рассматриваемом контексте конкурентоспособность можно представить в виде уровня развития конкурентного потенциала.

В итоге возникает возможность сформировать конечное звено в структуре трансформационной логической цепочки понятий, составляющих экономическую категорию конкуренции, начало которой было положено на рисунке 1. Схематично представим это звено с помощью рисунка 3.

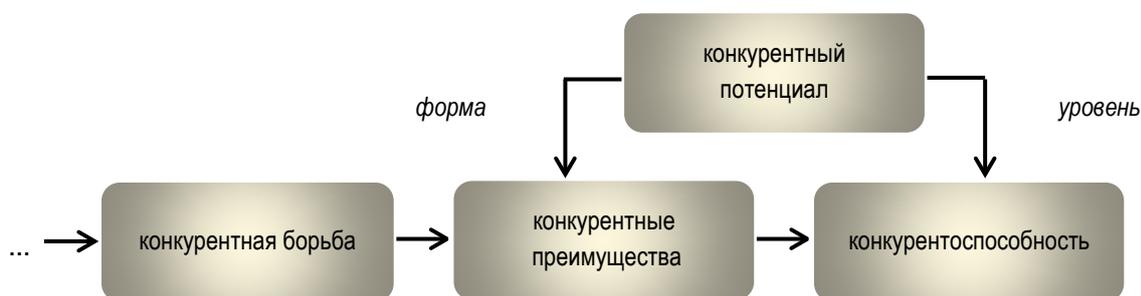


Рисунок 3 – Конечное звено в структуре трансформационной логической цепочки понятий, составляющих экономическую категорию «конкуренция»

Анализ литературных источников показал, что понятие конкурентного преимущества находится в прямой причинно-следственной связи с латентно искомым нами понятием конкурентоспособности и лежит в области корреляции теории, методологии и практики. **Конкурентоспособность** отражает наличие у компании определенных конкурентных преимуществ и ее способность использовать их в конкурентной борьбе.

Согласно [32] она представляется как результат, фиксирующий наличие конкурентных преимуществ по всем показателям, к которым относятся: прибыльность, эффективность методов управления, деловая активность, ликвидность активов и рыночная устойчивость предприятия. При этом производство и реализация конкурентоспособных товаров, а также эффективное использование располагаемых ресурсов в условиях конкуренции, остаются основными атрибутами конкурентоспособной организации. Поэтому российский исследователь В. Н. Лукьяненко определяет конкурентоспособность как базу для формирования и использования конкурентных преимуществ [33, с. 114].

Но данная терминологическая общность при определении понятия конкурентоспособности выделяется далеко не всеми исследователями. Так, наиболее авторитетный в этой области ученый М. Портер подчеркивал, что конкурентоспособность – это «свойство товара, услуги, субъекта рыночных отношений выступать на рынке наравне с присущими там аналогичными товарами, услугами или конкурирующими субъектами рыночных отношений» [34, с. 17].

А, к примеру, П. С. Завьялов, в рамках настоящего обобщения, рассматривает конкурентоспособность в качестве возможности эффективной хозяйственной деятельности и ее практической прибыльной реализации в условиях конкурентного рынка [35].

Исходя из столь значительного разброса мнений, имеющего место в проанализированных нами литературных источниках, здесь, по-видимому, будет вполне уместно выразить и собственное мнение по рассматриваемому вопросу. Тогда, с нашей точки зрения, конкурентоспособность представляет собой характеристику

субъекта конкурентных отношений, отражающую его потенциальные возможности по противодействию внешним рыночным вызовам путем использования имеющихся у него компетентных преимуществ [36].

Заключение

Подводя итог проведенному исследованию, можно заключить, что реперными точками в системе рассмотренных нами понятий являются **конкуренция** как свойство рыночной экономической системы и **конкурентоспособность** как свойство рыночных субъектов, обеспечивающих ее реализацию. Основным же связующим их звеном, по-нашему мнению, является понятие **конкурентных отношений** как формы проявления конкуренции.

Список цитированных источников

1. Смит, А. Исследование о природе и причинах богатства народов : монография / А. Смит. – М. : Соцэкгиз, 1962. – 686 с.
2. Рикардо, Д. Начала политической экономии и налогового обложения : монография / Д. Рикардо. – М. : Эксмо, 2007. – 953 с.
3. Милль, Дж. Основы политической экономии : в 3 т. / Дж. Милль. – М. : Прогресс, 1980. – Т. 1. – 457 с.
4. Маршалл, А. Принципы экономической науки : в 3 т. / А. Маршалл. – М. : Прогресс, 1993. – Т. 1. – 414 с.
5. Чемберлин, Э. Теория монополистической конкуренции : монография / Э. Чемберлин. – М. : Экономика, 1996. – 349 с.
6. Робинсон, Дж. Экономическая теория несовершенной конкуренции : монография / Дж. Робинсон. – М. : Прогресс, 1986. – 471 с.
7. Полусамакова, Н. С. Развитие концепций конкуренции: эволюционный подход / Н. С. Полусамакова // Вестник Волгоградского государственного университета. Сер. 3: Экономика. Экология. – 2011. – № 1. – С. 13–19.

8. Надеин, Н. В. Теоретические исследования формирования и развития конкурентоспособности организаций / Н. В. Надеин // Вестник Самарского государственного университета. – 2015. – № 2. – С. 157–163.
9. Портер, М. Е. Конкуренция : монография / М. Е. Портер. – М. : Вильямс, 2005. – 608 с.
10. Томпсон, А. А. мл. Стратегический менеджмент: концепции и ситуации : учебник для вузов / А. А. мл. Томпсон, А. Дж. III Стрикленд. – М. : ИНФРА-М, 2000. – 412 с.
11. Понятие и сущность теории М. Портера о конкуренции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://baribar.kz/student/22814/ponyatie-i-sushhnost-teorii-m-portera-o-konkurentsii/> – Дата доступа: 23.10.2023.
12. Портер, Майкл. Международная конкуренция: Конкурентные преимущества стран: монография / Майкл Портер. – М. : Международные отношения, 1993. – 895 с.
13. Ойкен, В. Основные принципы экономической политики / В. Ойкен. – М. : Прогресс, 1995. – 426 с.
14. Усик, Н. И. Формирование конкурентной среды и конкурентная политика / Н. И. Усик // Теоретическая экономика. – 2012. – № 4. – С. 33–42.
15. Воронов, В. И. Конкурентная среда [Электронный ресурс] / В. И. Воронов. – Режим доступа: <https://center-yf.ru/data/Marketologu/konkurentnaya-sreda.php>. – Дата доступа: 07.12.2020.
16. Баин, Е. Е. Теоретические аспекты определения понятия «конкурентная среда в отрасли» [Электронный ресурс] / Е. Е. Баин, Л. Г. Воробьева. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/teoreticheskie-aspekty-opredeleniya-ponyatiya-konkurentnaya-sreda-v-otrasli>. – Дата доступа: 07.12.2023.
17. Теоретические основы анализа конкурентной среды предприятия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vuzlit.ru/1920500/teoreticheskie_osnovy_analiza_konkurentno_y_sredy_predpriyatiya. – Дата доступа: 07.12.2020.
18. Новоселов, А. С. Теория региональных рынков / А. С. Новоселов. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2002. – 448 с.
19. Хасанова, А. Ш. Конкурентные отношения и их трансформация в современных условиях: автореф. дисс. ... докт. экон. наук / А. Ш. Хасанова. – Казань : Казанский гос. техн. ун-т им. А.Н. Туполева, 1999. – 37 с.
20. Кузнецова, Е. И. Развитие конкурентных отношений и экономическая стратегия государства: монография / Е. И. Кузнецова. – М. : ЮНИТИ, Закон и право, 2012. – 383 с.
21. Гуляев, Г. Ю. Сущность и закономерности конкурентных отношений [Электронный ресурс] / Г. Ю. Гуляев. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/suschnost-i-zakonomenosti-konkurentnyh-otnosheniy>. – Дата доступа: 08.12.2023.
22. Ансофф, И. Новая корпоративная стратегия : монография / И. Ансофф. – СПб. : Питер Ком, 1999. – 416 с.
23. Алексеева, А. М. Конкурентные преимущества и их роль в рыночной экономике / А. М. Алексеева. – М. : МАКС Пресс, 2003. – 49 с.
24. Porter, M. E. Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance / M. E. Porter. – N.Y. : The Free Press, 1985. – 557 p.
25. Шутилин, В. Ю. Конкурентный потенциал машиностроительного комплекса Республики Беларусь: теория, методология, инструменты измерения, механизмы формирования: автореф. дисс. ... докт. экон. наук / В. Ю. Шутилин. – Минск : БГЭУ, 2017. – 42 с.
26. Шутилин, В. Ю. Конкурентное преимущество как характеристика рыночного превосходства: содержание, проблемы измерения / В. Ю. Шутилин // Весн. Беларус. дзярж. экан. ун-та. – 2016. – № 2. – С. 36–42.
27. Конкурентные преимущества // Энциклопедия Нестеровых [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://odiplom.ru/lab/konkurentnye-preimushchestva.html>. – Дата доступа: 10.12.2023.
28. Конкурентные преимущества: что это и как их развивать [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.business.ru/article/1634-konkurentnye-preimushchestva>. – Дата доступа: 10.12.2023.
29. Немченко, О. Н. Конкурентоспособность и конкурентные преимущества предприятия [Электронный ресурс] / О. Н. Немченко, Н. М. Хачатурян, А. Ф. Бакланова. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/konkurentosposobnost-i-konkurentnye-preimushchestva-predpriyatiya> – Дата доступа: 10.12.2023.
30. Конкурентные преимущества компании: виды и источники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://activesalesgroup.ru/konkurentnye-preimuzhestva-kompanii/>. – Дата доступа: 10.12.2023.
31. Шутилин, В. Ю. Конкурентный потенциал и конкурентные преимущества машиностроительного комплекса Республики Беларусь на современном этапе: ключевые индикаторы и тренды развития: монография / В. Ю. Шутилин; под науч. ред. В. Н. Шимова. – Минск : БГЭУ, 2016. – 223 с.
32. Веснин, В. Р. Менеджмент : учеб. / В. Р. Веснин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : ТК Велби, Изд-во Проспект, 2006. – 504 с.
33. Лукьяненко, В. Н. Соотнесение понятия «конкурентоспособность» и «конкурентные преимущества» / В. Н. Лукьяненко // Вестник ЗабГУ. – 2014. – № 6. – С. 114–120.
34. Портер, М. Конкурентная стратегия: Методика анализа отраслей и конкурентов : монография / М. Портер. – М. : Альпина Бизнес Букс, 2005. – 454 с.
35. Завьялов, П. С. Маркетинг в схемах, рисунках, таблицах / П. С. Завьялов. – М. : ИНФРА-М, 2001. – 496 с.
36. Четырбок, Н. П. Инновации и конкурентоспособность. Каузальность понятий = Innovation and competitiveness. Causality of definitions / Н. П. Четырбок // Инновации. – 2020. – № 12. – С. 43–47.

References

1. Smit, A. Issledovanie o prirode i prichinah bogatstva narodov : monografiya / A. Smit. – M. : Socekiz, 1962. – 686 s.
2. Rikardo, D. Nachala politicheskoy ekonomii i nalogovogo oblozheniya : monografiya / D. Rikardo. – M. : Eksmo, 2007. – 953 s.
3. Mill', Dzh. Osnovy politicheskoy ekonomii : v 3 t. / Dzh. Mill'. – M. : Progress, 1980. – T. 1. – 457 s.
4. Marshall, A. Principy ekonomicheskoy nauki : v 3 t. / A. Marshall. – M. : Progress, 1993. – T. 1. – 414 s.
5. CHemberlin, E. Teoriya monopolisticheskoy konkurencii : monografiya / E. CHemberlin. – M. : Ekonomika, 1996. – 349 s.
6. Robinson, Dzh. Ekonomicheskaya teoriya nesovershennoj konkurencii : monografiya / Dzh. Robinson. – M. : Progress, 1986. – 471 s.
7. Polusmakova, N. S. Razvitie koncepcij konkurencii: evolyucionnyj podhod / N. S. Polusmakova // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. 3: Ekonomika. Ekologiya. – 2011. – № 1. – S. 13–19.
8. Nadein, N. V. Teoreticheskie issledovaniya formirovaniya i razvitiya konkurentosposobnosti organizacij / N. V. Nadein // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2015. – № 2. – S. 157–163.
9. Porter, M. E. Konkurenciya : monografiya / M. E. Porter. – M. : Vil'yams, 2005. – 608 s.
10. Tompson, A. A. ml. Strategicheskij menedzhment: koncepcii i situacii : uchebnik dlya vuzov / A. A. ml. Tompson, A. Dzh. III Striklend. – M. : INFRA-M, 2000. – 412 s.
11. Ponyatie i sushhnost' teorii M. Portera o konkurencii [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://baribar.kz/student/22814/ponyatie-i-sushhnost-teorii-m-portera-o-konkurentsii/>. – Data dostupa: 23.10.2023.
12. Porter, Majkl. Mezhdunarodnaya konkurenciya: Konkurentnye preimushchestva stran: monografiya / Majkl Porter. – M. : Mezhdunarodnye otnosheniya, 1993. – 895 s.
13. Ojken, V. Osnovnye principy ekonomicheskoy politiki / V. Ojken. – M. : Progress, 1995. – 426 s.
14. Usik, N. I. Formirovanie konkurentnoj sredy i konkurentnaya politika / N. I. Usik // Teoreticheskaya ekonomika. – 2012. – № 4. – S. 33–42.
15. Voronov, V. I. Konkurentnaya sreda [Elektronnyj resurs] / V. I. Voronov. – Rezhim dostupa: <https://center-yf.ru/data/Marketologu/konkurentnaya-sreda.php>. – Data dostupa: 07.12.2020.

16. Bain, E. E. Teoreticheskie aspekty opredeleniya ponyatiya «konkurentnaya sreda v otrasli» [Elektronnyj resurs] / E. E. Bain, L. G. Vorob'eva. – Rezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/article/n/teoreticheskie-aspekty-opredeleniya-ponyatiya-konkurentnaya-sreda-v-otrasli>. – Data dostupa: 07.12.2023.
17. Teoreticheskie osnovy analiza konkurentnoj sredy predpriyatiya [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: https://vuzlit.ru/1920500/teoreticheskie_osnovy_analiza_konkurentnoy_sredy_predpriyatiya. – Data dostupa: 07.12.2020.
18. Novoselov, A. S. Teoriya regional'nyh rynkov / A. S. Novoselov. – Rostov-na-Donu : Feniks, 2002. – 448 s.
19. Hasanova, A. SH. Konkurentnye otnosheniya i ih transformaciya v sovremennyh usloviyah: avtoref. diss. ... dokt. ekon. nauk / A. SH. Hasanova. – Kazan' : Kazanskij gos. tekhn. un-t im. A.N. Tupoleva, 1999. – 37 s.
20. Kuznecova, E. I. Razvitie konkurentnyh otnoshenij i ekonomicheskaya strategiya gosudarstva: monografiya / E. I. Kuznecova. – M. : YUNITI, Zakon i pravo, 2012. – 383 s.
21. Gulyaev, G. YU. Sushchnost' i zakonomernosti konkurentnyh otnoshenij [Elektronnyj resurs] / G. YU. Gulyaev. – Rezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/article/n/sushchnost-i-zakonomernosti-konkurentnyh-otnoshenij>. – Data dostupa: 08.12.2023.
22. Ansoff, I. Novaya korporativnaya strategiya : monografiya / I. Ansoff. – SPb. : Piter Kom, 1999. – 416 s.
23. Alekseeva, A. M. Konkurentnye preimushchestva i ih rol' v rynochnoj ekonomike / A. M. Alekseeva. – M. : MAKS Press, 2003. – 49 s.
24. Porter, M. E. Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance / M. E. Porter. – N.Y. : The Free Press, 1985. – 557 p.
25. SHutilin, V. YU. Konkurentnyj potencial mashinostroitel'nogo kompleksa Respubliki Belarus': teoriya, metodologiya, instrumenty izmereniya, mekhanizmy formirovaniya: avtoref. diss. ... dokt. ekon. nauk / V. YU. SHutilin. – Minsk : BGEU, 2017. – 42 s.
26. SHutilin, V. YU. Konkurentnoe preimushchestvo kak harakteristika rynochnogo prevoskhodstva: sodержanie, problemy izmereniya / V. YU. SHutilin // Vesn. Belarus. dzyarzh. ekan. un-ta. – 2016. – № 2. – S. 36–42.
27. Konkurentnye preimushchestva // Enciklopediya Nesterovyh [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://odiplom.ru/lab/konkurentnye-preimushchestva.html> – Data dostupa: 10.12.2023.
28. Konkurentnye preimushchestva: chto eto i kak ih razvivat' [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.business.ru/article/1634-konkurentnye-preimushchestva>. – Data dostupa: 10.12.2023.
29. Nemchenko, O. N. Konkurentosposobnost' i konkurentnye preimushchestva predpriyatiya [Elektronnyj resurs] / O. N. Nemchenko, N. M. Hachaturyan, A. F. Baklanova. – Rezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/article/n/konkurentosposobnost-i-konkurentnye-preimushchestva-predpriyatiya>. – Data dostupa: 10.12.2023.
30. Konkurentnye preimushchestva kompanii: vidy i istochniki [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://activesalesgroup.ru/konkurentnye-preimushchestva-kompanii/>. – Data dostupa: 10.12.2023.
31. SHutilin, V. YU. Konkurentnyj potencial i konkurentnye preimushchestva mashinostroitel'nogo kompleksa Respubliki Belarus' na sovremennom etape: klyucheveye indikatory i trendy razvitiya: monografiya / V. YU. SHutilin; pod nauch. red. V. N. SHimova. – Minsk : BGEU, 2016. – 223 s.
32. Vesnin, V. R. Menedzhment : ucheb. / V. R. Vesnin. – 3-e izd., pererab. i dop. – M. : TK Velbi, Izd-vo Prospekt, 2006. – 504 s.
33. Luk'yanenko, V. N. Sootnesenie ponyatii «konkurentosposobnost'» i «konkurentnye preimushchestva» / V. N. Luk'yanenko // Vestnik ZabGU. – 2014. – № 6. – S. 114–120.
34. Porter, M. Konkurentnaya strategiya: Metodika analiza otraslej i konkurentov : monografiya / M. Porter. – M. : Al'pina Biznes Buks, 2005. – 454 s.
35. Zav'yalov, P. S. Marketing v skhemah, risunkah, tablicah / P. S. Zav'yalov. – M. : INFRA-M, 2001. – 496 s.
36. CHetyrbok, N. P. Innovacii i konkurentosposobnost'. Kausal'nost' ponyatij = Innovation and competitiveness. Causality of definitions / N. P. CHetyrbok // Innovacii. – 2020. – № 12. – S. 43–47.

Материал поступил 24.05.2024, одобрен 18.06.2024, принят к публикации 18.06.2024

УДК 659.123.007

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ПРОДВИЖЕНИЯ ТОВАРОВ И УСЛУГ

П. Н. Резько

К. пед. н., доцент, доцент кафедры лингвистических дисциплин и межкультурных коммуникаций УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: peterrezko77@gmail.com

Реферат

Статья посвящена применению лингвистических инструментов для привлечения внимания и убеждения целевой аудитории в совершении действий, необходимых заказчику медиасообщения. Особое внимание автором уделено лингвистическим инструментам, применяемым для создания эмоционально заряженных образов. В частности рассматриваются такие эффективные приемы фиксации внимания потребителя, как метафоры, повторения и риторические вопросы, а также рифмованные слоганы и лозунги, которые легко запоминаются и легко узнаются. В заключении утверждается, что каждый из лингвистических инструментов может быть использован для достижения конкретных целей в рекламной коммуникации. При этом важно понимать, что эффективность рекламы зависит не только от выбора языка, но также от контекста, в котором он используется, и от того, насколько он соответствует целям кампании.

Ключевые слова: продвижение, целевая аудитория, метафора, медиасообщение, массовая коммуникация.

LINGUISTIC TOOLS USED TO PROMOTE GOODS AND SERVICES

P. N. Rezko

Abstract

The article is devoted to the use of linguistic tools to attract attention and convince the target audience to perform the actions necessary for the author of media message. The author pays particular attention to linguistic tools used to create emotionally charged images. Among them we can mention such effective methods of capturing consumer attention as metaphors, repetitions and rhetorical questions, as well as rhyming slogans which are easy to remember and easily recognized. In conclusion, it is argued that each of the linguistic tools can be used to achieve specific goals in advertising communication. It is important to understand that the effectiveness of advertising depends not only on the choice of language, but also on the context in which it is used and how well it aligns with the campaign's objectives.

Keywords: promotion, target audience, metaphor, media message, mass communication.

Введение

В настоящее время можно заметить неуклонное увеличение объема научных исследований, посвященных рекламным текстам. Эти исследования проводятся на стыке таких областей знаний, как маркетинг, лингвистика и психология. Данный феномен обусловлен тем, что в начале XXI века человечество перешло в новую эпоху – информационное общество. Как отмечает Т. В. Солодовникова: «Необходимость исследования рекламной коммуникации в Беларуси обусловлена изменениями социальных отношений в современном информационно-коммуникационном пространстве, динамикой взаимодействия социальных, политических групп и элит, их ценностных ориентации и моделей поведения, большим интересом исследователей различных сфер науки к механизмам и способам управленческого воздействия на общество» [1, с. 5]. Рекламные тексты, направленные на стимулирование определенных действий (например, покупки товара или участия в социальных и политических мероприятиях), являются существенной частью того информационного потока, который потребляют люди. Бурное развитие технологий передачи данных и распространение доступа к информации приводят к увеличению интенсивности ее потребления человеком, что в свою очередь оказывает принципиальное влияние на человеческое сознание и поведение. Современный потребитель становится все более эмоциональным и все менее рациональным в своих решениях, что связано с тем, что рекламные тексты, часто используя эмоциональные обращения, оказывают значительное влияние на его поведение. Уже стало объективной реальностью, что люди все больше и больше времени проводят за мониторами компьютеров и в социальных медиа, что в свою очередь привело к тому, что все более и более значимую роль играет массовая коммуникация. Это обусловлено как многократным возрастанием объема передаваемой информации, так и потребностью в оптимальной организации поведения, форми-

ровании желаемых реакций и управлением поведением потенциальных получателей информации. Вышеперечисленные процессы сопровождаются развитием технических средств и методов, а также совершенствованием компетенций специалистов, целью которых является обеспечение эффективности в сфере массовых коммуникаций. Признание важной роли рекламной коммуникации в этом процессе закреплено и на институциональном уровне: согласно постановлению Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 31 октября 2013 г. № 106 в Единый квалификационный справочник должностей служащих Республики Беларусь были внесены должности «специалист по связям с общественностью» и «специалист по рекламной коммуникации» [2].

Ключевые элементы рекламного дискурса в контексте маркетинговой лингвистики

Поскольку в массовой коммуникации одним из ключевых элементов является текстовое послание, передаваемое с помощью тех или иных технических средств, то вполне закономерным является обращение лингвистов, психолингвистов и психологов к изучению рекламного дискурса. На наш взгляд, он представляет собой комплексную систему лингвистических и психологических средств, которые используются для привлечения внимания и убеждения целевой аудитории потребителям совершить определенное действие, такое как покупка товара или услуги, посещение сайта или оставление контактной информации для получения дополнительной информации. По мнению Т. В. Солодовниковой: «Реклама – это институциональный тип дискурса, использующий элементы риторики с четко поставленной и явно выраженной целью – заставить купить, чтобы потребить» [3, с. 78].

Рекламный дискурс имеет ряд лингвистических особенностей, которые используются с целью привлечения внимания и убеждения

потенциального потребителя. В первую очередь это ориентированность на конкретную целевую аудиторию. Составителю рекламного текста необходимо понимание модели восприятия целевой аудитории, при этом иногда собственные представления автора и его стереотипы подменяют параметры в модели восприятия потребителей, что в свою очередь приводит к низкой эффективности рекламного медиасообщения. Так, для одной целевой аудитории могут быть использованы лексемы: элитный, трендовый, модный, а также иноязычные слова, т. к. хай-тек, инновации, фэшн, смарт, а для другой – качественный, уютный, родной, вкус детства и т. д. Понятно, что элитная мебель будет стоить дороже, чем та же самая мебель, создающая уют, но и объемы продаж будут меньше.

В зависимости от целевой аудитории могут быть использованы специальные и технические термины, чтобы показать экспертность компании в определенной области. В тоже время почти для любой целевой аудитории подходит язык персонализации (только для вас, только ты, удовлетворим ваши потребности). В качестве примера можно привести рекламную кампанию бренда косметических средств «L'Oréal Paris» под лозунгом «Потому что вы этого достойны», в которой слово «достойны» повторяется, чтобы убедить потенциальных клиентов в том, что они заслуживают лучшего. Слова «Ведь вы этого достойны» стали символом, вдохновляющим женщин разного возраста и происхождения поверить в свою красоту и обрести чувство собственного достоинства. Данный слоган, придуманный в 1971 г. 23-летним копирайтером рекламного агентства McCann Илоном Шпехтом, стал одним из первых в мировой истории рекламным посланием, в основу которого положена идея персонализации и уверенности в себе. «С момента своего возникновения фраза «Ведь вы этого достойны» была переведена на 40 языков и стала активным призывом к борьбе. Она объединила женщин всего мира, вдохновляя их смело ставить перед собой амбициозные цели и каждый день укреплять веру в собственную ценность... Мы всегда верили в силу и достоинство женщин. L'Oréal Paris неустанно работает над приближением того дня, когда услышав фразу «Ведь вы этого достойны», женщины следующего поколения скажут: «Мы никогда в этом не сомневались» [4]. Как видно из вышеприведенного рекламного текста, слоган «Ведь вы этого достойны» стал настолько популярным, что маркетологи смогли придать ему ещё и социальный подтекст.

Отметим, что в последние два десятилетия фокус на язык социальной ответственности стал общемировым трендом (мы помогаем, заботимся, занимаемся благотворительностью, только экологически чистые материалы, ни одно животное не пострадало и т. д.).

Другой важной составляющей рекламного дискурса является его активный характер. Реклама не только информирует потребителей о продукте, но и активно воздействует на них, чтобы заинтересовать их, вызвать положительные эмоции и поощрить к действию. При этом рекламный дискурс может содержать стереотипы и штампы, которые облегчают восприятие и понимание сообщения целевой аудиторией. Например, реклама продуктов для дома может использовать образ домохозяйки, которая заботится о своей семье и доме, чтобы создать ассоциации с комфортом и уютом в доме, а реклама косметики или средств ухода за кожей – образ сексуальной и уверенной в себе женщины. При этом важно отметить, что медиасообщение должно быть легко читаемым и понятным для широкой аудитории, поэтому в нем обычно используется простой язык, который максимально близок к потребностям и интересам целевой аудитории.

Рекламные сообщения могут содержать в себе эмоционально заряженные образы и слова, которые вызывают у потребителей положительные эмоции и ассоциации с продуктом, поэтому особенностью рекламного дискурса является использование эмоциональной составляющей с помощью различных стилистических приемов. Одним из самых простых и в то же время очень эффективных приемов является повторение. Так, лексема «надежный» несколько раз встречается в различных рекламных роликах автомобиля «Тойота», а повтор фразы «сделано в Германии» можно наблюдать в рекламных медиасообщениях нескольких немецких брендов легковых ав-

томобилей. Наиболее ярким примером, на наш взгляд, является рекламная стратегия сети «Волмарт» [5]:

- 1962–1988: Always Low Prices. Always.
- 1988–1994: Always The Low Price. Always.
- 1994–1996: Always Low Prices. Always Walmart.
- 1996–1999: Better Every Day Low Prices! Always.
- 1999–2007: Always Low Prices. Always.
- 2007–present: Save Money. Live Better.

Для фиксирования внимания потребителя помимо повторений часто используются риторические вопросы. Многие из них повторяются у различных брендов. Так, слоган «Хотите быть всегда на связи?» встречается и у салона сотовой связи «На связи», и у продавцов смартфонов, и даже зарядных устройств. Схожая ситуация с риторическими вопросами: «Хотите красивую кожу?» (косметические средства), «Как часто вы сталкиваетесь с проблемами зубов?» (зубная паста, стоматологические клиники), «Зачем платить больше?» (магазина дешевых товаров, магазины бытовой техники, реклама различных услуг и т. д.), «Как часто вы меняете мебель (матрац, зубную щетку, постельные принадлежности и т. д.) в своем доме?», «Готовы ли вы к переменам?». По мнению Т. В. Солодовниковой: «Вопросительные конструкции позволяют директивным высказываниям звучать менее категорично, создавая своего рода диалог с потребителем: ЭКОЛОГИЧНО? Если природа ответит тем же? (на фоне распускающегося растения, вместо листьев у которого окурки); Маё першэе слова «Дзякуй». А якім будзе таё першэе слова на роднай мове?; Твой малыш дома один? Уже спички нашел и с ними играет? Быть беде... здесь чудес не бывает... (серия плакатов МЧС РФ)» [3, с. 79].

Для более легкого запоминания и удержания в памяти потребителя используются рифмы, поскольку рифмованные слоганы и лозунги легко запоминаются и легко узнаются потребителями «Есть идея – есть Икея» или «Есть приметы – есть предметы». Примеры на английском языке: «I scream, you scream, we all scream for ice cream» (сеть ресторанов Howard Johnson's), «The Quicker Picker Upper» (бумажные полотенца Bounty). «Snap, Crackle, Pop» – Kellogg's Rice Krispies использует звукоподражательные звуки, чтобы передать опыт поедания хлопьев и ощущение хлопьев, хрустящих и лопающихся в молоке. В последнем примере появляется сочетание рифмы и метафоры. Как известно, метафора – это образное употребление слова, основанное на ассоциациях через сходство. Рекламная метафора позволяет нам представить одни объекты через характеристики и качества других – идеальных, символизирующих в нашем сознании здоровье, счастье и успех. Она призвана создать оригинальный рекламный образ.

В качестве примеров приведем следующие метафоры:

«Как скала» – Chevrolet использует метафору скалы, чтобы передать надежность и прочность своих грузовиков.

«Попробуй радугу» – Skittles эксплуатирует метафору вкуса радуги, чтобы передать разнообразие вкусов своих конфет.

«Red Bull дает вам крылья» – этот популярный слоган использует метафору крыльев, чтобы передать идею о том, что употребление Red Bull даст вам энергию и силу для достижения чего угодно.

«Сейчас ты меня слышишь?» – Verizon применяет метафору четкого телефонного сигнала, чтобы позиционировать свои услуги как самые надежные и эффективные на рынке.

«Завтрак чемпионов» – Wheaties использует метафору чемпиона, чтобы позиционировать свои хлопья как лучший выбор для спортсменов и людей, которые хотят начать свой день со здоровой и питательной еды.

«Воображение в действии» – General Electric использует метафору воображения, чтобы позиционировать свою компанию как инновационную и креативную в области технологий и инженерии.

«Король пива» – Budweiser использует метафору короля, чтобы позиционировать свое пиво как лучший выбор для тех, кто хочет яркого и насыщенного вкуса.

«Хорошо пальчики оближешь» – KFC использует метафору лизания пальцев, чтобы передать идею о том, что их еда настолько

вкусна, что клиенты захотят облизать пальцы, чтобы получить все до последней крошки.

Данные примеры демонстрируют силу метафор в рекламе для создания запоминающихся и эффективных сообщений, которые связаны с потребителями и помогают брендам выделиться на переполненном рынке.

Анализ показывает, что наиболее часто используемыми группами метафор являются, во-первых, метафоры, связанные со здоровьем и жизнью: «Вдохните жизнь в ваши ноги» («Вени тангель»), «Аромат жизни» (дезодорант 8X4), «СИНЕРЖИ. Чтобы кожа сияла здоровьем», «Жизненная сила» («Черный жемчуг») [6, с. 633]. Во-вторых, метафоры, связанные с движением, ибо человеку по своей природе свойственно развиваться и стремиться к достижению целей и исполнению желаний, ведь пока мы движемся, стремимся – мы настоящему живем. Здесь могут быть использованы такие метафоры, как «Поехали!» – метафора движения, которая применяется для передачи смелости и энергии (возможная сфера ее применения – реклама автомобилей или туристических путешествий), «Взлетаем вместе» – метафора, которая передает идею совместного достижения успеха и роста (сфера применения – реклама бизнес-услуг или инвестиционных продуктов), «Пробейте свой путь» – метафора движения, которая передает идею индивидуальности и самостоятельности (к ней нередко прибегают в сфере продвижения спортивных товаров или продуктов, которые подчеркивают индивидуальный стиль и вкус). Отметим также такие метафорические слоганы, как «Мужской путь к успеху» (журнал Men's Fitness), «Движение к лучшему» (автомобили Opel Vectra), «Орифлейм. Легкий путь к красоте», «Один шаг до мечты!» (Мозаика интерьера) [6, с. 633]. Достаточно неординарной является реклама чая Lipton «Жизнь в движении» (Lipton. Life in motion), где метафора движения применяется для передачи идеи динамизма и энергии, связанных с употреблением чая. Реклама показывает людей, которые активно занимаются спортом, танцуют и живут активной жизнью, сопровождая это слоганом «Жизнь в движении».

Все мы жаждем чуда, какой-то магии в жизни, и магические метафоры, содержащие в себе слова «магия», «сказка», «волшебство», создают подобающую атмосферу для данного товара или услуги. Данный вид метафор особенно широко задействован в рекламных медиасообщениях в канун Нового года и Рождества, а также 14 февраля и 8 марта, например: «Чудотворные духи» (духи «NOA» фирмы L'escalle), «Тайна. Доступная всем» (реклама кофе «Черная карта»), «Магия цвета» (краска «Londa»), «Магия кофе» (кофеварка «De Longi»), «Черная магия, магия духов, магия ночи» (реклама французских духов «Черная магия»).

Тему человеческих чувств активно эксплуатируют и сенсорные метафоры, основанные на словах, содержащих прямую или косвенную оценку вкусовых, тактильных, осязательных и других ощущений: «Чай со вкусом лета» (прохладительный напиток «Nice tea»), «Окупись в прохладу» (Lipton Ice Tea), «Вкус природы в каждом леденце» (леденцы «Sula»), «Почувствуйте силу цвета» (копиры «Херох»), «Вкус желаний» (шоколад «Кагуа»). Помимо вышперечисленных, в рекламе могут применяться практически любые метафоры, в т. ч. абстрактные, но имеющие яркое значение, например, огонь, революция, гармония, симфония, гамма, фейерверк. В целом, метафоры являются мощным инструментом для рекламы, поскольку они могут помочь передать сложные идеи и сделать рекламу более привлекательной и запоминающейся для целевой аудитории.

Заключение

Базовые знания лингвистических инструментов, используемых для продвижения товаров и услуг, необходимы, на наш взгляд, каждому специалисту в области маркетинга. Отметим, что рекламный текст имеет ряд лингвистических особенностей: ориентированность на конкретную целевую аудиторию (важно понимание как мыслят потребители сообщений, чтобы адаптировать медиасообщение на том языке и в том тоне, который будет наиболее привлекателен и понятен аудитории), активный характер, язык персонализации, а также

наличие эмоционально заряженных образов и слов, которые вызывают у потребителей положительные эмоции и ассоциации с продуктом. Лингвистические инструменты, такие как метафоры, аналогии и эмоционально окрашенные слова, могут помочь вызвать эмоциональный отклик у целевой аудитории, что часто является ключом к успешной рекламе. В контексте межкультурной коммуникации, если рекламная компания ориентирована на разные страны, то при адаптации медиасообщений необходимо учитывать особенности каждого региона, культурные и языковые особенности. Таким образом, каждый из лингвистических инструментов может быть использован для достижения конкретных целей в рекламной коммуникации. При этом важно понимать, что эффективность рекламы зависит не только от выбора языка, но также от контекста, в котором он используется, и от того, насколько он соответствует целям кампании. Следование данным правилам позволит навязать свое видение продукта потребителю информации и повысить экономическую эффективность рекламной кампании.

Список цитированных источников

1. Солодовникова, Т. В. Рекламная коммуникация Беларуси и Франции / Т. В. Солодовникова. – Минск : БГУ, 2022. – 299 с.
2. Концепция национальной безопасности Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mchs.gov.by/kontseptsiya-natsionalnoy-bezopasnosti-respubliki-belarus>. – Дата доступа: 22.01.2024.
3. Солодовникова, Т. В. Прагматика дискурса социальной, политической и коммерческой рекламы в аспекте языковой ситуации в Республике Беларусь / Т. В. Солодовникова // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. А. Гуманитар. науки. – 2020. – № 2. – С. 77–80.
4. «Ведь вы этого достойны» – 50 лет торжества ценности каждой женщины [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.loreal-paris.ru/50-years-of-worth-it>. – Дата доступа: 14.13.2022.
5. Walmart Slogan: “Save Money. Live Better.” Meaning [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.8thandwalton.com/blog/walmart-slogan_. – Дата доступа: 12.01.2023.
6. Мачушенко, Т. С. Метафора в рекламных текстах / Т. С. Мачушенко // Молодой учёный. – 2017. – № 12 (146). – С. 633–635.

References

1. Solodovnikova, T. V. Reklamnaya kommunikaciya Belarusi i Francii / T. V. Solodovnikova. – Minsk : BGU, 2022. – 299 s.
2. Konceptsiya nacional'noj bezopasnosti Respubliki Belarus' [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://mchs.gov.by/kontseptsiya-natsionalnoy-bezopasnosti-respubliki-belarus>. – Data dostupa: 22.01.2024.
3. Solodovnikova, T. V. Pragmatika diskursa social'noj, politicheskoj i kommercheskoj reklamy v aspekteazykovoj situacii v Respublike Belarus' / T. V. Solodovnikova // Vestn. Poloc. gos. un-ta. Ser. A. Gumanitar. nauki. – 2020. – № 2. – S. 77–80.
4. «Ved' vy etogo dostojny» – 50 let torzhestva cennosti kazhdoy zhenshchiny [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.loreal-paris.ru/50-years-of-worth-it>. – Data dostupa: 14.13.2022.
5. Walmart Slogan: “Save Money. Live Better.” Meaning [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: https://www.8thandwalton.com/blog/walmart-slogan_. – Data dostupa: 12.01.2023.
6. Machushenko, T. S. Metafora v reklamnyh tekstah / T. S. Machushenko // Molodoy uchyonyj. – 2017. – № 12 (146). – S. 633–635.

Материал поступил 03.06.2024, одобрен 05.06.2024, принят к публикации 05.06.2024

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ КОНКУРЕНТНОГО ПОТЕНЦИАЛА АТЕ И НАПРАВЛЕНИЙ ЕГО РАЗВИТИЯ (НА ПРИМЕРЕ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ)

М. Б. Иванов

Аналитик отделения по Брестской области Белорусского института стратегических исследований, Брест, Беларусь,
e-mail: storm-tlk@mail.ru

Реферат

Современное социально-экономическое развитие Беларуси происходит в условиях усиления конкуренции между её административно-территориальными единицами (далее – АТЕ) за улучшение условий для бизнеса и повышение качества жизни. Зарубежный опыт показывает, что развитие конкурентных преимуществ и эффективная экономика необходимы для устойчивого развития регионов.

Целью настоящего исследования является развитие теоретико-методических положений и практических рекомендаций по повышению конкурентного потенциала АТЕ Республики Беларусь. В статье предложены подходы к определению их конкурентного потенциала, разработана автором методика оценки как его самого на основе двухмерной модели по группам показателей, так и направлений его повышения по оцениваемым видам деятельности. В итоговой части приведена полученная оценка возможных направлений развития конкурентного потенциала АТЕ Брестской области.

Ключевые слова: регион, административно-территориальная единица, потенциал, конкурентоспособность, конкурентные возможности.

METHODOLOGICAL APPROACHES TO ASSESSING THE DIRECTIONS FOR ENHANCING THE COMPETITIVE POTENTIAL OF THE REGION'S ATUS (BASED ON THE EXAMPLE OF THE BREST REGION)

M. B. Ivanov

Abstract

The contemporary socio-economic development of Belarus occurs under conditions of increased competition among its administrative-territorial units (hereinafter referred to as ATUs) for improving business conditions and enhancing quality of life. International experience demonstrates that the development of competitive advantages and an efficient economy are essential for the sustainable development of regions.

The aim of this study is to develop theoretical and methodological provisions and practical recommendations for enhancing the competitive potential of the ATUs in the Republic of Belarus. The article proposes approaches to defining their competitive potential and presents an author's methodology for its assessment based on a two-dimensional model by groups of indicators, as well as directions for its enhancement across evaluated types of activities. The concluding section provides the obtained assessment of possible directions for developing the competitive potential of the ATUs in the Brest region.

Keywords: region, administrative-territorial unit, potential, competitiveness, competitive opportunities.

Введение

В настоящее время АТЕ Беларуси подвержены влиянию ряда глобальных трендов развития, в частности, регионополизации, урбанизации и существенным сдвигам в демографических и социально-экономических процессах размещения производительных сил [1, 2]. В их основе лежат конкурентный потенциал и экономическая эффективность регионов. Поскольку экономика области формируется её административно-территориальными единицами, её конкурентный потенциал зависит от потенциала входящих районов и городов. Это требует новых научных подходов для анализа и прогнозирования факторов, влияющих на конкурентный потенциал регионов, а также разработки инструментов для оценки и повышения их конкурентоспособности.

В Беларуси проблемы развития регионов, их социально-экономического потенциала и эффективности функционирования, их влияние на экономический рост, взаимосвязь с факторами производства исследовались в работах Я. М. Александровича, Н. Г. Берченко, А. В. Богдановича, Т. С. Вертинской, Н. П. Драгуна, А. И. Мороза, Г. В. Ридевского, И. Н. Русак, И. Э. Точицкой, М. В. Мясниковича, А. А. Шашко, В. Н. Шимова, В. С. Фатеева и других авторов. Вопросами региональной конкурентоспособности также занимаются такие исследователи, как А. Чубрик, Г. Шиманович. Теоретические и методологические аспекты конкурентоспособности национальной экономики проанализированы такими отечественными учеными, как П. С. Головачев, П. Г. Никитенко, В. В. Пинигин, Д. Ю. Хамчуков и др.

Вместе с тем до сих пор нет однозначного понимания конкурентоспособности АТЕ, единого подхода к методологии оценки их конкурентного потенциала, равно как и однозначного определения данного понятия, разработанных подходов к его повышению. Сохраняется необходимость уточнения репрезентативных факторов

региональной конкурентоспособности, их формализация с точки зрения соответствия имеющейся информационной базе и возможности получения результирующих интегральных оценок в режиме постоянного мониторинга конкурентных возможностей АТЕ. Требуется дальнейшая разработка методической базы оценки и научного обоснования направлений их эффективного использования.

Методические подходы к определению конкурентного потенциала АТЕ области и направлений его повышения. Достижимый конкурентный потенциал

Слово «потенциал» происходит от латинского *potentia* и применительно к экономике означает источники, возможности, ресурсы и способности, которые могут быть применимы для достижения целей социально-экономического развития. На макроуровне под совокупным экономическим потенциалом понимается максимально возможная способность национальной экономики производить товары и услуги в соответствии с запросами внутреннего и внешних рынков [3, 4].

При этом оценка конкурентоспособности приравнивается к текущей эффективности деятельности. Исходя из этих посылок, формулированы следующие определения:

– конкурентоспособность АТЕ – это её способность производить определенный набор продукции, работ, услуг более эффективно в сравнении с другими АТЕ в пределах одной области или страны в целом;

- конкурентные возможности АТЕ – это общедоступные факторы производства, которые необходимы для роста производительности АТЕ, потребление (размещение) которых на её территории уменьшает доступность их потребления (размещения) в других АТЕ;
- конкурентный потенциал АТЕ – это совокупная способность данной АТЕ производить определенный набор продукции, работ, услуг более эффективно в сравнении с другими АТЕ в пределах области либо страны в целом в соответствии с заданными целями

развития в условиях имеющихся конкурентных возможностей и уровня их использования.

Данные определения, в отличие от других, позволяют более объективно оценить сущность рассматриваемых категорий с позиции признания того факта, что конкурентоспособность является характеристикой только действующего субъекта (коим выступает вся территория в целом), учитывая особенности размещения ресурсов и их реализации в АТЕ страны.

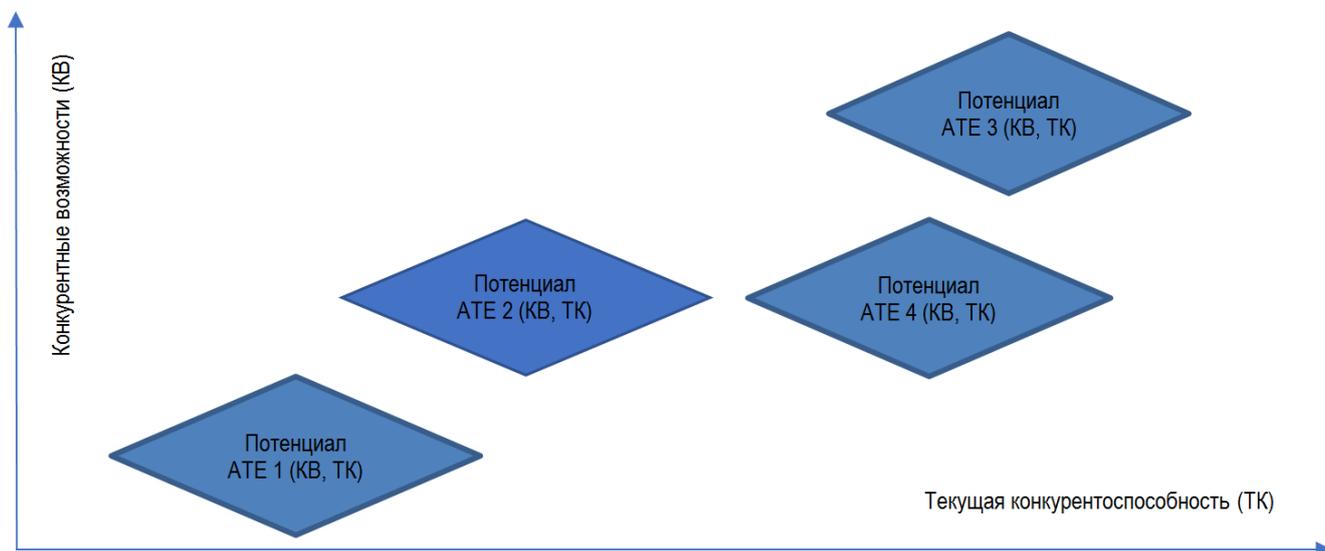


Рисунок 1 – Оценка конкурентного потенциала АТЕ

Для комплексной оценки необходимо отобрать показатели, определяющие конкурентный потенциал региона. Очевидно, что таковыми будут являться не все показатели, традиционно используемые для оценки экономического потенциала территории и его составляющих [8]. В частности, А. О. Полынев, анализируя возможности регионов с позиций обеспеченности ресурсами и результативности их использования, определил конкурентный потенциал как совокупность элементов «экономического потенциала, реально используемых в процессе текущей хозяйственной деятельности [9, с. 20]». То есть оцениваются только те ресурсы или факторы производства, которые реально задействуются в процессе воспроизводства. К таковым традиционно относят труд, землю и капитал. В современных условиях как отечественные экономисты [10, 11, 12], так и зарубежные [13, 14] ведут речь обычно уже о пяти факторах производства, добавляя предпринимательские способности и информацию. При этом под последним понимается ресурс, который, охватываясь во всех компонентах системы производительных сил общества, выступает составным элементом всех моментов процесса труда – и предметом труда, и средством труда, и составной частью живого труда.

Помимо упомянутых, некоторые авторы отдельно рассматривают еще один фактор – инновации. В современных литературных источниках существуют многообразные определения данного понятия, которые, в общем виде, сводятся к следующему [15, 16]:

а) инновации представляют собой процесс разработки и внедрения любых новшеств организационно-экономического, технологического, социального, экологического, финансового, коммерческого, маркетингового (конъюнктурного), ассортиментного и пр. характера, обеспечивающих качественный рост эффективности процессов или продукции, востребованное рынком. В подобном значении понятие «инновации», очевидно, увязывает в единое целое всю цепочку от генерирования научно-технической идеи до ее реального воплощения и продажи конечному потребителю, выражая, тем самым, современную интеграцию науки и экономики (рыночных отношений);

б) инновации являются конечным результатом научно-технической (исследовательской, проектной, конструкторской и пр.) деятельности, выступая в качестве внедренного нового продукта (товара, работы, услуги), новой технологии производства, какого-

либо усовершенствования (позволяющего рационализировать определенный вид деятельности, повысить ее эффективность и сократить затраты) в любой сфере функционирования общества.

Отметим, что конкурировать территории в современном мире могут в основном только путем обеспечения более привлекательных условий работы и проживания, комфорта перемещения и потребления. Потому так важно оценивать не только качественный состав трудовых ресурсов территории, но и ее инфраструктурную обеспеченность.

Во же время не стоит забывать и о конкуренции за традиционные ресурсы. При этом под категорией «труд» понимаются «трудовые ресурсы» – часть населения страны, которая по физическому развитию, приобретенному образованию, профессионально-квалификационному уровню способна заниматься общественно-полезной деятельностью; под категорией «капитал» – совокупность имущества, используемого для получения прибыли; под категорией «земля» – все сельскохозяйственные угодья и городские земли, которые отведены под жилищную или промышленную застройку, а также совокупность природных условий, необходимых для производства товаров и услуг [17, 18]. Чем новее и разнообразнее основные производственные фонды организаций, расположенных на данной территории, тем, как правило, выше конкурентные возможности последней. То же справедливо и для природных ресурсов территории. И хотя конкуренция за последние виды ресурсов не столь выражена, как за человеческие и информационные, тем не менее она существует: организации «переезжают» из одного региона в другой, в т. ч. с демонтажем оборудования; границы АТЕ могут меняться, однако наиболее распространено «освоение» территорий организациями из других регионов регистрации.

Для оценки обеспеченности возможностями и текущей эффективности их реализации в АТЕ предложено использовать группы показателей, определенные ранее в [6, 7]. В основном они базируются на системе статистических показателей для районов и городов областного подчинения. Однако в статистике АТЕ отсутствуют некоторые важные с точки зрения характеристики потенциала показатели. В частности, не рассчитывается официально ВРП для АТЕ базового уровня. В качестве замены предложен отечественными экономистами-регионалистами [19] показатель регионального дохода.

Распределение АТЕ в двумерном пространстве «конкурентные возможности – текущая конкурентоспособность» (рисунок 1) позволяет провести группирование АТЕ на обладающих:

1. Высоким конкурентным потенциалом (ВКП). Эта группа включает АТЕ с высокой и выше среднего конкурентоспособностью и возможностями. Лидерство этих АТЕ обусловлено эффективным использованием конкурентных возможностей и благоприятными позициями производителей на национальных и мировых рынках. Эти АТЕ более привлекательны для бизнеса и имеют высокую производительность труда. В их экономике могут развиваться кластеры или они могут быть частью существующих кластеров, что делает их экономику менее диверсифицированной, но высокоэффективной. В период с 2011 по 2022 годы сюда относятся города Брест, Барановичи и их пригородные районы, а также Пружанский район.

2. Средним конкурентным потенциалом (СКП). Эта группа включает АТЕ со средними показателями конкурентных возможностей и текущей конкурентоспособности (от выше среднего до ниже среднего). Эти АТЕ типичны для области и имеют параметры социально-экономического развития, близкие к средним по области. Они устойчивы к конкуренции со стороны других АТЕ, за исключением особых случаев. По расчетам, к этой группе относятся города Пинск и районы Ивацевичский, Кобринский, Лунинецкий, Ляховичский, Малоритский и Пинский.

3. Малым конкурентным потенциалом (НК). Эта группа включает самые слабые в экономическом отношении АТЕ с малоразнообразной экономикой и низкой эффективностью. У них мало конкурентных возможностей и низкая текущая конкурентоспособность из-за очень низкого социально-экономического потенциала на одного жителя. В таких регионах мало рабочих мест и точек для привлечения покупателей, что ведет к оттоку трудоспособного населения в другие АТЕ, усиливая экономическую депрессию. Эти районы часто регрессируют до простого товарного хозяйства на селе, что поддерживает сезонную занятость и замедляет отток населения (кроме оттока молодежи на учебу и (или) работу). В Брестской области неконкурентными являются Ганцевичский, Дрогичинский и Столинский районы.

4. Низкоэффективным конкурентным потенциалом (НКП). Эта группа включает АТЕ свыше среднего конкурентными возможностями, но средней или ниже текущей конкурентоспособностью. Это означает, что они не используют свои конкурентные возможности эффективно. Низкая производительность объясняется административными или другими нерыночными ограничениями. Долгое пребывание в этой группе может привести к утрате конкурентных возможностей, так как ресурсы могут перейти в другие регионы. В Брестской области таких АТЕ не выявлено.

5. Проблемным конкурентным потенциалом (ПКП). Эта группа включает АТЕ со средними или ниже конкурентными возможностями, но с высокой текущей конкурентоспособностью. Экономика таких АТЕ обычно зависит от 1–2 крупных производственных комплексов или особых условий ведения хозяйства. Утрата конкурентоспособности возникает, если меняются эти условия или падает спрос на продукцию этих комплексов, либо их финансовое состояние ухудшается. В долгосрочной перспективе такие АТЕ становятся "донорами" своих ресурсов, особенно человеческих, а проблемы крупных предприятий становятся проблемами всего района. Эти АТЕ нуждаются в повышении конкурентных возможностей (прежде всего, комфортности и привлекательности проживания и ведения бизнеса), иначе они переходят в группу со средним конкурентным потенциалом. В Брестской области к этой группе относятся Березовский, Жабинковский и Ивановский районы.

Общими проблемами для последних трех типов АТЕ являются проблемы развития сельского хозяйства и слабая экономическая активность в иных видах деятельности.

В частности, к таковым следует отнести:

- низкий балл плодородия почв;
- высокая себестоимость растениеводства на мелиорированных землях;
- аграрная специализация АТЕ с неконкурентным потенциалом, фактическое отсутствие в них средних и крупных промышленных производств;
- как следствие, высокий уровень дотационности местных бюджетов;
- малое количество высокодоходных мест приложения труда.

В итоге мы получили картину распределения конкурентного потенциала области между АТЕ (таблица 1), что позволяет выявить потенциальные полюса роста и проблемные районы [20].

Конечная цель анализа – выработка управленческих решений, направленных на преодоление неэффективности, повышение конкурентных возможностей. Однако не все факторы поддаются прямому и целенаправленному регулированию. Например, нельзя перераспределить по АТЕ природные ископаемые (кроме как изменить границы АТЕ). Но можно регулировать факторы социального обеспечения в АТЕ.

В свете вышеприведенного вводится понятие «**достижимый конкурентный потенциал**» АТЕ как способность АТЕ производить определенный набор продукции, работ, услуг, эффективнее в сравнении с другими АТЕ, соответствующим заданным целям развития и влиянию управляемых факторов эффективности.

Таблица 1 – Распределение АТЕ по итогам оценки конкурентного потенциала в пространстве «конкурентные возможности – текущая конкурентоспособность»

		Текущая конкурентоспособность АТЕ				
		Высокая	Выше среднего	Средняя	Ниже среднего	Низкая
Конкурентные возможности АТЕ	Высокие	г. Брест, Брестский	Зона ВКП Барановичский, Каменецкий	Зона НКП		
	Выше среднего		г. Барановичи Пружанский	Зона СКП		
	Средние		г. Пинск, Кобринский	Ляховичский, Малоритский, Пинский		
	Ниже среднего	Жабинковский	Березовский	Ивацевичский, Лунинецкий		Зона НК
	Низкие	Зона ПКП		Ивановский	Ганцевичский, Дрогичинский, Столинский	

Для определения достижимого конкурентного потенциала АТЕ необходимо повысить их конкурентные возможности и эффективность через законодательные решения. Для этого нужно выделить факторы, которые можно изменить действиями местных или республиканских властей. Важно, чтобы эти решения имели достаточное влияние на улучшение показателей конкурентности. Необходимо также заранее выделить те факторы, которые не могут либо очень слабо влияют на конкурентный потенциал.

Решения органов власти никак не влияют на обеспеченность АТЕ природными ресурсами. Крайне ограничено, по нашему экспертному мнению, влияние решений органов власти на обеспеченность демографическим и инновационными ресурсами. Сильно ограничено влияние органов власти на обеспеченность квалифицированными трудовыми ресурсами: система распределения выпускников высших учебных заведений не привела к существенному повышению численности работников с высшим образованием в районах в силу низкой закрепляемости молодых специалистов, ликвидацией в ходе организационных преобразований филиалов юридических лиц значительного числа рабочих мест управленцев среднего звена и фактического отсутствия в районах «социальных лифтов».

Из показателей текущей эффективности органы власти не влияют либо оказывают минимальное влияние на следующие показатели:

- доля квалифицированных работников в их общей численности;
- экспорт на душу населения;
- поступление прямых иностранных инвестиций на душу населения;
- коэффициент миграционного прироста в АТЕ;
- коэффициент устойчивости брака в АТЕ;
- грузооборот на 1 жителя АТЕ;
- пассажирооборот на 1 жителя АТЕ.

Для определения путей повышения конкурентного потенциала отбираются такие направления в обеспеченности возможностями и текущей конкурентоспособности, по которым наблюдается наибольшее отставание от эталонной модели (АТЕ с максимально достигнутыми значениями). Такие значения для конкурентных возможностей представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Эталонные показатели обеспеченности конкурентными возможностями

Уровень обеспеченности АТЕ	Эталон
земельными и лесными ресурсами	2,33
квалифицированными трудовыми ресурсами	3,63
основными средствами	1,24
транспортной инфраструктурой	2,41
социальной инфраструктурой	1,31
объектами торговли и потребительского сервиса	1,41
инновационными ресурсами	1,83
демографическими ресурсами	3,29
коммерческими организациями	1,80

Эталонные значения текущей эффективности представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Эталонные показатели текущей эффективности АТЕ

Соотношение показателя текущей эффективности АТЕ и области	Эталон
Показатель выработки одного среднесписочного работника:	
по секциям А (сельское и лесное хозяйство)	0,99
по секциям В, С, D, Е (промышленность)	0,89
по секции F (строительство)	0,84
в секции G (оптовая и розничная торговля)	0,95
в секции H (транспортная деятельность)	0,94
в секции I (услуги временного проживания и питания)	1,00
прочих услуг	1,00
Региональный доход на душу населения АТЕ	0,96
Инвестиции в основной капитал на душу населения	0,86
Экспорт всего на душу населения	1,00
Доходы бюджета АТЕ в расчете на душу населения	0,60
Удельный вес отгруженной инновационной продукции промышленности в общем объеме отгруженной продукции	0,83
Доля квалифицированных работников в общей численности занятых	1,00
Розничный товарооборот на душу населения	1,00
Фондовооруженность труда, млн руб. на 1 занятого	1,00
Фондоотдача к уровню области, %	0,98
Иностранные инвестиции на душу населения (без банков)	0,86
Средний размер заработной платы к уровню области	1,00
Средний размер пенсии к уровню области	1,00
Соотношение пенсии и средней заработной платы	0,96
Рентабельность продаж АТЕ	0,88
Коэффициент прироста коммерческих организаций	0,63
Грузооборот на 1 жителя	1,00
Пассажирооборот на 1 жителя	1,00
Коэффициент устойчивости брака	0,86

Таблица 4 – Оценка опережающего развития конкурентных возможностей АТЕ

АТЕ (город, район)	K _{отст}	Уровень обеспеченности					K _{опер}
		осн. ср-вами	трансп. инфр-ой	соц. инфр-рой	объектами тор-говли и сервиса	коммерч. орг-циями	
г. Брест	0,79	1,06	1,00	1,36	1,00	1,17	0,88
г. Барановичи	0,45	1,39	1,36	1,45	1,69	2,22	0,73
г. Пинск	0,50	1,55	1,30	1,48	1,61	2,60	0,85
Барановичский	0,44	1,33	2,01	1,12	1,07	1,00	0,58
Березовский	0,42	1,35	2,40	1,25	1,39	2,38	0,73
Брестский	0,63	1,15	2,16	1,06	1,33	1,10	0,86
Ганцевичский	0,25	1,70	2,80	1,15	2,13	2,56	0,51
Дрогичинский	0,28	1,44	2,27	1,27	2,04	2,81	0,55
Жабинковский	0,36	1,15	1,70	1,38	1,96	1,75	0,57
Ивановский	0,26	1,41	2,36	1,12	1,86	2,69	0,48
Ивацевичский	0,25	1,23	2,56	1,19	1,69	2,40	0,46
Каменецкий	0,49	1,07	2,07	1,27	1,03	1,85	0,72
Кобринский	0,42	1,27	2,10	1,40	1,60	1,71	0,68
Лунинецкий	0,35	1,51	3,04	1,27	2,06	3,38	0,79
Ляховичский	0,32	1,40	2,28	1,00	1,58	2,29	0,54
Малоритский	0,34	1,00	2,27	1,28	1,75	2,40	0,59
Пинский	0,32	1,23	2,60	1,17	1,60	1,80	0,54
Пружанский	0,43	1,00	2,52	1,15	1,41	2,64	0,75
Столинский	0,26	1,48	2,88	1,34	2,54	3,92	0,64

Расчет показателей достижимого потенциала основан на *коэффициенте опережающего развития*, определяемом как среднее отношений максимальных значений оцениваемых показателей с текущими их значениями в АТЕ, скорректированное на коэффициент отставания АТЕ от эталона по показателям, на которые органы власти оказывают минимальное влияние. Последний может быть рассчитан по формуле (1):

$$K_{отст} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{t_{рег1_i}}{t_{max1}}}{n}, \tag{1}$$

где $K_{отст}$ – коэффициент отставания АТЕ от эталонного значения;
 $t_{рег1}$ – значение i -го показателя АТЕ из перечня, воздействие на которые решениями органов власти невозможно либо минимально;
 t_{max1} – эталонное значение данного показателя;
 n – число таких показателей.

Тогда достижимый потенциал по составляющим обеспеченности и по показателю текущей эффективности может быть рассчитан по формуле (2):

$$K_{опер} = K_{отст} \frac{\sum_{i=1}^n \frac{t_{max2_i}}{t_{рег2_i}}}{n}, \tag{2}$$

где $K_{опер}$ – коэффициент опережения;
 t_{max2} – значение i -го показателя «эталона» по составляющим обеспеченности ресурсами, уровень которых определяется в значительной степени решениями местных органов власти или по общему показателю текущей эффективности;
 $t_{рег2}$ – значение данного i -го показателя АТЕ.

По своему смыслу $K_{опер}$ не может быть ниже 1, поэтому, если после корректировки получается значение ниже 1, достижимый конкурентный потенциал АТЕ лежит вне поля влияния решений органов власти, и мы можем говорить лишь о повышении тех направлений (составляющих) потенциала территорий, по которым наблюдается наиболее существенное отставание от эталонного с повышением привлекательности проживания и бизнеса.

Расчетные значения коэффициента опережающего развития для конкурентных возможностей АТЕ Брестской области показывают, что во всех АТЕ данные возможности могут быть повышены путем развития частного бизнеса в торговле, общественном питании (таблица 4).

Многие АТЕ нуждаются в обновлении и развитии транспортной инфраструктуры, прежде всего автомобильных дорог с твердым покрытием. Это будет способствовать повышению привлекательности проживания и ведения бизнеса в малых городах и сельской местности, частично сгладить негативный эффект от недостаточной обеспеченности квалифицированными кадрами. Но большинство факторов, угнетающих конкурентные возможности АТЕ, лежат вне поля влияния их органов власти: демография, распределение земельных и лесных богатств и т. д.

Итоговый расчет значения коэффициента опережающего развития для текущей эффективности реализации конкурентных возможностей приведен в таблицах 5. При этом расчет по каждому конкретному показателю текущей эффективности в данной статье не приводится в силу большого массива данных (кроме трех для примера).

Анализ полученных результатов свидетельствует, что многим АТЕ текущий уровень обеспеченности возможностями позволяет достигать многократно более высоких показателей эффективности. В частности, Ганцевичский, Дрогичинский и Столинский районы могут иметь показатели эффективности в 30–50 раз выше текущих значений за счет увеличения выработки по ряду видов экономической деятельности, прежде всего промышленности. Это позволит сократить разрыв в оплате труда между районами и крупными городами, стимулирует развитие сферы услуг. В том числе дополнительного образования, специализированных медицинских кабинетов и т. д. Жабинковский район достиг наибольшей эффективности использования имеющихся ресурсов, на которые власти могут влиять собственным решением, и без фундаментального сдвига в обеспечении конкурентными возможностями повышение текущей эффективности в данной АТЕ невозможно.

Итоги расчета достижимого потенциала АТЕ представлены в таблице 6.

Таблица 5 – Расчет коэффициента опережающего развития по показателям оценки текущей эффективности АТЕ

АТЕ (город, район)	Соотношение грузооборота на одного жителя в АТЕ и области	Соотношение пассажирооборота на одного жителя в АТЕ и области	Соотношение коэффициента устойчивости брака АТЕ и области	Коэффициент опережающего роста текущей эффективности
г. Брест	1,00	1,32	3,60	1,17
г. Барановичи	4,28	1,01	14,07	1,74
г. Пинск	1,62	1,00	5,19	1,79
Барановичский	1,35	6,18	1,27	1,01
Березовский	2,85	7,06	3,37	1,41
Брестский	1,09	1,41	1,11	1,43
Ганцевичский	7,13	5,98	1,72	5,73
Дрогичинский	13,28	7,22	1,11	2,77
Жабинковский	2,15	7,48	2,74	0,95
Ивановский	12,93	11,99	1,38	1,08
Ивацевичский	140,10	9,04	1,27	5,33
Каменецкий	6,05	2,37	3,05	1,16
Кобринский	2,63	2,96	1,76	1,13
Лунинецкий	2,93	2,74	5,27	1,35
Ляховичский	88,95	26,39	258,36	7,26
Малоритский	46,99	2,98	1,93	5,87
Пинский	2,60	144,84	1,18	3,30
Пружанский	7,67	4,89	2,24	1,72
Столинский	4,85	3,60	1,00	8,18

Таблица 6 – Оценка достижимого потенциала АТЕ

АТЕ области	Оценка
г. Брест	1,03
г. Барановичи	1,27
г. Пинск	1,52
Барановичский	0,59
Березовский	1,03
Брестский	1,23
Ганцевичский	2,91
Дрогичинский	1,51
Жабинковский	0,54
Ивановский	0,52
Ивацевичский	2,44
Каменецкий	0,83
Кобринский	0,77
Лунинецкий	1,07
Ляховичский	3,91
Малоритский	3,47
Пинский	1,79
Пружанский	1,29
Столинский	5,20

Заключение

Расчеты за 2011–2022 гг. показывают, что Столинский, Ляховичский и Малоритский районы могут значительно усилить свой конкурентный потенциал за счет интенсификации использования имеющихся природных и демографических ресурсов. Приоритетными для данных АТЕ направлениями развития являются обрабатывающая промышленность для местных ресурсов (сельскохозяйственного, минерального либо древесного сырья), развитие транспорта и торговли.

В Барановичском, Жабинковском, Ивановском, Каменецком и Кобринском районах достижимый потенциал по параметрам, управляемым решениями органов власти, находится на уровне ниже текущего, что означает высокую степень эффективности использования существующих конкурентных возможностей. При этом Барановичский и Ка-

менецкий районы входят в зону обладания высоким конкурентным потенциалом, Кобринский – средним. Поэтому имеющийся задел по повышению текущей эффективности в этих районах к изменению положения, с точки зрения конкурентного потенциала, не приведет. Однако повышенного внимания требуют Жабинковский и Ивановский районы как обладающие проблемным конкурентным потенциалом.

Для его повышения в таких районах необходимо решение проблемы повышения их обеспеченности экономическими ресурсами, например, через меры повышения привлекательности проживания в них, стимулирование прочей (помимо основной) экономической деятельности и т. д.

Список цитированных источников

1. Ридевский, Г. В. Оценка экономического потенциала административного района / Г. В. Ридевский // Проблемы прогнозирования и государственного регулирования социально-экономического развития : материалы XII Междунар. науч. конф., Минск, 20–21 окт. 2011 г. : в 3 т. / Науч.-исслед. экон. ин-т М-ва экономики Респ. Беларусь ; редкол.: А. В. Червяков [и др.]. – Минск, 2011. – Т. 3. – С. 139–140.
2. Ридевский, Г. В. Процессы регионополизации и экономический потенциал социально-эколого-экономических районов Беларуси / Г. В. Ридевский // Социально-экономическое, социальное-политическое и социокультурное развитие регионов : материалы III Междунар. науч.-практ. конф., 25–26 окт. 2013 г. / Науч.-издат. центр «Социосфера» [и др.] ; редкол.: Н. Арабаджийски [и др.]. – Прага, 2013. – С. 25–32.
3. Богданович, А. В. Особенности специализации регионов Республики Беларусь. Региональная экономическая политика, ее направления и механизмы реализации / А. В. Богданович // Национальная экономика Беларуси : учебник : к 80-летию БГЭУ / В. Н. Шимов [и др.] ; под ред. В. Н. Шимова. – 4-е изд., перераб. и доп. – Минск, 2012. – С. 390–417.
4. Национальная экономика Беларуси: Потенциалы. Хозяйственные комплексы. Направления развития. Механизмы управления : учеб. пособие / В. Н. Шимов [и др.] ; под общ. ред. В. Н. Шимова. – Минск : БГЭУ, 2005. – 844 с.
5. Иванов, М. Б. Методические подходы к оценке потенциала и концептуальные предложения по кластеризации в АТЕ Брестской области / М. Б. Иванов // Экономический бюллетень НИИЭИ Министерства экономики Республики Беларусь. – 2020. – № 1. – С. 48–56.

6. Иванов, М. Б. Методические аспекты оценки конкурентного потенциала административно-территориальных единиц (на примере Брестской области) / М. Б. Иванов // Экономический бюллетень НИЭИ Министерства экономики Республики Беларусь. – 2020. – № 4. – С. 27–36.
7. Иванов, М. Б. Оценка конкурентных возможностей базовых административно-территориальных единиц / М. Б. Иванов // Веснік Беларускага дзяржаўнага эканамічнага ўніверсітэта. – 2020. – № 3. – С. 13–22.
8. Конкурентные преимущества и модернизация экономики / А. А. Быков [и др.]; под ред. А. А. Быкова, М. И. Ноздрина-Плотницкого. – Минск : Мисанта, 2014. – 151 с.
9. Польшнев, А. О. Конкурентные возможности регионов. Методология исследования и пути повышения / А. О. Польшнев. – М. : Красанд, 2010. – 208 с.
10. Богданович, А. В. Демографический и трудовой потенциал / А. В. Богданович // Национальная экономика Беларуси : учебник / В. Н. Шимов [и др.]; под ред. В. Н. Шимова. – 4-е изд., перераб. и доп. – Минск : БГЭУ, 2012. – С. 123–136.
11. Богданович, А. В. Конкурентоспособность регионов и вопросы ее оценки / А. В. Богданович // Белорус. экон. журн. – 2011. – № 4. – С. 43–49.
12. Богданович, А. В. Региональные особенности формирования первичного звена АТУ Республики Беларусь / А. В. Богданович // Экон. бюл. Науч.-исслед. экон. ин-та М-ва экономики Респ. Беларусь. – 2016. – № 11. – С. 59–67.
13. Друкер, П. Эффективное управление. Экономические задачи и оптимальные решения / П. Друкер; пер. с англ. М. Котельниковой. – М. : ФАИР-ПРЕСС, 2001. – 288 с.
14. Blaug, M. Economic theory in retrospect (5th ed.) / M. Blaug. – New York : Cambridge University Press, 1997. – 752 p.
15. Вертинская, Т. Местная инициатива как инновация в управлении региональным развитием / Т. Вертинская // Наука и инновации. – 2011. – № 9. – С. 27–29.
16. Вертинская, Т. С. Методические рекомендации к оценке инновационного развития малых и средних городов с учетом формирования кластерных структур / Т. С. Вертинская // Инновационное развитие регионов Беларуси и Украины на основе кластерной сетевой формы / Н. Г. Берченко [и др.]; науч. ред.: В. П. Соловьев, Т. С. Вертинская. – Минск, 2015. – С. 285–295.
17. Станковская, И. К. Экономическая теория: полный курс MBA / И. К. Станковская, И. А. Стрелец. – М. : Альпина Паблишер, 2016. – 479 с.
18. Сычев, Н. В. Политическая экономия : курс лекций / Н. В. Сычев. – М. : ЭКМОС, 2002. – 384 с.
19. Берченко, Н. Г. Экономический потенциал региона: теория и практика измерения / Р. Я. Костерова, Н. Г. Берченко // Белорусская экономика: анализ, прогноз, регулирование. – 2004. – № 5. – С. 28–38.
20. Иванов, М. Б. Методика и результаты сравнительной оценки социально-экономического потенциала приграничных территорий Республики Беларусь / М. Б. Иванов, Е. С. Данилюк // Сацыяльна-эканамічныя і прававыя даследаванні. – 2021. – № 3 (65). – С. 82–89.
3. Bogdanovich, A. V. Osobnosti specializacii regionov Respubliki Belarus'. Regional'naya ekonomicheskaya politika, ee napravlenii i mekhanizmy realizacii / A. V. Bogdanovich // Nacional'naya ekonomika Belarusi : uchebnik : k 80-letiyu BGEU / V. N. SHimov [i dr.]; pod red. V. N. SHimova. – 4-e izd., pererab. i dop. – Minsk, 2012. – S. 390–417.
4. Nacional'naya ekonomika Belarusi: Potencially. Hozyajstvennye kompleksy. Napravleniya razvitiya. Mekhanizmy upravleniya : ucheb. posobie / V. N. SHimov [i dr.]; pod obshch. red. V. N. SHimova. – Minsk : BGEU, 2005. – 844 s.
5. Ivanov, M. B. Metodicheskie podhody k ocenke potenciala i konceptual'nye predlozheniya po klasterizacii v ATE Brestskoj oblasti / M. B. Ivanov // Ekonomicheskij byulleten' NIEI Ministerstva ekonomiki Respubliki Belarus'. – 2020. – № 1. – S. 48–56.
6. Ivanov, M. B. Metodicheskie aspekty ocenki konkurentnogo potenciala administrativno-territorial'nyh edinic (na primere Brestskoj oblasti) / M. B. Ivanov // Ekonomicheskij byulleten' NIEI Ministerstva ekonomiki Respubliki Belarus'. – 2020. – № 4. – S. 27–36.
7. Ivanov, M. B. Ocenka konkurentnyh vozmozhnostej bazovyh administrativno-territorial'nyh edinic / M. B. Ivanov // Vesnik Belaruskaga dzyarzhaj'naga ekanamichnaga y'niversiteta. – 2020. – № 3. – S. 13–22.
8. Konkurentnye preimushchestva i modernizaciya ekonomiki / A. A. Bykov [i dr.]; pod red. A. A. Bykova, M. I. Nozdrina-Plotnickogo. – Minsk : Misanta, 2014. – 151 s.
9. Polynev, A. O. Konkurentnye vozmozhnosti regionov. Metodologiya issledovaniya i puti povysheniya / A. O. Polynev. – M. : Krasand, 2010. – 208 s.
10. Bogdanovich, A. V. Demograficheskij i trudovoj potencial / A. V. Bogdanovich // Nacional'naya ekonomika Belarusi : uchebnik / V. N. SHimov [i dr.]; pod red. V. N. SHimova. – 4-e izd., pererab. i dop. – Minsk : BGEU, 2012. – S. 123–136.
11. Bogdanovich, A. V. Konkurentnospobnost' regionov i voprosy ee ocenki / A. V. Bogdanovich // Belarus. ekon. zhurn. – 2011. – № 4. – S. 43–49.
12. Bogdanovich, A. V. Regional'nye osobnosti formirovaniya pervichnogo zvena ATU Respubliki Belarus' / A. V. Bogdanovich // Ekon. byul. Nauch.-issled. ekon. in-ta M-va ekonomiki Resp. Belarus'. – 2016. – № 11. – S. 59–67.
13. Druker, P. Effektivnoe upravlenie. Ekonomicheskie zadachi i optimal'nye resheniya / P. Druker; per. s angl. M. Kotel'nikovoj. – M. : FAIR-PRESS, 2001. – 288 s.
14. Blaug, M. Economic theory in retrospect (5th ed.) / M. Blaug. – New York : Cambridge University Press, 1997. – 752 p.
15. Vertinskaya, T. Mestnaya iniciativa kak innovaciya v upravlenii regional'nym razvitiem / T. Vertinskaya // Nauka i innovacii. – 2011. – № 9. – S. 27–29.
16. Vertinskaya, T. S. Metodicheskie rekomendacii k ocenke innovacionnogo razvitiya malyh i srednih gorodov s uchetoformirovaniya klasternyh struktur / T. S. Vertinskaya // Innovacionnoe razvitiye regionov Belarusi i Ukrainy na osnove klasternoj setevoy formy / N. G. Berchenko [i dr.]; nauch. red.: V. P. Solov'ev, T. S. Vertinskaya. – Minsk, 2015. – S. 285–295.
17. Stankovskaya, I. K. Ekonomicheskaya teoriya: polnyj kurs MBA / I. K. Stankovskaya, I. A. Strelec. – M. : Al'pina Pablisher, 2016. – 479 s.
18. Sychev, N. V. Politicheskaya ekonomiya : kurs lekcij / N. V. Sychev. – M. : EK MOS, 2002. – 384 s.
19. Berchenko, N. G. Ekonomicheskij potencial regiona: teoriya i praktika izmereniya / R. YA. Kosterova, N. G. Berchenko // Belorusskaya ekonomika: analiz, prognoz, regulirovanie. – 2004. – № 5. – S. 28–38.
20. Ivanov, M. B. Metodika i rezul'taty sravnitel'noj ocenki social'no-ekonomicheskogo potenciala prigranichnyh territorij Respubliki Belarus' / M. B. Ivanov, E. S. Danilyuk // Sacyal'na-ekanamichnyya i pravavya dasledavanni. – 2021. – № 3 (65). – S. 82–89.

References

1. Ridevskij, G. V. Ocenka ekonomicheskogo potenciala administrativnogo rajona / G. V. Ridevskij // Problemy prognozirovaniya i gosudarstvennogo regulirovaniya social'no-ekonomicheskogo razvitiya : materialy XII Mezhdunar. nauch. konf., Minsk, 20–21 okt. 2011 g. : v 3 t. / Nauch.-issled. ekon. in-t M-va ekonomiki Resp. Belarus'; redkol.: A. V. CHervyakov [i dr.]. – Minsk, 2011. – T. 3. – S. 139–140.
2. Ridevskij, G. V. Processy regionopolizacii i ekonomicheskij potencial social'no-ekologo-ekonomicheskijh rajonov Belarusi / G. V. Ridevskij // Social'no-ekonomicheskoe, social'no-politicheskoe i sociokul'turnoe razvitiye regionov : materialy III Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 25–26 okt. 2013 g. / Nauch.-izdat. centr «Sociosfera» [i dr.]; redkol.: N. Arabadzhijski [i dr.]. – Praga, 2013. – S. 25–32.

Материал поступил 03.06.2024, одобрен 25.06.2024, принят к публикации 25.06.2024

УДК 332.14

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ТРАНСГРАНИЧНОГО РЕГИОНА: ОСОБЕННОСТИ ТРАНСГРАНИЧНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

В. В. Зазерская

К. э. н., доцент, декан экономического факультета, УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: zazerskaya@mail.ru

Реферат

В статье подробно рассматривается сущность экономического потенциала региона, его содержание и структура. Анализируются подходы к определению и предлагается авторская трактовка «экономического потенциала трансграничного региона». Являясь инструментарием регулирования и развития регионов, он решает проблемы рационального использования ресурсной базы региона и выработки условий для эффективного экономического развития. Трансграничный экономический коридор развития образуется под влиянием рациональной территориальной организации экономического потенциала, эффективного использования природных, экономических и трудовых ресурсов, географического положения. При определении структуры экономического потенциала учтены особенности трансграничного взаимодействия на макроуровне. Трансграничный аспект объектной структуры экономического потенциала трансграничного региона обусловил выделение транзитного, инфраструктурного, институционального, интеграционного потенциалов. Определен состав показателей, которые могут быть использованы для проведения оценки экономического потенциала трансграничного региона, в разрезе представленных субпотенциалов.

Ключевые слова: трансграничный регион, территория, экономический потенциал, трансграничный регион, экономический потенциал трансграничного региона, стратегия, трансграничный экономический коридор развития.

ECONOMIC POTENTIAL OF THE CROSS-BORDER REGION: FEATURES OF CROSS-BORDER INTERACTION

V. V. Zazerskaya

Abstract

The article examines in detail the essence of the region's economic potential, its content and structure. Approaches to the definition are analyzed and the author's interpretation of the "economic potential of a transboundary region" is proposed. Being a tool for regulation and development of regions, it solves the problems of rational use of the region's resource base and the development of conditions for effective economic development. A cross-border economic development corridor is formed under the influence of the rational territorial organization of economic potential, the effective use of natural, economic and labor resources, and geographical location. When determining the structure of economic potential, the features of cross-border interaction at the macro level were taken into account. The cross-border aspect of the object structure of the economic potential of the transboundary region led to the allocation of transit, infrastructural, institutional, and integration potentials. The composition of indicators that can be used to assess the economic potential of a transboundary region, in the context of the presented subpotentials, has been determined.

Keywords: cross-border region, territory, economic potential, trans-border region, economic potential of a trans-border region, strategy, trans-border economic development corridor.

Введение

Социально-экономическое развитие трансграничных регионов определяется степенью реализации экономического потенциала. При трансграничном взаимодействии особую актуальность приобретает проблема выравнивания экономического развития регионов для достижения целей регионального управления, а также обеспечения благосостояния населения на данной территории. Для решения этих задач целесообразен новый подход в региональной политике, обеспечивающий смягчение межрегиональных контрастов, решение проблем эффективного и сбалансированного развития региональных социально-экономических систем. В орбиту регионального управления в рамках общегосударственной политики входит не только решение задач по рациональному размещению производительных сил и использованию ресурсов, но и формирование конкурентных преимуществ территорий, эффективное и оптимальное использование ресурсной базы. Необходимость решения вышеперечисленных задач требует корректировки методических подходов и инструментария оценки экономического потенциала, определения степени его освоения, новых критериев эффективности использования, а также выработки предложений органам местной власти по экономическому развитию трансграничных регионов.

Регулирующее воздействие государственных органов управления на изменения конкурентных преимуществ, на качественные преобразования трансграничной экономико-социальной системы основано на результатах оценки потенциальных возможностей территории и выявленных резервов для развития. Экономический потенциал является элементом механизма реализации стратегии экономического развития региона, в связи с чем инструментарий его оценки должен обеспечивать выявление закономерностей развития

региона, определять динамику развития, слабые места. Его теоретико-модельная конструкция реализует ресурсно-результативный подход к управлению экономической системой макро-, мезоуровня, учитывая взаимосвязанное развитие всех структурных элементов региональной экономической системы.

Материалы и методы исследования

Сущностные характеристики потенциала трансграничного региона обусловлены:

- он обладает определенным набором ресурсов, которые составляют экономическую систему и могут быть использованы для достижения определенных целей его опережающего развития;
- в качестве составляющих включает субпотенциалы, раскрывающие возможности опережающего развития трансграничного региона на определенный момент времени;
- в процессе воспроизводства экономического потенциала возникают производственные межрегиональные и внешние связи [1], в связи с чем он учитывает влияние трансграничного сотрудничества на социально-экономическое развитие трансграничной территории.

Мы считаем, что потенциал трансграничного региона включает в себя все факторы воспроизводства на макро и мезоуровне, принимая во внимание не только возможность текущего использования, но и более производительное использование в будущем. Целью этой концепции – определить резервы и включить качественные факторы регионального роста для планомерной трансформации структуры экономического потенциала к эталонной для повышения уровня экономического развития.

Отдельные трактовки понятия «экономический потенциал региона» приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Подходы авторов к определению сущности категории «экономический потенциал региона»

Автор, источник	Сущность
Е. А. Илларионова [2]	Под экономическим потенциалом понимается вся совокупность ресурсов, имеющихся в распоряжении субъекта Российской Федерации, которые активно применяются либо могут быть беспрепятственно мобилизованы и приведены в действие для обеспечения устойчивого развития конкретной территориальной единицы в интересах государства, хозяйствующих субъектов и населения.
М. В. Любимова, В. П. Нестеров, В. С. Дмитриева [3]	Под экономическим потенциалом региона понимается совокупная способность экономики региона, ее отраслей, предприятий, хозяйств осуществлять производственно-экономическую деятельность, выпускать продукцию, товары, услуги, удовлетворять запросы населения, общественные потребности, обеспечивать развитие производства и потребления.
Е. П. Лисиченко [4]	Экономический потенциал региона рассматривается как способность региона за счет использования собственных ресурсов территориального образования обеспечить достижение в территориальных границах устойчивого экономического роста и развития.
С. С. Донцов, А. И. Сулейманова [5]	Экономический потенциал следует рассматривать в узком и широком смысле. В узком смысле экономический потенциал – это совокупность овестьественного и живого труда, а также научно-технических знаний. Однако общественное развитие определяется не только этими показателями, но и наличием природных ресурсов (полезных ископаемых, как источника минерального сырья, лесных массивов, водных ресурсов и другие).
И. М. Калимуллина [6]	Под экономическим потенциалом региона подразумевается вся совокупность ресурсов, которые максимально возможно использовать для обеспечения определенного уровня организации конкретной хозяйственной деятельности в целях повышения уровня и качества жизни населения.
Н. О. Аблова [7]	Под экономическим потенциалом региона подразумевается стоимость ресурсов региона, выраженная в денежном выражении, полученная в результате оценки будущих экономических выгод с учетом сопутствующих затрат и отражающая возможный прирост чистых доходов.
С. А. Андросова [8]	Экономический потенциал региона – это сложная структурированная экономическая категория, включающая совокупность имеющихся в регионе источников, возможностей и средств, которые могут быть использованы в производственно-экономической деятельности субъектов региональной экономики для выпуска продукции, товаров, услуг, обеспечения развития производства, а также для удовлетворения запросов населения и иных возникающих общественных потребностей.
В. И. Меньщикова [9]	Экономический потенциал региона – это совокупная способность народнохозяйственного комплекса региона, его отраслей, хозяйствующих субъектов и населения осуществлять производственно-экономическую деятельность, выпускать продукцию, товары, услуги, удовлетворять возникающие запросы и общественные потребности, а также обеспечивать стабильное развитие производства и потребления.
Л. С. Ковальская [10]	Под потенциалом региона следует понимать совокупность всех ресурсов экономического, социального и природного характера, имеющихся в регионе и определяющих или ограничивающих развитие этого региона, на которые необходимо оказывать управляющее воздействие для достижения поставленных целей и задач.
Г. В. Ридевский [11]	Под экономическим потенциалом понимается способность экономики страны (региона) осуществлять производственно-экономическую деятельность, выпускать продукцию, товары, производить работы и услуги, обеспечивать общественные потребности в развитии производства и потребления.
Л. К. Бабаян [12]	Социально-экономический потенциал показывает текущее состояние инфраструктуры, объектов производства, социального развития и т. д.
Г. А. Хмелева, С. К. Умербаева [13]	Экономический потенциал приграничной территории – это совокупность факторов и условий, определяющих способность региона к осуществлению приграничного сотрудничества для социально-экономического развития.
Н. Д. Кремлев [14]	Под социально-экономическим потенциалом подразумевается «опорная точка», способная привести социально-экономическую систему к производству и воспроизводству ее структурных элементов.

Примечание – Источник: составлено автором на основе изучения экономической литературы.

По нашему мнению, экономический потенциал региона можно рассматривать как совокупность материально-технического базиса, выраженного располагаемыми ресурсами, возможностей и условий вовлечения его в хозяйственный оборот, способная обеспечивать определенный уровень развития региона.

Результаты исследования

Одно из последствий глобализации является возникновение региональной активности, что нашло отражение в появлении «нового звена в системе мирового хозяйства – международных экономических регионов» [15], основной задачей которого стала реализация функции в преодолении резкой асимметрии между страновой спецификой и глобальной конъюнктурой. Это новое образование рассматривается «не только как географическая единица, но и как социальная система с налаженным сотрудничеством в ряде сфер (безопасность, экономика, культура) и / или как функционирующий субъект с четкой идентификацией» [16]. Аналитическое исследование геопространственных характеристик, факторов и условий экономического развития позволило вы-

делить особый тип регионов – «трансграничный экономический коридор развития» и показать их специфику по сравнению с другими трансграничными регионами [17].

Экономический потенциал формируется у каждого территориального образования, примыкающего к государственным границам. На развитие потенциала влияют активизация межгосударственных связей, совершенствование таможенных процедур по пересечению гражданских потоков и коммерческих грузов, способность участвовать в обменных торговых операциях. Аспект извлечения преимуществ, связанных с трансграничным положением территории, обуславливает возможность рассмотрения экономического потенциала трансграничных территорий. Г. А. Хмелева, С. К. Умербаева оценивают экономический потенциал приграничного положения как совокупность факторов и условий, определяющих способность региона к осуществлению приграничного сотрудничества для социально-экономического развития [13].

По мнению российских авторов научных исследований, крупные интеграционные объединения являются базой экономического разви-

тия транснационально-трансграничных систем. А. В. Плякин, А. А. Орехова определяют роль экономической интеграции приграничных «как объединение разделенных национальной границей рынков путем изменения барьерной функции границы на пути трансграничных экономических обменов» [18]. Л. З. Зевин констатирует в [15]: «группа развитых стран в борьбе за сохранение своего доминирования в мировом хозяйстве использует потенциал как национальных экономик, так и региона в результате достижения высокого уровня связанности (плотности) экономической территории, как физической (транспорт, энергетика и ИКТ), так и институциональной, осуществления совместных программ развития науки и образования и т. п.».

В научно-теоретическом отношении экономический потенциал трансграничного региона может рассматриваться в разных аспектах, которые отражают его реальные характеристики, определяющие динамику его уровня в сторону уменьшения или увеличения. Направление изменений потенциала определяется местом территориального образования в структуре общественного разделения труда, состоянием местного рынка труда, производственными возможностями территории и степенью оседлости ее жителей. Как отмечает О. М. Рой: «при достижении определенного уровня экономический потенциал требует расширения своих экспортных возможностей, что актуализирует его трансграничную активность и вызывает интерес со стороны соседнего государства» [19].

Таким образом, обобщив всё вышесказанное, можно предложить следующее определение: экономический потенциал трансграничного региона – это совокупность ресурсов и возможностей, определяющих способность региона к осуществлению трансграничного сотрудничества, которые могут быть максимально задействованы субъектами регионального хозяйства в целях стимулирования экономического роста и развития внутри территориальных границ.

Составляющие потенциала региона, раскрывающие трансграничное взаимодействие представлены на рисунке 1.

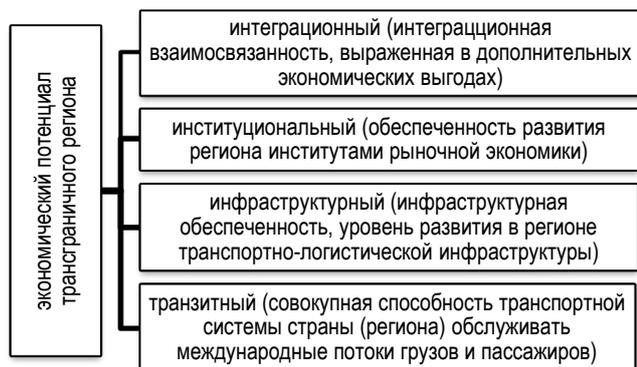


Рисунок 1 – Трансграничный аспект объектной структуры экономического потенциала трансграничного региона

Примечание – Источник: собственная разработка.

Далее определим состав показателей по рассматриваемым структурным элементам, которые могут быть использованы для проведения оценки. У нас есть некоторые ограничения при выборе показателей для проведения оценки экономического потенциала трансграничного региона, так как статистическая информация представлена в ограниченном количестве. Исходя из этого, нами сформирована следующая система показателей оценки, характеризующая трансграничное воздействие на экономический потенциал, представленная ниже.

Интеграционные индикаторы:

- 1) темпы изменения объема экспорта товаров;
- 2) темпы изменения объема импорта товаров;
- 3) коэффициент покрытия экспортом импорта;
- 4) индекс численности студентов и магистрантов – иностранных граждан, обучающихся в учреждениях высшего образования Республики Беларусь;
- 5) индекс прямых иностранных инвестиций;
- 6) удельный вес продажи товаров иностранного производства в розничном товарообороте.

Институциональные индикаторы:

1. Уровень развития бизнеса:
 - 1) удельный вес объема реализованной продукции малых предприятий в общем объеме реализованной продукции (работ, услуг);
 - 2) удельный вес субъектов малого и среднего предпринимательства в валовой добавленной стоимости;
 - 3) темпы изменения числа микроорганизаций, малых и средних организаций;
 - 4) удельный вес предприятий, получивших прибыль.
2. Уровень развития управления:
 - 1) индекс эффективности управления на макроуровне, рассчитывается как отношение государственного долга к ВВП;
 - 2) уровень инфляции;
 - 3) уровень налоговой нагрузки, находится как отношение налоговых доходов консолидированного бюджета к ВВП;
 - 4) индекс экономической эффективности управления, определяется как разница между рентабельностью и ставкой рефинансирования.

3. Уровень социального развития:

- 1) доля домашних хозяйств, подключенных к Интернету, %;
- 2) темп изменения численности студентов, обучающихся по программам бакалавриата, специалитета и магистратуры;
- 3) индекс социальной стабильности равен отношению средней зарплаты к прожиточному минимуму.

Инфраструктурные индикаторы:

- 1) индекс фондонасыщенности территории, отражающий величину стоимости основных фондов на единицу площади [20];
- 2) индекс инвестиций в основной капитал по видам экономической деятельности: транспортная деятельность, складирование, почтовая и курьерская деятельность;
- 3) индекс плотности железнодорожных путей общего пользования;
- 4) индекс плотности автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием;
- 5) объем услуг, оказанных организациями, осуществляющими логистическую, транспортно-экспедиционную деятельность;
- 6) объем услуг, оказанных логистическими центрами;
- 7) объем транспортно-экспедиционных услуг.

Транзитные индикаторы:

- 1) индекс транзитного грузооборота всех видов транспорта;
- 2) индекс транзитного пассажирооборота всех видов транспорта;
- 3) индекс перевозок грузов по видам транспорта и видам сообщения;
- 4) индекс объема логистических услуг по обработке транзитных грузов на территории Республики Беларусь;
- 5) объем логистических услуг по обработке транзитных грузов на территории Республики Беларусь.

Таким образом, оценка потенциала, проведенная на основе предлагаемой системы показателей, позволит выявить как факторы, которые способствуют формированию и реализации трансграничных взаимосвязей и конкурентных преимуществ для региона, так и факторы, которые могут затормозить экономическое развитие.

Заключение

Экономический потенциал, рассматриваемый как основа региональной хозяйственной системы, отражает совокупность экономических процессов и взаимосвязей. При изучении экономического потенциала использовался структурный подход, который позволил определить его составляющие трансграничного аспекта. Определение экономического потенциала трансграничного региона как совокупности ресурсов и возможностей, определяющих способность региона к осуществлению трансграничного сотрудничества, которые могут быть максимально задействованы субъектами регионального хозяйства в целях стимулирования экономического роста и развития внутри территориальных границ, позволяет находить уровень развития региона, который отражает уровень использования ресурсов в производстве и их освоенность, учитывать трансграничный фактор для территории, формировать стратегию развития региона. Целью оценки потенциала является оптимизация экономических отношений и взаимодействий для удовлетворения потребностей хозяйствующих субъектов в ресурсах в процессе производства товаров и услуг и населения в комфортных условиях проживания.

Список цитированных источников

1. Королевская, В. И. Управление региональной экономикой в условиях рынка / В. И. Королевская, С. Н. Хохлов. – М., 2001. – С. 15.
2. Илларионова, Е. А. Экономический потенциал региона: содержание, оценка, предпосылки сбалансированного развития : автореферат на соискание ученой степени канд. экон. наук : 08.00.05 / Е. А. Илларионова. – Курск : Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова, 2015.
3. Любимова, М. В. Проблемы оценки социально-экономического потенциала региона / М. В. Любимова, В. П. Нестеров, В. С. Дмитриева // Потенциал региона. – 2007. – № 4. – С. 13–24.
4. Лисиченко, Е. П. Теоретико-методические подходы к оценке социо-эколого-экономического потенциала региона / Е. П. Лисиченко // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия D, Экономические и юридические науки. – 2018. – № 13. – С. 36–39.
5. Донцов, С. С. Основные понятия и теоретические основы определения экономического потенциала региона / С. С. Донцов, А. И. Сулейманова // Вестн. Павлодар. гос. ун-та. – 2011. – № 1. – С. 98–106.
6. Борисевич, В. И. Экономика региона : учеб. пособие / В. И. Борисевич, П. С. Гейзлер, В. С. Фатеев. – Минск : БГЭУ, 2002. – 432 с.
7. Аблова, Н. О. Совершенствование оценки экономического потенциала малых и средних городов при формировании программы устойчивого регионального развития : автореферат на соискание ученой степени канд. экон. наук : 08.00.05 / Н. О. Аблова. – М. : Финансовый университет при Правительстве РФ, 2016.
8. Андросова, С. А. Экономический потенциал региона: усиление роли бюджетного регулирования : автореферат на соискание ученой степени канд. экон. наук : 08.00.05; 08.00.10 / С. А. Андросова. – Тамбов : Орловский государственный институт экономики и торговли, 2009.
9. Меньщикова, В. И. Экономический потенциал региона: терминология, структура, модель / В. И. Меньщикова // Вестник Тамбовского университета. Серия: Гуманитарные науки. – 2010. – № 4 (84). – С. 51–63.
10. Ковальская, Л. С. Методический подход к оценке регионального потенциала [Электронный ресурс] / Л. С. Ковальская // Эффективна економіка. – 2011. – № 5. – Режим доступа: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=1761>. – Дата доступа: 20.04.2024.
11. Ридевский, Г. В. Экономический потенциал регионов Беларуси: величина, структура, специализация, уровень экономического развития [Электронный ресурс] / Г. В. Ридевский // Региональная экономика и управление: электронный научный журнал. – № 4 (72). – Режим доступа: <https://eee-region.ru/article/7202/>. – Дата доступа: 18.05.2024.
12. Бабаян, Л. К. Социально-экономический потенциал региона: методика и оценка / Л. К. Бабаян // Управленческий учет. – 2022. – № 5. – С. 449–455.
13. Хмелева, Г. А. Экономический потенциал приграничного расположения как фактор повышения уровня социально-экономического развития региона / Г. А. Хмелева, С. К. Умербаева // Вестник Самарского государственного университета. Серия «Экономика и управление». – 2015. – № 9/1 (131). – С. 50.
14. Кремлев Н. Д. Организация мониторинга устойчивого развития территорий / Н. Д. Кремлев // Журнал экономической теории. – 2018. – Т. 15. – № 2. – С. 224–232.
15. Зевин, Л. З. Евразии как международного экономического региона [Электронный ресурс] / Л. З. Зевин // РСМ. – 2013. – № 4 (81). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/potentsial-evrazii-kak-mezhdunarodnogo-ekonomicheskogo-regiona>. – Дата доступа: 22.05.2024.
16. Bennet, C. Does Regionalism Challenge Globalization or Build upon it? [Electronic resource] / C. Bennet. – July 2010. – Mode of access: <http://www.i-ir.info/?p=4704>. – Date of access: 22.05.2024.
17. Зазерская, В. В. Трансграничная регионализация: типология регионов и пространственное планирование / В. В. Зазерская // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия D, Экономические и юридические науки. 2023. – № 3 (65). – С. 28–34. – <https://doi.org/10.52928/2070-1632-2023-65-3-28-34>.
18. Плякин, А. В. Экономическая интеграция как форма и результат приграничного сотрудничества регионов сопредельных государств / А. В. Плякин, Е. А. Орехова // Региональная экономика. Юг России. – 2024. – Т. 12. № 1. – С. 85–97.
19. Рой, О. М. Экономический потенциал приграничных районов: особенности трансграничного взаимодействия на омском участке государственной границы России и Казахстана [Электронный ресурс] / О. М. Рой // Вестник ОмГУ. Серия: Экономика. – 2022. – № 2. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskij-potentsial-prigranichnyh-rayonov-osobennosti-transgranichnogo-vzaimo-deystviya-na-omskom-uchastke-gosudarstvennoy>. – Дата доступа: 22.05.2024.
20. Плисецкий, Е. Л. Инфраструктурный потенциал территории как фактор устойчивого регионального развития / Е. Л. Плисецкий, Е. Е. Плисецкий // Вопросы государственного и муниципального управления. – 2020. – № 3. – С. 165–185.

References

1. Korolevskaya, V. I. Upravlenie regional'noj ekonomikoj v usloviyah rynka / V. I. Korolevskaya, S. N. Hohlov. – M., 2001. – S. 15.
2. Illarionova, E. A. Ekonomicheskij potencial regiona: sodержanie, ocenka, predposylki sbalansirovannogo razvitiya : avtoreferat na soiskanie uchenoj stepeni kand. ekon. nauk : 08.00.05 / E. A. Illarionova. – Kursk : Starooskol'skij tekhnologicheskij institut im. A.A. Ugarova, 2015.
3. Lyubimova, M. V. Problemy ocenki social'no-ekonomicheskogo potentsiala regiona / M. V. Lyubimova, V. P. Nesterov, V. S. Dmitrieva // Potencial regiona. – 2007. – № 4. – S. 13–24.
4. Lisichenok, E. P. Teoretiko-metodicheskie podhody k ocenke socio-ekologo-ekonomicheskogo potentsiala regiona / E. P. Lisichenok // Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya D, Ekonomicheskie i yuridicheskie nauki. – 2018. – № 13. – S. 36–39.
5. Doncov, S. S. Osnovnye ponyatiya i teoreticheskie osnovy opredeleniya ekonomicheskogo potentsiala regiona / S. S. Doncov, A. I. Sulejmanova // Vestn. Pavlodar. gos. un-ta. – 2011. – № 1. – S. 98–106.
6. Borisevich, V. I. Ekonomika regiona : ucheb. posobie / V. I. Borisevich, P. S. Gejzler, B. C. Fateev. – Minsk : BGEU, 2002. – 432 s.
7. Ablova, N. O. Sovershenstvovanie ocenki ekonomicheskogo potentsiala malyh i srednih gorodov pri formirovanii programmy ustojchivogo regional'nogo razvitiya : avtoreferat na soiskanie uchenoj stepeni kand. ekon. nauk : 08.00.05 / N. O. Ablova. – M. : Finansovyy universitet pri Pravitel'stve RF, 2016.
8. Androsova, S. A. Ekonomicheskij potencial regiona: usilenie roli byudzhnetnogo regulirovaniya : avtoreferat na soiskanie uchenoj stepeni kand. ekon. nauk : 08.00.05; 08.00.10 / S. A. Androsova. – Tambov : Orlovskij gosudarstvennyj institut ekonomiki i trgovli, 2009.
9. Men'shchikova, V. I. Ekonomicheskij potencial regiona: terminologiya, struktura, model' / V. I. Men'shchikova // Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Gumanitarnye nauki. – 2010. – № 4 (84). – S. 51–63.
10. Koval'skaya, L. S. Metodicheskij podhod k ocenke regional'nogo potentsiala [Elektronnyj resurs] / L. S. Kovalevskaya // Efektivna ekonomika. – 2011. – № 5. – Rezhim dostupa: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=1761>. – Data dostupa: 20.04.2024.
11. Ridevskij, G. V. Ekonomicheskij potencial regionov Belarusi: velichina, struktura, specializaciya, uroven' ekonomicheskogo razvitiya [Elektronnyj resurs] / G. V. Ridevskij // Regional'naya ekonomika i upravlenie: elektronnyj nauchnyj zhurnal. – № 4 (72). – Rezhim dostupa: <https://eee-region.ru/article/7202/>. – Data dostupa: 18.05.2024.
12. Babayan, L. K. Social'no-ekonomicheskij potencial regiona: metodika i ocenka / L. K. Babayan // Upravlencheskij uchet. – 2022. – № 5. – S. 449–455.
13. Hmeleva, G. A. Ekonomicheskij potencial prigranichnogo raspolozheniya kak faktor povysheniya urovnya social'no-ekonomicheskogo razvitiya regiona / G. A. Hmeleva, S. K. Umerbaeva // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Ekonomika i upravlenie». – 2015. – № 9/1 (131). – S. 50.

14. Kremlev N. D. Organizaciya monitoringa ustojchivogo razvitiya territorij / N. D. Kremlev // Zhurnal ekonomicheskoj teorii. – 2018. – Т. 15. – № 2. – S. 224–232.
15. Zevin, L. Z. Evrazii kak mezhdunarodnogo ekonomicheskogo regiona [Elektronnyj resurs] / L. Z. Zevin // RSM. – 2013. – № 4 (81). – Rezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/article/n/potentsial-evrazii-kak-mezhdunarodnogo-ekonomicheskogo-regiona>. – Data dostupa: 22.05.2024.
16. Bennet, C. Does Regionalism Challenge Globalization or Build upon it? [Electronic resource] / C. Bennet. – July 2010. – Mode of access: <http://www.l-ir.info/?p=4704>. – Date of access: 22.05.2024.
17. Zazerskaya, V. V. Transgranichnaya regionalizaciya: tipologiya regionov i prostranstvennoe planirovanie / V. V. Zazerskaya // Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya D, Ekonomicheskie i juridicheskie nauki. 2023. – № 3 (65). – S. 28–34. – <https://doi.org/10.52928/2070-1632-2023-65-3-28-34>.
18. Plyakin, A. V. Ekonomicheskaya integraciya kak forma i rezul'tat prigranichnogo sotrudnichestva regionov sopredel'nyh gosudarstv / A. V. Plyakin, E. A. Orekhova // Regional'naya ekonomika. YUg Rossii. – 2024. – Т. 12. № 1. – S. 85–97.
19. Roj, O. M. Ekonomicheskij potencial prigranichnyh rajonov: osobennosti transgranichnogo vzaimodejstviya na omskom uchastke gosudarstvennoj granicy Rossii i Kazahstana [Elektronnyj resurs] / O. M. Roj // Vestnik OmGU. Seriya: Ekonomika. – 2022. – № 2. – Rezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskij-potentsial-prigranichnyh-rayonov-osobennosti-transgranichnogo-vzaimodejstviya-na-omskom-uchastke-gosudarstvennoj>. – Data dostupa: 22.05.2024.
20. Pliseckij, E. L. Infrastrukturnyj potencial territorii kak faktor ustojchivogo regional'nogo razvitiya / E. L. Pliseckij, E. E. Pliseckij // Voprosy gosudarstvennogo i municipal'nogo upravleniya. – 2020. – № 3. – S. 165–185.

Материал поступил 25.06.2024, одобрен 25.06.2024, принят к публикации 25.06.2024

ПОСТРОЕНИЕ ОТРАСЛЕВЫХ ЛАБОРАТОРИЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ В КОНТЕКСТЕ МИРОВОГО ОПЫТА

Д. А. Курилюк

Аспирант, УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: dkurilyuk@mail.ru

Реферат

В статье рассмотрены различные направления деятельности отраслевой лаборатории, определены ее функции и задачи. Проанализированы положительные и отрицательные аспекты реализации научно-исследовательских и опытно-конструкторских проектов сотрудниками отраслевой лаборатории. Проведен обзор законодательной базы в сфере правового обеспечения научной, научно-технической и инновационной деятельности в Республике Беларусь. Предлагается новое определение термина «отраслевая лаборатория», которое подчеркивает роль отраслевой лаборатории в выполнении научно-исследовательских работ, сопровождении инновационных проектов, апробации и внедрении результатов в производственный процесс, а также в обучении и подготовке специалистов.

Ключевые слова: лаборатория, отрасль, отраслевая лаборатория, опытно-конструкторские проекты, научно-исследовательские проекты.

BUILDING INDUSTRY LABORATORIES IN THE REPUBLIC OF BELARUS IN THE CONTEXT OF WORLD EXPERIENCE

D. A. Kurilyuk

Abstract

The article examines various areas of activity of the industrial laboratory, defines its functions and tasks. The positive and negative aspects of the implementation of research and development projects by employees of the industry laboratory are analyzed. A review of the legislative framework in the field of legal support for scientific, scientific, technical and innovative activities in the Republic of Belarus was carried out. A new definition of the term "industrial laboratory" is proposed, which emphasizes the role of the industrial laboratory in carrying out research work, supporting innovative projects, testing and implementing results in the production process, as well as in the education and training of specialists.

Keywords: laboratory, industry, industry laboratory, development projects, research projects.

Введение

В мировой практике существуют научные и научно-исследовательские лаборатории для выполнения научно-технических и опытно-конструкторских проектов. Научно-исследовательская лаборатория – это специализированное пространство, где проводятся исследования и эксперименты, создаются научно-технические разработки в определенной области. Ее цель заключается в решении актуальных проблем через экспериментальную, теоретическую и проектную деятельность. Можно выделить основные виды научных лабораторий, существующие на базе университетов и научных организаций: научно-исследовательские помещения и лаборатории кафедр, проблемные научно-исследовательские лаборатории, научно-исследовательские институты и центральные научно-исследовательские лаборатории, испытательные центры, вычислительные центры, опытно-экспериментальные мастерские, межвузовские центры обслуживания научных исследований, промышленные лаборатории и отраслевые научно-исследовательские лаборатории. Они анализируют различные методы и приемы научно-исследовательской работы, имеют образовательную функцию и выполняют научные проекты для различных сфер промышленности.

Растущая потребность в научно-исследовательских и опытно-конструкторских инновациях, качественной экспертизе материалов и продукции для определенной сферы производства подтолкнула к созданию отраслевых лабораторий.

На территории Республики Беларусь и Российской Федерации такие лаборатории создаются с целью ускорения процесса внедрения инноваций в реальный сектор экономики и увеличения экономической отдачи от научно-исследовательских и опытно-конструкторских проектов, выполняемых в научных организациях и университетах. Во многих других странах такую роль выполняют промышленные лаборатории. Они являются связующим звеном между наукой и производством, способствуя интеграции научных достижений в производственную сферу, основываясь на векторах развития и существующей проблематике реального сектора экономики. Такие лаборатории способствуют разработке принципиально новых технологий и материалов, что может являться основой для технологического прогресса профильной сферы или области.

Отраслевые лаборатории как форма взаимоотношений между наукой и производством

Определение отраслевой лаборатории дается в постановлении Совета Министров Республики Беларусь от 9 февраля 2017 г. № 110 «Об утверждении Примерного положения об отраслевой лаборатории». Согласно вышеуказанному положению под данным термином понимается подразделение организации, которое создается в ее структуре и обеспечивает следующие виды деятельности:

1) выполнение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и опытно-технологических работ;

2) выполнение работ по научному сопровождению инновационных проектов;

3) выполнение опытно-промышленной апробации и внедрение в производство результатов научной и научно-технической деятельности в организациях профильной области, которые осуществляют свою деятельность на основе Плана совместных работ с республиканскими органами государственного управления и иными государственными организациями, которые подчиняются Правительству Республики Беларусь, Национальной академией наук Беларуси, и реализуют государственную политику в соответствующей сфере.

За основные функции таких лабораторий в данном постановлении принимаются разработка и внедрение новых методик проведения научных исследований, реализация образовательных программ различного направления и уровня, выполнение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и опытно-технологических проектов, научно-техническая и консультативная поддержка, тесное взаимодействие с предприятиями реального сектора экономики, оказание помощи обучающимся и иные функции с учетом специфики деятельности научной организации.

В Республике Беларусь определены следующие задачи деятельности отраслевых лабораторий: выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, разработка и промышленная апробация новых технологий и образцов, коммерциализация научных результатов своей деятельности, разработка практических рекомендаций по улучшению различных показателей производств соответствующей области, разработка новых методов исследований, реализация образовательных программ в рамках практической подготовки и научно-исследовательской деятельности, обеспечение научного сопровожде-

ния реализации бизнес-планов организаций при модернизации действующих производств и создании новых, организация выпуска новых видов продукции, освоение новых рынков сбыта и определение перспектив функционирования [4].

По состоянию на 25 января 2024 года на базе 62 научных организаций функционируют 104 отраслевые лаборатории, из них в сфере образования – 34, науки – 31, промышленности – 17, здравоохранения – 9, сельского хозяйства и продовольствия – 4, связи и информатизации – 2, транспорта и коммуникаций – 2, строительства и архитектуры – 2, природопользования – 1, стандартизации – 1, легкой промышленности – 1 [1].

Исходя из вышеуказанных данных, можно сделать вывод о том, что отраслевые лаборатории могут осуществлять свою деятельность как на базе университетов и научных организаций, так и являться структурным подразделением промышленного предприятия, получившего статус научной организации.

Отраслевые лаборатории на промышленных предприятиях создаются для решения определенного ряда задач, связанных с инновационной деятельностью организации и контролем качества выпускаемой продукции. Сотрудники таких отраслевых лабораторий в полной мере владеют спецификой и проблематикой отрасли, и, исходя из этого, грамотно формулируют техническое задание для своей деятельности. Научные кадры могут разрабатывать новые технологии производства, материалов или модернизировать существующие, а также проводить тестирование перед внедрением в производство. Такие лаборатории обеспечивают контроль качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции, участвуют в процессе сертификации продукции, что необходимо для подтверждения соответствия стандартам и нормам. А также проводят научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, которые позволяют опережать технологический прогресс. Иногда такие лаборатории вовлекаются в образовательный процесс, что дает возможность интегрировать практическую подготовку будущих специалистов и научно-исследовательскую деятельность. Данные функции способствуют повышению конкурентоспособности предприятий и улучшению качества продукции, а также обеспечивают внедрение инноваций и технологическое развитие.

Деятельность отраслевых лабораторий на базе научных организаций и университетов может основываться на нескольких направлениях: проведение исследований для конкретной отрасли, сотрудничество с реальным сектором экономики, решение практических производственных задач, подготовка высококвалифицированных кадров и привлечение финансирования. Основная цель – опытно-промышленная апробация и внедрение в реальный сектор экономики профильной отрасли результатов научной и научно-технической деятельности.

Такая деятельность позволяет научно-исследовательской группе сотрудников установить более тесное сотрудничество с областями промышленности, что приводит к глубокому пониманию специфики и проблематики конкретной отрасли промышленности. Исходя из понимания деятельности организации в той или иной сфере, научный коллектив отраслевой лаборатории способен предложить научно обоснованное техническое и технологическое решение (рисунок 1).

Отраслевые лаборатории играют важную роль в экономике государства, поскольку представляют собой площадки для инновационного и технологического развития, что может способствовать повышению конкурентоспособности национальной экономики и росту ВВП. Результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских проектов могут привести к созданию принципиально новых продуктов, процессов или услуг, что, в свою очередь, стимулирует экономический рост и создание дополнительных рабочих мест [2].

Научные сотрудники лаборатории вносят вклад в создание инновационной экосистемы, объединяющей университеты, научные организации и промышленность для совместной работы над инновациями.

Функции отраслевых лабораторий на базе промышленных предприятий и на базе научных организаций значительных отличий не имеют, кроме того, что основным заказчиком научно-исследовательских и опытно-конструкторских проектов научной организации являются промышленные предприятия определенной сферы, а в случае промышленного предприятия работы выполняются в рамках интересов организации, в состав которой входит данная лаборатория.



Рисунок 1 – Схема решения технологических задач отрасли
Примечание – разработка автора

Исходя из вышенаписанного, можно сделать вывод о том, что отраслевые лаборатории имеют возможность заниматься широким спектром задач, которые могут стоять перед конкретной отраслью промышленности:

1. Фундаментальные исследования: изучение базовых принципов и теорий, которые лежат в основе различных научных дисциплин.
2. Прикладные исследования: разработка новых технологий и решений, которые могут быть использованы в промышленности или других сферах.
3. Инновационная деятельность: создание новых продуктов, процессов или услуг для определенной отрасли промышленности, которые могут привести к коммерческому успеху или социальным изменениям.
4. Научное сопровождение: решение практических задач профильной сферы и области.
5. Метрологическое обеспечение: обеспечение точности и стандартизации измерений, необходимых для реализации научно-исследовательских и опытно-конструкторских проектов и производства.
6. Патентно-лицензионная деятельность: защита интеллектуальной собственности и управление патентами и лицензиями.
7. Международное сотрудничество: участие в глобальных научных проектах и обмен знаниями с исследовательскими учреждениями по всему миру.
8. Образовательная деятельность: отраслевые лаборатории на базе университетов и научных организаций предоставляют студентам и молодым ученым возможность принять участие в передовых научно-исследовательских и опытно-конструкторских проектах, а также проводить обучение и повышать квалификацию сотрудников организаций смежной отрасли.
9. Коммерциализация результатов: инвестиции в научно-исследовательские и опытно-конструкторские проекты в отраслевых лабораториях могут привести к значительному экономическому эффекту.

Достаточно большое количество направлений деятельности позволяют интегрировать разнообразные научные области в одном научно-исследовательском или опытно-конструкторском проекте, что способствует созданию инновационных решений, ускорению технологической интеграции и объединению академических исследований с практическими потребностями производства определенной отрасли промышленности.

На развитие того или иного направления деятельности значительное влияние оказывают факторы внешней среды. Политические изменения, изменения в законодательстве или государственной поддержке инновационной деятельности могут повлиять на финан-

сирование и возможности исследований. Общественное мнение может влиять на приоритеты научно-исследовательских и опытно-конструкторских проектов и на их социальную поддержку.

Наличие доступного финансирования для проведения исследований является ключевым фактором. Экономические кризисы или изменения в бюджетах могут оказывать влияние на возможности лаборатории. Инвестиции от частных компаний, государства или других источников способствуют технологическому прогрессу.

Доступность современных технологий и оборудования влияет на возможности проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Качество лабораторных помещений и их инфраструктура, безопасность и доступность ресурсов также важны.

Окружающая среда, включая качество воздуха, воды и почвы, может влиять на возможности проведения экспериментов и исследований. Данные факторы можно разделить на прямые и косвенные (рисунок 2).



Рисунок 2 – Факторы внешней среды
Примечание – разработка автора

Прямые факторы оказывают наиболее значимое влияние и их изменение ведет к изменениям какого-либо направления деятельности отраслевой лаборатории. К прямым факторам влияния можно отнести научно-технический прогресс отрасли, инструменты системы государственной поддержки, экономическая ситуация в стране и за рубежом, надежность поставщиков оборудования (в том числе и научного), наличие конкурентов, платежеспособность потребителей и их заинтересованность в результатах научно-исследовательских и опытно-конструкторских проектов.

Правовое обеспечение научной, научно-технической и инновационной деятельности в Республике Беларусь осуществляется на следующих законодательных актах: кодексы Республики Беларусь, законы Республики Беларусь, декреты Президента Республики Беларусь, Указы Президента Республики Беларусь, постановления Совета Министров Союзного государства, постановления Совета Министров Республики Беларусь, нормативные правовые акты Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь, Национальной академии наук Беларуси, Министерств и иных республиканских органов государственного управления.

В частности ключевыми являются:

1. Указ Президента Республики Беларусь от 7 мая 2020 г. № 156 «О приоритетных направлениях научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 годы», Закон Республики Беларусь от 10 июля 2012 г. № 425-3 (ред. от 06.01.2022 № 152-3) «О государственной инновационной политике и инновационной деятельности в Республике Беларусь».

2. Закон Республики Беларусь от 21 октября 1996 г. № 708-XIII (ред. от 17.07.2023 № 300-3) «О научной деятельности», Закон Республики Беларусь от 19 января 1993 г. № 2105-XII (ред. от 17.07.2023 № 300-3) «Об основах государственной научно-технической политики».

3. Указ Президента Республики Беларусь от 4 февраля 2013 г. № 59 (ред. от 18.06.2018 № 240) «О коммерциализации результатов научной и научно-технической деятельности, созданных за счет государственных средств».

4. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 31 августа 2006 г. № 1103 (ред. от 06.02.2024 № 88) «Об использовании результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и опытно-технологических работ и признании утратившим силу постановления Совета Министров Республики Беларусь от 28 мая 2003 г. № 700».

Государственное стимулирование научной и инновационной деятельности в Республике Беларусь осуществляется через ряд государственных программ и законодательных инициатив. Из ключевых инструментов можно отметить: налоговые льготы, включая освобождение прибыли от реализации инновационных и высокотехнологичных товаров, а также прибыли от реализации имущественных прав на результаты научной и научно-технической деятельности; самостоятельное определение условий производства и реализации высокотехнологичных товаров (работ, услуг) юридическими лицами без привлечения средств республиканского и местных бюджетов; создание организаций, использующих результаты интеллектуальной деятельности, научными организациями и учреждениями.

Государственная программа инновационного развития на 2021–2025 годы, утвержденная Указом № 348 от 15 сентября 2021 года, направлена на создание новых производств, соответствующих приоритетным направлениям научной и инновационной деятельности. Программа включает в себя меры по налоговому и таможенному стимулированию, а также предусматривает государственную поддержку инновационных проектов.

Закон «О научной и инновационной деятельности» определяет основные задачи государственной инновационной политики, включая обеспечение экономического и социального развития через эффективное использование интеллектуальных ресурсов, создание благоприятных условий для инновационной деятельности и развитие государственно-частного партнерства в этой сфере.

Деятельность отраслевых лабораторий на территории Республики Беларусь регулируется вышеуказанным постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 9 февраля 2017 г. № 110 «Об утверждении Примерного положения об отраслевой лаборатории».

Оценка эффективности деятельности отраслевых лабораторий может проводиться по трем показателям: экономический эффект от использования специализированного научного оборудования; объем научно-исследовательских и опытно-конструкторских проектов, выполненных для организации, имеющей в своей структуре отраслевую лабораторию; объем научно-исследовательских и опытно-конструкторских проектов, выполненных для внешних организаций профильной области [3].

Деятельность отраслевых лабораторий имеет значимость в специализации проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ для технологического развития определенной отрасли промышленности, но и в преемственности научных знаний с теоретической части в практическое применение результатов научных проектов. Данные меры направлены на активизацию инновационной деятельности и поддержку производства высокотехнологичных товаров, что способствует развитию научно-технологического потенциала государства.

Отраслевые лаборатории имеют некоторый ряд преимуществ перед научно-исследовательскими лабораториями. Рассмотрим наиболее важные аспекты деятельности таких лабораторий, которые обуславливают ее успешную работу.

Такая лаборатория имеет возможность проводить фундаментальные и прикладные исследования, связанные с актуальными проблемами профильной отрасли промышленности и использовать современные методы и уникальное оборудование, что приводит к более точным и релевантным результатам.

Деятельность отраслевых лабораторий способствует разработке и внедрению новых решений, технологий и продуктов, что влечет за собой повышение уровня конкурентоспособности и экономической

эффективности отрасли. Научные кадры тесно сотрудничают с другими структурными подразделениями организации, а также с внешними партнерами и заказчиками: представители реального сектора экономики различных областей, представители государственных органов и служб, представители общества.

Научные кадры отраслевых лабораторий могут участвовать в подготовке и повышении квалификации кадров для смежной отрасли промышленности. Такая деятельность может включать преподавание дисциплин, организацию семинаров, летних школ и проведение стажировок. Привлечение талантливых студентов, аспирантов и молодых ученых к участию в научно-исследовательской, опытно-конструкторской и инновационной работе также является важной задачей. Сотрудники имеют возможность публиковать результаты своей деятельности в ведущих научных журналах, монографиях, учебниках, СМИ и других источниках, что способствует обмену знаниями и опыта.

Все данные аспекты совместно обеспечивают успешное функционирование отраслевой лаборатории, способствуя развитию науки, инноваций и технологического прогресса.

При осуществлении своей деятельности научный коллектив может сталкиваться с рядом проблем. Отраслевые лаборатории могут сталкиваться с ограничениями в финансировании, что затрудняет приобретение современного оборудования и привлечение квалифицированных специалистов. Поскольку многие отраслевые лаборатории зависят от государственного финансирования и политики, изменения в экономической или политической ситуации могут негативно сказаться на их работе.

Специализация на конкретных научно-исследовательских и опытно-конструкторских проектах может привести к изоляции от общих научных и технологических перспективных направлений исследований. В случае повторной попытки реализации результатов научного проекта без отраслевого или государственного заказчика могут возникнуть трудности с коммерциализацией.

Частичное отсутствие мультидисциплинарного подхода может существенно влиять на результаты научных проектов. Мультидисциплинарность способствует объединению различных научных областей, что может привести к более глубокому пониманию проблем и более эффективным технологическим решениям [6].

В научном коллективе отраслевой лаборатории могут иметь место концептуальные, статусные или личностные конфликты. Концептуальные конфликты возникают из-за различий во взглядах на теории и методологии, статусные связаны с иерархией и распределением ресурсов, а личностные проистекают из межличностных отношений. Возникновение таких конфликтов может привести к недопониманию и разногласиям в методологии исследования, к напряженности в отношениях и снижению продуктивности, что затрудняет совместную работу, ухудшает моральный климат в коллективе и может замедлить прогресс научно-исследовательских и опытно-конструкторских проектов.

Проблемы финансирования, специализации и внутренние конфликты затрудняют работу научных лабораторий, требуя эффективно управления для успешной реализации научно-исследовательских и опытно-конструкторских проектов в отраслевой лаборатории.

Для успешной реализации научно-исследовательских и опытно-конструкторских проектов в отраслевых лабораториях требуется эффективное управление, учитывая проблемы финансирования, специализации и внутренних конфликтов.

Заключение

Исходя из результатов проведенного исследования, можно считать, что определение термина «отраслевая лаборатория», данное в постановлении Совета Министров Республики Беларусь от 9 февраля 2017 г. № 110 «Об утверждении Примерного положения об отраслевой лаборатории» не совсем полно отражает деятельность такой лаборатории. В данном определении не рассмотрены аспекты значения роли производственного или государственного заказчика научно-исследовательских, опытно-конструкторских и опытно-технологических работ и образовательной функции.

Предлагается следующие определение термина «отраслевая лаборатория» – подразделение организации, создаваемое в ее структуре и имеющее научное оборудование, которое обеспечивает выполнение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и опытно-технологических работ, выполнение работ по научному со-

проведению инновационных проектов, выполнение опытно-промышленной апробации и внедрение в производство результатов научной и научно-технической деятельности в организациях профильной области, по заказу промышленного предприятия или отрасли, и осуществляющее обучение и подготовку высококвалифицированных кадров для профильной отрасли промышленности.

Изменение определения в постановлении Совета Министров Республики позволит научным организациям и университетам оказывать целенаправленное научно-исследовательское и опытно-технологическое сопровождение промышленных организаций и осуществлять подготовку научных кадров профильной области, что, в свою очередь, сократит разницу между академическими исследованиями и практическими потребностями реального сектора экономики и будет способствовать увеличению финансирования отраслевых лабораторий.

Список цитированных источников

1. Белорусский институт системного анализа и информационного обеспечения научно-технической сферы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://belisa.org.by/ru/ntd/laboratories>. – Дата доступа: 03.03.2024.
2. Бендиков, М. А. Высокотехнологичный сектор промышленности России в аспектах системного и глобального финансово-экономического кризисов / М. А. Бендиков, И. Э. Фролов // Экономика и математические методы. – 2011. – Т. 47, № 2. – С. 43–53.
3. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravo.by/novosti/novosti-pravo-by/2017/february/22934>. – Дата доступа 10.03.2024.
4. Об утверждении Примерного положения об отраслевой лаборатории : постановление Совета Министров Республики Беларусь от 9 февраля 2017 г. № 110 [Электронный ресурс] // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C21700110&p1=1>. – Дата доступа: 13.03.2024.
5. Шумилин, А. Г. Сущность и функции национальной инновационной системы / А. Г. Шумилин // Вестник Томского государственного университета. Экономика. – 2016. – № 1 (33). – 2016. – С. 98–104.
6. Ястребова, Е. В. Мультидисциплинарные научные исследования и их медийная поддержка / Е. В. Ястребова // Проблемы экономики и юридической практики. – 2017. – № 5. – С. 18–22.

References

1. Belorusskij institut sistemnogo analiza i informacionnogo obespecheniya nauchno-tekhniczeskoj sfery [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://belisa.org.by/ru/ntd/laboratories>. – Data dostupa: 03.03.2024.
2. Bendikov, M. A. Vysokotekhnologichnyj sektor promyshlennosti Rossii v aspektah sistemnogo i global'nogo finansovo-ekonomicheskogo krizisov / M. A. Bendikov, I. E. Frolov // Ekonomika i matematicheskie metody. – 2011. – T. 47, № 2. – S. 43–53.
3. Nacional'nyj pravovoj Internet-portal Respubliki Belarus' [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://pravo.by/novosti/novosti-pravo-by/2017/february/22934>. – Data dostupa 10.03.2024.
4. Ob utverzhdenii Primernogo polozheniya ob otraslevoj laboratorii : postanovlenie Soveta Ministrov Respubliki Belarus' ot 9 fevralya 2017 g. № 110 [Elektronnyj resurs] // Nacional'nyj pravovoj Internet-portal Respubliki Belarus'. – Rezhim dostupa: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C21700110&p1=1>. – Data dostupa: 13.03.2024.
5. SHumilin, A. G. Sushchnost' i funkcii nacional'noj innovacionnoj sistemy / A. G. SHumilin // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika. – 2016. – № 1 (33). – 2016. – S. 98–104.
6. YAstrebova, E. V. Mul'tidisciplinarnye nauchnye issledovaniya i ih medijnaya podderzhka / E. V. YAstrebova // Problemy ekonomiki i yuridicheskoy praktiki. – 2017. – № 5. – S. 18–22.

Материал поступил 29.06.2024, одобрен 02.07.2024, принят к публикации 02.07.2024

АНАЛИЗ ЗАРУБЕЖНОГО И ОТЕЧЕСТВЕННОГО ОПЫТА ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ТАМОЖЕННОГО ДЕЛА

Н. В. Потапова¹, Ю. Д. Ковалевская²

¹ К. э. н., доцент, заведующий кафедрой бухгалтерского учета, анализа и аудита УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: nvpotapova@g.bstu.by

² Студентка 1 курса специальности «Таможенное дело» УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: td000112@g.bstu.by

Реферат

В статье исследуются актуальные вопросы совершенствования образовательных программ и профессиональной подготовки специалистов в области таможенного дела в вузах в изменяющихся условиях профессиональной среды. Основное внимание уделяется изучению и анализу мирового опыта подготовки специалистов в области таможенного дела на примере отдельных западных стран. Анализируется изменение структуры и содержания программ в зависимости национальных особенностей таможенной сферы в системе экономической безопасности государства. Ключевыми факторами оценки определены такие, как человеческий фактор, кадровая политика, требования и стандарты профессии. В настоящей статье раскрываются особенности профессиональной подготовки и основные аспекты траектории профессионального роста работника таможенной сферы. Проведенный обзор профессиональной подготовки за рубежом позволил выделить некоторые общие тенденции и сделать выводы относительно возможности использования данного опыта для подготовки отечественных специалистов.

Ключевые слова: таможенное дело, образование, профессиональная подготовка, таможенная служба, экономическая безопасность, специалист таможенного дела.

ANALYSIS OF FOREIGN AND DOMESTIC EXPERIENCE IN PROFESSIONAL TRAINING OF CUSTOMS OFFICERS

N. V. Potapova, Yu. D. Kovalevskaya

Abstract

The article examines current issues of improving educational programs and professional training of specialists in the field of customs in universities in the changing conditions of the professional environment. The main attention is paid to the study and analysis of world experience in training specialists in the field of customs using the example of individual countries. The change in the structure and content of programs depending on the national characteristics of the customs sphere in the economic security system of the state is analyzed. The key assessment factors are identified as the human factor, personnel policy, requirements and standards of the profession. This article reveals the features of professional training and the main aspects of the trajectory of professional growth of a customs employee. The review of professional training abroad made it possible to identify some general trends and draw conclusions regarding the possibility of using this experience to train domestic specialists.

Keywords: customs, education, vocational training, customs service, economic security, customs specialist.

Введение

В современных условиях, диктуемых стремительными изменениями значительных сфер жизни, нельзя оставить без внимания сферу образования. Экономическая безопасность страны во многом зависит от эффективной деятельности таможенной службы. Совершенствуются технологии и средства таможенного контроля, меняется законодательство. Но также необходимо постоянно совершенствовать методику профессиональной подготовки сотрудников таможенных органов, которые обязаны владеть, помимо базовых теоретических знаний, набором профессиональных компетенций. Профессиональная подготовка таможенных служащих является приоритетным направлением совершенствования кадровой политики, а, следовательно, эффективности таможенной системы в целом. Именно профессиональной подготовки зависит формирование компетенций таможенников. Основной задачей организации образования и подготовки является обучение сотрудника умению профессионально выполнять служебные обязанности, особенно в экстремальных ситуациях. Деятельность служащих таможенных структур связана с высокой степенью риска, работой с различными категориями населения, подверженностью профессионально деформирующим влияниям. В связи с этим особое внимание должно уделяться не только теории, но и практике, моделированию служебных ситуаций и образцов поведения.

Материалы и методы исследования

Проблема профессиональной подготовки таможенников является многоаспектной и активно исследуется отечественными и зарубежными учеными в научных работах. Значительное количество отечественных и зарубежных трудов посвящено изучению актуаль-

ных проблем и особенностей подготовки специалистов в области таможенного дела, таких авторов, как Р. Gordhan, S. Holloway, P. Long, В. Ф. Байнев, С. В. Булярский, А. Ф. Епифанов, Д. Г. Коровяковский, А. И. Каменев, Ю. Г. Кисловский, С. А. Курочкин, Г. Э. Белецкий, В. А. Острога, О. А. Кравченко, А. В. Науменко и др. Наиболее схожими системами профессиональной подготовки таможенников являются белорусская и российская. В связи с этим в статье уделено внимание опыту западных стран с целью поиска новых полезных аспектов для отечественной системы образования. Несмотря на высокую значимость результатов проведенных исследований, возникла необходимость в научном обобщении и систематизации факторов формирования компонентов профессии специалистов таможенного дела с целью развития теоретико-методических и прикладных основ их профессиональной подготовки с учетом современных стандартов профессии и требований рынка труда. Данное исследование будет способствовать развитию и совершенствованию форм организации и профессиональной подготовки будущих сотрудников таможи.

Цель данного исследования состоит в изучении особенностей и определении ключевых факторов формирования профессии специалиста в области таможенного дела для оценки уровня профессиональной подготовки и потенциала профессионального роста, определения профессиональных требований, установления показателей успешности и уточнения критериев подбора персонала.

Для достижения поставленной цели определены следующие задачи:

– изучить особенности формирования основных компонентов профессии специалиста таможенного дела на основе содержания

профессиональных и личностных компетенций, требований рынка труда и профессиональной культуры таможенной деятельности на примере отдельных стран;

– проанализировать возможности использования данного опыта для подготовки отечественных специалистов и профессионального роста специалиста таможенного дела.

При написании работы использовались общелогические и общенаучные (анализ, синтез, обобщение, конкретизация) методы исследования. Методологическую основу составили диалектический метод, компетентностный подход, системный подход к рассмотрению процессов и установлению взаимосвязей. Системный подход позволяет рассматривать профессиональную подготовку специалистов таможенного дела как совокупность составляющих компонентов и связей между ними. Компетентностный подход направлен на формирование компетенций в оптимальном соотношении теоретических знаний и практических умений, обеспечивающих эффективную профессиональную деятельность.

Актуальность данной темы обусловлена тем, что осуществляемая на сегодняшний день высшими учреждениями образования профессиональная подготовка таможенных кадров обеспечивает теоретическую подготовку, что не всегда соответствует ожиданиям современного работодателя. Практикоориентированность, профессиональная гибкость, профессиональная культура становятся ключевыми факторами кадровой политики в таможенной сфере.

Область возможного применения – развитие системы профессиональной подготовки специалистов таможенного дела, выводы и практические рекомендации могут быть положены в основу формирования требований профессиональной подготовки специалиста таможенного дела.

Результаты исследования

США. Таможенная служба США обладает мощным кадровым потенциалом и современной развитой системой подготовки. Обучение в вузах построено на основании комплексной системы подготовки специалистов, в состав которой входит, помимо общеобразовательных дисциплин, обучение различным способам и методам выявления контрабандной продукции, освоение основ криминалистики, антитеррористическая подготовка, обучение оказанию первой помощи пострадавшим, а также подготовка в области межкультурного общения [1].

Система образования и профессиональной подготовки должностных лиц построена с учетом следующих особенностей. Таможенная система США обеспечивает защиту государственных границ, осуществляет надзор и охрану более чем 325 пунктов доступа в страну и реализует сотни нормативно-правовых актов, направленных на защиту граждан и экономики. Для Соединенных Штатов характерно тесное взаимодействие таможенных и пограничных структур. Таможенная и пограничная служба Соединенных Штатов Америки включает в себя множество подразделений, специализирующихся на различных сферах и в различных направлениях обеспечения экономической безопасности. Этим обуславливается то, что при поступлении в вуз на этапе бакалавриата студент может выбрать более узкую программу подготовки по специализированным блокам. Одним из немаловажных критериев подготовки специалистов таможенного дела в Соединенных Штатах Америки является успеваемость, т. е. обязательным условием отбора является наличие высоких баллов у кандидатов. Должностные лица таможенных служб и пограничных служб США должны иметь как минимум степень бакалавра [2]. Однако, чтобы в дальнейшем выдвигать свою кандидатуру на высокие должности в госучреждениях и международных организациях, необходимо иметь степень магистра или кандидата наук.

Помимо изучения традиционных дисциплин курс подготовки охватывает современные проблемы, возникшие в последние десятилетия (например, интеллектуальный капитал и права на интеллектуальную собственность, трудовые права и окружающая среда). Проводится значительная работа с экономическими данными, где больше внимания уделяется практическим проблемам, чем экономической теории. Практическая направленность курса подтверждается тем, что каждый студент пишет серию коротких статей, посвященных реальным экономическим проблемам и стратегиям их решения. Обязательной является также специальная физическая подготовка.

Также важно отметить, что работники при поступлении на службу в выбранные подразделения должны пройти обязательное обучение по специальной программе в Федеральном центре подготовки специалистов. Период обучения специалистов составляет 18 недель.

Франция. Особое место в системе подготовки кадров в таможенные органы Франции занимает Национальная школа подготовки таможенников. Вступительные экзамены организуются в тесном взаимодействии с таможенной службой. По результатам экзаменов студенты распределяются по группам в соответствии со следующими категориями:

– категория А – диплом таможенного агента. Сотрудникам этой отрасли поручено работать в областях, связанных с контролем за международными торговыми операциями, косвенным налогообложением и администрированием услуг;

– категория В – диплом таможенного контроллера. Сфера их деятельности включает проверку и обеспечение законодательства в сфере таможенного регулирования;

– категория С – диплом таможенного инспектора. Специализируется на контроле пересечения границы пассажирами, проверке документов, проведение личного досмотра [3].

Национальная школа подготовки таможенников предоставляет также возможность последиplomного образования и повышения квалификации без отрыва от работы, которые могут осуществляться на уровне межрегиональных служб, отвечающих за профессиональную подготовку.

Национальная школа развивает дистанционное обучение и также использует мобильные учебные курсы. Обучение включает промежуточную оценку знаний в конце каждого модуля, заключительный экзамен, по результатам которого студенты получают сертифицированный государством диплом с указанием соответствующей категории.

Есть также более специальная подготовка таможенников. Например, в морском секторе таможенная служба Франции имеет команды, специализирующиеся на проверке ограниченных районов на борту коммерческих судов. По этой специализации был создан специальный учебный курс. Таможенная служба Франции также сотрудничает с университетами с целью обмена знаниями и лучшей адаптации высшего образования. В настоящее время осуществляется партнерство с высшими учебными заведениями.

Канада. Таможенная служба Канады входит в состав Министерства общественной безопасности, в рамках которого она соединилась с пограничной службой и стала составлять с ней единое целое. На сегодняшний день данное Министерство несет большую ответственность за реализацию как функций пограничных подразделений с целью обеспечения национальной безопасности страны, так и таможенных структур, включая содействие свободному передвижению через границу людей и перемещению различной продукции, животных и растений, за выполнение всех требований нормативно-правовых актов [4]. В системе высшего образования осуществляется подготовка сразу трех видов сотрудников: таможенники, сотрудники иммиграционного контроля и сотрудники Канадского агентства по контролю за продовольственной продукцией. В соответствии с данной классификацией разработаны образовательные стандарты [1].

Анализ подготовки специалистов в области таможенного дела в рассматриваемой стране позволил выявить следующие особенности. Формирование большого объема компетенций, позволяющих выполнять профессиональные функции. Студенты изучают такие вопросы, как освобождение от уплаты таможенных пошлин и платежей, проблемы и тенденции развития современного таможенного дела, финансы и учет в мировой торговле, получают навыки, которые в дальнейшем помогают выявлять контрабанду, поддельную документацию, контрафактную и фальсифицированную продукцию, позволяя проводить оперативные действия и расследовать правонарушения. Большое внимание уделяется формированию аналитического мышления и развитых устных коммуникаций. На протяжении четвертого семестра все студенты проходят обязательный курс по подготовке к работе на постах таможни и поиска работы в сфере таможенного дела, а также специальный тренинг по практическому использованию полученных в процессе подготовки навыков, который проходит на протяжении пяти недель. Особое значение придается физической подготовке обучающихся. В учебный план включены,

помимо занятий физической культурой, специальные сборы и тренинги, способствующие развитию выносливости и адаптации к значительным физическим нагрузкам, с которыми придется столкнуться в профессиональной деятельности.

Для заступления на государственную службу в качестве таможенного инспектора в пункте пропуска достаточно иметь среднее специальное образование. Но анализ вакансий показывает, что в качестве преимущества рассматривается наличие как минимум двухлетнего экономического или юридического образования в дополнение к среднему.

Великобритания. Проведенный анализ подготовки сотрудников в области таможенного дела данной страны позволил выявить, что в процессе подготовки специалистов особое внимание уделяется умению использовать на практике систему управления рисками. В условиях хорошо развитой нормативно-правовой базы в сфере регулирования таможенного дела и ВЭД ключевой задачей государственных органов Великобритании выступает именно поддержка конкурентоспособности на внешних рынках. Стоит отметить, что особое значение придается информационному обеспечению в системе подготовки специалистов. Студентам предоставляется информация о состоянии отдельных взятых отраслей и секторов экономики, рынков товаров, их потенциальных возможностях.

Чтобы поступить на данную специальность в вуз достаточно предоставить сертификаты о сданных экзаменах по программе старших классов средней школы. Обязательных предметов всего два: математика и английский.

При устройстве на работу, как говорится на правительственном сайте по трудоустройству, обязательным является прохождение теста на «способность к командной работе и к общению», а также собеседования, на котором желающим служить на таможне задается ряд вопросов. Преимуществом обладают претенденты, которые могут подтвердить наличие юридических знаний, а также кандидаты, уже получившие опыт в смежных профессиях, например, в полиции [5].

Если американская таможня организационно объединена с пограничной службой, то британская с 2005 года представляет единое ведомство с налоговой инспекцией – Королевская налоговая и таможенная служба. Этим объясняется преимущественно документальный характер работы таможенных служащих. За неимением сухопутных рубежей, британская таможня несет службу в морских и воздушных гаванях и базируется в достаточно крупных городах, что сказывается на специфике обучения в вузе. В процессе освоения специальности большее внимание уделяется статистике, ведению товарной номенклатуры, способности проверять правдивость внесенных данных и анализу информации с различных источников. О специальных учреждениях для повышения квалификации и переподготовки кадров таможенные органы в литературе и интернет-источниках не упомянуто. Как правило, даже после окончания вуза большинство британских таможенников начинают карьерный рост с должности помощника инспектора или административного помощника.

Германия. Стать таможенным служащим в Германии можно, получив образование. **Эта специальность предлагает получение знаний и овладение умениями и навыками в области налогового и таможенного управления [6]. Обучение имеет уклон в сторону права и экономики предприятия, установлении и проверке налогов или пошлин.**

Таможенная служба несет ответственность за фиксацию, сбор и аудит имущественных и транспортных налогов. В их обязанности входит определение налоговой базы, а также установление и взимание налогов.

Обучение по специальности «Финансовое управление. Налоги и таможня» в Германии занимает три года и состоит из равных частей обучения и практических заданий. В самом начале учебы – вступительная стажировка: студенты получают первое представление о таможенной службе. Затем следует шестимесячное обучение [6]. Здесь студенты овладевают важными теоретическими основами: государственное право и государственная политика, экономика и финансы, бизнес и общественные науки.

Для обучения по специальности необходимы аттестат, а также наличие гражданства Германии или другой страны Евросоюза. Интересующиеся обучением таможенному управлению должны предо-

ставить гарантии того, что они не имеют судимости, они должны быть готовы к ношению служебной одежды и оружия [6].

Функционирует программа «Магистр таможенного администрирования в таможенном деле, налогообложении и международном торговом праве». Эта магистратура обучает практиков в сфере таможенного дела, которые будут занимать управленческие должности. Курс обучения в магистратуре можно пройти только в заочной форме. Длительность курса обучения составляет 18 месяцев. На протяжении последних 6 месяцев курса обучающиеся занимаются написанием магистерской диссертации и составлением отчета по прикладному проекту [1].

Южная Корея. Для подготовки специалистов таможенного дела в Южной Корее существует высшее специальное учебное заведение – Департамент торговли и коммерции, который предлагает обучение таможенному делу для студентов, и Учебный центр таможенного и пограничного контроля, предназначенный для переподготовки и повышения квалификации кадров таможенных органов.

Обучение в Учебном центре включает несколько образовательных программ:

- программа «впервые принятый в таможенные органы» предполагает обучение служащих основам таможенного дела, приобретению базовых знаний и практических навыков;
- программа «продвижение кандидатов» предполагает повышение квалификации в области таможенного администрирования;
- программа «менеджеры» предполагает развитие навыков управления в качестве руководителей региональных таможен и государственных служащих;
- программа «руководитель» предполагает развитие лидерских навыков менеджеров, продвигаемых от помощника начальника таможни до начальника региональной таможни [7].

Программа высшего образования студентов Департамент торговли и коммерции включает 4 курса:

1. Основной (базовый) учебный курс предполагает изучение фундаментальных дисциплин и формирование теоретической базы.
2. Профессиональный курс обеспечивает получение навыков работы с компьютерной техникой и средствами таможенного контроля, выявления контрабанды, поддельной документации, контрафактной и фальсифицированной продукции.
3. Глобальный курс включает изучение мировых стандартов таможенной деятельности, международного сотрудничества в сфере таможенного дела, а также анализ проблем, проведение исследований и разработку проектов.
4. Бизнес-курс нацелен на развитие ключевых компетенций, навыков коммуникации, творческой инициативы, предприимчивости и формирование профессиональной культуры [7].

Таким образом, подготовка специалистов в области таможенного дела в рассматриваемой стране представляет собой разветвленную сеть программ, способствующих освоению профессии от базового уровня до профессионального.

Объединенные Арабские Эмираты. Таможенная служба ОАЭ является одной из наиболее эффективной в мире. Подготовка специалистов в области таможенного дела ориентирована на международные образовательные стандарты, а также на использование самых современных средств обучения.

Система подготовки специалистов таможенного дела в ОАЭ сосредоточена вокруг двух центров. В университете Дубая первые два года обучения в университете предполагают освоение теоретической базы и изучение обязательных дисциплин. В последующие два года обучение строится на принципе «выбора дисциплин» по определенным блокам, в соответствии с более узким направлением деятельности. Студенты старших курсов могут обучаться по следующим блокам: «HSN Классификация и таможенный тариф»; «Таможенные процедуры и содействие торговле»; «Таможенные процедуры и содействие торговле»; «Таможенное право, таможенные расследования и правоприменение»; «Таможенная стоимость и соглашение по таможенной стоимости ВТамО» [8].

Вторым центром подготовки будущих специалистов в области таможенного дела является Зайедский университет, который в 2016 году совместно с таможней Дубая запустили работу Международного та-

моженного центра. Это совместное предприятие по предоставлению специализированных услуг в области образования, обучения, профессионального развития, исследований и консультационных услуг для таможенных администраций в ОАЭ. Университет Зайед является национальным и региональным лидером в области образовательных инноваций. Он имеет два современных кампуса в Дубае и Абу-Даби, которые принимают как национальных, так и иностранных студентов. Помимо образовательных стандартов по данной специальности Центр предлагает ряд дополнительных программ:

- курс «Электронная программа по стратегическому планированию борьбы с наркотиками», предназначенный для предоставления студентам сертификата мирового класса, аккредитованного Управлением Организации Объединенных Наций по наркотикам и преступности. Обучение включает 120 учебных часов, охватывающих ряд важных тем, начиная от управления качеством, управления командой, стратегического управления, наркотиков и средств борьбы с их незаконной торговлей;

- учебные программы «Аккредитив международной торговли», «Управление экспортом и импортом», «Грузовые перевозки» [9].

Таким образом, профессиональная подготовка таможенных служащих в ОАЭ нацелена на формирование высококлассных специалистов, обладающих актуальными знаниями и навыками. Большое внимание уделяется развитию узкоспециализированных профессиональных компетенций в конкретной сфере таможенной деятельности. В основу системы профессиональной подготовки специалистов в области таможенного дела положен принцип непрерывности обучения, а также активно практикуется международное взаимодействие с образовательными организациями в таможенной сфере.

Австралия. Согласно оценке Всемирного банка, приведенной в ежегодном исследовании «The Logistics Performance Index and Its Indicators 2023», австралийцы находятся на 19 месте по уровню предоставления таможенных услуг. Таможенная служба страны является одной из ведущих во внедрении электронных технологий, а также одним из самых некоррупцированных среди таможен других стран [10].

В Австралии большое внимание уделяется обучению кадров для таможенных органов. На территории расположен Центр таможенного и акцизного обучения, который является одним из лидирующих в мире поставщиком студентов в узкопрофильных сферах таможенного, акцизного и пограничного регулирования. С Центром таможенного и акцизного обучения активно сотрудничает Австралийский национальный университет, что позволяет студентам этого вуза закрепить на практике свои приобретенные навыки в таких областях: таможенное администрирование, управление на границе и др. По окончании обучения выпускник может получить степень бакалавра управления на границе.

Также широкой популярностью пользуется курс, который предусматривает исключительно онлайн-обучение. Он включает 11 главных предметов (136 баллов) и 7 дисциплин на выбор студента (56 баллов). Курс был разработан в полном соответствии с национальными требованиями, что обеспечивает всех студентов хорошей общей образовательной базой. Курс включает дисциплины по таможенной политике, законодательству и сертификации. По завершении курса обучения студент также получит степень бакалавра [11].

На сегодняшний день одними из самых профессиональных сотрудников во всем мире считаются таможенные брокеры в Австралии. Это лица, уполномоченные импортером для совершения операций на таможне при ввозе товаров, проходящие специальную программу обучения. Процесс получения диплома таможенного брокера состоит из 18 единиц обучения [11]. Протяженность курса составляет 4 семестра (2 года). Преподаватели являются таможенными брокерами с действующей лицензией.

Ключевое внимание уделяется языковой и теоретической подготовке. В процессе обучения обеспечивается построение понятийного аппарата через усвоение юридических дисциплин. Подготовка специалистов высокого уровня обеспечивается преподаванием дисциплин в большинстве случаев практикующими специалистами.

Норвегия. Таможенная служба Норвегии является норвежским правительственным агентством, находящимся в подчинении Министерства финансов и ответственным за защиту общества от неле-

гального ввоза и вывоза товаров, обеспечение государственных доходов и правильную, своевременную уплату пошлин и налогов. Основными обязанностями норвежской таможни являются: регулирование нормативно-правовой базы, закрепляющей взимание таможенных пошлин; учет импорта и экспорта товаров; проверка правильности декларирования товаров; оценка и проверка основы для взимания таможенных пошлин.

В области подготовки специалистов таможенного дела Университет Осло предлагает неделимую магистерскую учебную программу. Программа рассчитана на 5 лет: 3 года программы бакалавриата и 2 года магистратуры. Язык преподавания этого курса – английский. Из рекомендуемых знаний для обучения по программе отмечают наличие опыта юридических исследований в течение трех лет. По результатам обучения сдается 4-часовой экзамен [12].

При устройстве на работу в таможенную службу кандидаты, имеющие высшее образование по смежным специальностям, должны пройти базовую подготовку, получив знания, необходимые для работы таможенным офицером. Обучение проходит преимущественно в качестве практики в том подразделении, куда кандидат претендует устроиться на работу и составляет 26 месяцев. Обучение начинается с вводного курса, что обеспечивает новых сотрудников информацией о роли и задачах таможенной службы Норвегии. Теоретическое обучение длится неделю, после этого начинается практика в том подразделении, где желает работать претендент [12]. Для того чтобы соответствовать требованиям на должность таможенного служащего, необходимо хорошее знание норвежского и английского языков, а также водительские права категории В. Иностранные граждане также могут устроиться на работу в таможенные органы Норвегии при наличии норвежского вида на жительство и при удовлетворении общих требований о приеме на работу. Возрастных ограничений при приеме на работу нет.

Таможенная служба Норвегии предлагает ряд учебных курсов: онлайн-курс по таможенному оформлению, курс о таможенной процедуре таможенного склада и др. Курсы рассчитаны на действующих сотрудников для углубления их профессиональных компетенций.

Бельгия. В Бельгии не существует специальной подготовки для специалистов таможенного дела. Сотрудники набираются в основном из представителей государственных органов. Для этого им необходимо сдать специализированный экзамен в Selor, включающий тесты на проверку различных навыков и знания языков [12].

Генеральная администрация таможни и акцизов Бельгии обеспечивает безопасность граждан, защищает финансовые интересы ЕС и его государств-членов посредством сбора и проверки импортных пошлин, акцизов и НДС при импорте; содействует законной экономической деятельности; повышает конкурентоспособность европейских предприятий. Для того чтобы стать таможенным служащим в Генеральной администрации таможни и акцизов, необходимо быть гражданином Бельгии, пользоваться гражданскими и политическими правами, соответствовать по медицинским показаниям, знать основы таможенного законодательства, уметь выполнять административные задачи, иметь навыки выявления подозрительного поведения, иметь базовые знания английского, голландского и немецкого языков.

В стране действуют специальные программы и тренинги по тематике таможенного и акцизного управления [9]. Как правило, они организуются на базе университетов или ведомственных подразделений таможни. Они предназначены в первую очередь для государственных служащих. Обучение проводится в форме курсов, которые сочетают теоретическую и практическую подготовку. Существуют также частные курсы, такие как «Таможенное дело от А до Z», Tax&Legal Academy [12].

Таким образом, рассмотрев подготовку специалистов таможенного дела в Бельгии, отметим, что специализированные факультеты в вузах, осуществляющие такую подготовку, отсутствуют, реализуются отдельные программы, направленные на изучение таможенного дела.

Проведенный обзор профессиональной подготовки за рубежом позволяет выделить некоторые общие тенденции и сделать выводы относительно возможности использования такого опыта для подготовки отечественных специалистов. Представленные результаты

отражают только определенные аспекты данного вопроса. Требуется дальнейшие глубокие системные исследования.

Как видно из вышеизложенного материала, профессиональная подготовка таможенников является в основном двухступенчатой, что является главным отличием от белорусской системы. При этом она является специфичной, обусловленной национальными особенностями таможенного законодательства и таможенной системы в целом. Так, в Канаде делается акцент на фундаментальность профессиональной подготовки специалистов. В США – на изучение специализированных дисциплин. В Южной Корее – на развитие сети программ международного взаимодействия с организациями образования в таможенной среде. В Объединенных Арабских Эмиратах – на использование самых современных средств обучения. Во Франции – на использование возможностей дистанционного обучения и мобильных учебных подразделений. В Австралии – на привлечении практикующих экспертов, что соответствует требованиям рынка труда. В Германии – на постоянном совершенствовании содержания и средств обучения. В Норвегии – на развитии онлайн-курсов и проведении учебных курсов в различных организациях.

Это позволяет сделать вывод, что в основе каждого подхода лежат результаты образования (компетенции), которые являются значимыми для практической сферы. Акцентируется внимание на подготовке такого специалиста, который будет готов к постоянному профессиональному росту и мобильности, что требует формирования личностных качеств, обеспечивающих постоянное профессиональное совершенствование. Большинство видов компетенций в основном направлено на усиление личностного аспекта в образовании.

В Республике Беларусь специальность «Таможенное дело» обладает некоторой специфичностью. Это обусловлено, с одной стороны, тем, что не существовало профильного высшего учебного заведения, осуществляющего профессиональную переподготовку и повышение квалификации до 2010 года. Специальность «Таможенное дело» была введена только в 2000 г. При этом таможенная деятельность осуществлялась людьми преимущественно с высшим образованием, а также военными. Также, в отличие от подготовки таможенных кадров за рубежом, подготовка отечественных специалистов в области таможенного дела одноуровневая. Дальнейшее профессиональное развитие с 2010 года осуществляется в системе дополнительного профессионального образования в форме курсов повышения квалификации и переподготовки.

Особое место в подготовке специалистов в области таможенного дела в Республике Беларусь занимает изучение иностранных языков. Схожим с зарубежной практикой является набор основных методов обучения (лекции, семинары, практические занятия). Имеется возможность консультирования с научным руководителем, что позволяет заниматься исследовательской и научной деятельностью. Обеспечивается достаточно высокий уровень знаний и навыков в своей специализации, который позволяет обучающемуся в дальнейшем выдвигать свою кандидатуру на должности как в государственном, так и в частном секторе. Акцент делается на уровень теоретических знаний в области базовых наук, а также в сфере специализированных дисциплин, дается ориентировка и умение применять существующие методики научного исследования в ходе решения практических проблем.

Определим основные направления совершенствования отечественного таможенного образования с учетом проведенного анализа зарубежного опыта:

- обучение должностных лиц таможенных органов на основе принципов непрерывности и постоянного улучшения должно быть ориентировано на международное взаимодействие таможенных служб;
- возможность обучения на курсах повышения квалификации для всех служащих таможни по направлению их деятельности на иностранных языках;
- постоянный мониторинг требований профессиональной среды и обеспечение возможности получения дополнительного профессионального образования, которого требует специфика подразделения;
- активного вовлечения практикующих таможенников в образовательный процесс в форме чтения лекций, проведения семина-

ров, вебинаров, мастер-классов, гостевых лекций как для студентов, так и для преподавателей;

- использования форм дистанционного обучения специализированным курсам;
- развитие международного сотрудничества, в том числе по проведению научно-исследовательских работ, научно-практических конференций и семинаров;
- усиление практикоориентированности и прикладной направленности образовательного процесса в тесном сотрудничестве с таможенными службами;
- повышение внимания психологической и физической подготовленности специалистов.

Важным направлением является совершенствование работы по ротации кадров, в том числе расширение практики ротации между таможенными органами [13].

Разработка квалификационных требований к различным категориям сотрудников таможенных органов, определение нагрузки таможенных служащих является перспективными направлениями развития таможенного образования.

Заключение

Таким образом, отечественным вузам, ведущим подготовку специалистов-таможенников, следует активно интегрироваться в мировой образовательный процесс, сохраняя при этом специфичные черты национальной подготовки, что позволит усовершенствовать содержательный и методический аспекты образования, расширить возможности обмена опытом, а следовательно, поднять качество подготовки и повысить имидж профессии внутри страны.

В данной статье отображены некоторые результаты исследования профессиональной подготовки сотрудников таможни зарубежных стран с целью поиска эффективных различных подходов и методик, применяемых в других государствах для совершенствования профессиональной подготовки квалифицированных кадров в системе подготовки таможенных служащих Республики Беларусь.

Список цитированных источников

1. Подготовка специалистов с высшим образованием по специальности «Таможенное дело»: российский и зарубежный опыт / Д. Г. Коровяковский [и др.]. – М.: Юстиция, 2016. – 343 с.
2. American University College of Arts and Sciences, Bachelor of Science in Economics Program [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.american.edu>. – Date of access: 20.05.2024.
3. Institut Supérieur des Transports et de la Logistique Internationale France [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.aftral.com/ecoles/istel/>. – Date of access: 20.05.2024.
4. Виртуальная база вакансий в правительственных органах и учреждениях Канады [Электронный ресурс]. – Режим доступа www.jobs.gc.ca. – Дата доступа: 20.05.2024.
5. Harvard University [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.harvard.edu>. – Date of access: 20.05.2024.
6. Duales Studium Beamter/Beamtin im gehobenen Zoldienst [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.ausbildung.de/berufe/beamter-gehobener-zoldienst>. – Date of access: 18.05.2024.
7. Коре́йская таможенная служба [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.customs.go.kr/kcshome/site/index.do?layoutSiteId=english>. – Дата доступа: 19.05.2024.
8. Professional Training Center in Dubai | Training Institute Dubai [Electronic resource]. – Mode of access: <http://edudelphi.com/ae/>. – Date of access: 19.05.2024.
9. Коровяковский, Д. Г. Совершенствование подготовки студентов по специальности «Таможенное дело» в условиях применения нового таможенного кодекса ЕАЭС, формирования цифровой повестки ЕАЭС и программы «Цифровая экономика РФ» (на основе зарубежного опыта и на примере классических и транспортных вузов) / Д. Г. Коровяковский // Таможенное дело. – 2017. – № 4. – С. 26–31.
10. The Logistics Performance Index and Its Indicators 2023 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://lpi.worldbank.org/international/global>. – Date of access: 21.05.2024.
11. Australian Qualification Framework Requirements [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.aqf.edu.au/aqf-levels>. – Date of access: 19.05.2024.

12. Training System [Electronic resource]. – Mode of access: <https://cti.customs.go.kr/hpe/itt/retrieveTrainingSystem.do>. – Date of access: 19.05.2024.
13. Потапова, Н. В. Познавательная составляющая профессиональной деятельности бухгалтера / Н. В. Потапова, Е. О. Дружинина // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2018. – № 3 : Экономика. – С. 63–66.
7. Korejskaya tamozhennaya sluzhba [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.customs.go.kr/kcshome/site/index.do?layoutSiteId=english>. – Data dostupa: 19.05.2024.
8. Professional Training Center in Dubai | Training Institute Dubai [Electronic resource]. – Mode of access: <http://edudelphi.com/ae/>. – Date of access: 19.05.2024.
9. Korovyakovskij, D. G. Sovershenstvovanie podgotovki studentov po special'nosti «Tamozhennoe delo» v usloviyah primeneniya novogo tamozhennogo kodeksa EAES, formirovaniya cifrovoj povestki EAES i programmy «Cifrovaya ekonomika RF» (na osnove zarubezhnogo opyta i na primere klassicheskikh i transportnyh vuzov) / D. G. Korovyakovskij // Tamozhennoe delo. – 2017. – № 4. – С. 26–31.
10. The Logistics Performance Index and Its Indicators 2023 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://lpi.worldbank.org/international/global>. – Date of access: 21.05.2024.
11. Australian Qualification Framework Requirements [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.aqf.edu.au/aqf-levels> – Date of access: 19.05.2024.
12. Training System [Electronic resource]. – Mode of access: <https://cti.customs.go.kr/hpe/itt/retrieveTrainingSystem.do>. – Date of access: 19.05.2024.
13. Potapova, N. V. Poznavatel'naya sostavlyayushchaya professional'noj deyatel'nosti buhgaltera / N. V. Potapova, E. O. Druzhinina // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2018. – № 3 : Экономика. – С. 63–66.

Материал поступил 02.07.2024, одобрен 04.07.2024, принят к публикации 04.07.2024

ЮБИЛЯРЫ



Глушко Константин Александрович

(к 70-летию со дня рождения)

Родился 04.07.1954. Кандидат технических наук (1996), доцент (2003). Окончил Брестский инженерно-строительный институт (1980), обучался в аспирантуре при Белорусском научно-исследовательском институте мелиорации и водного хозяйства (1985–1988 гг.). Работает в университете с 1980 г. Ассистент (1980–1993), старший преподаватель (1993–1996). С 1996 г. – доцент кафедры природообустройства. Является ответственным за организацию НИРС на кафедре, передает свой значительный опыт в изобретательской деятельности студенческой молодежи. В 2018–2020 годах две студенческие работы были подготовлены на конкурс и получили III категорию: Д. В. Сузько «Методика регулирования русел малых рек», П. В. Колодей «Геометрическая интерпретация системы дифференциальных уравнений движения жидкости (уравнения Эйлера)». Является исполнителем НИР на тему «Водные ресурсы Полесья и их использование в современных климатических условиях». Имеет более 100 печатных работ, получил 37 патентов и авторских свидетельств. Имеет почетное звание «Изобретатель СССР», награжден почетными грамотами ГО «Брестмелиоводхоз», УП «Брестводстрой», памятной медалью

«В честь 70-летия журнала «Мелиорация и водное хозяйство».



Базенков Тимофей Николаевич

(к 75-летию со дня рождения)

Доцент кафедры теплогасоснабжения и вентиляции. Родился 30.06.1949 г. в г. Бресте в семье служащего. В 1971 г. окончил Брестский инженерно-строительный институт по специальности «Промышленное и гражданское строительство». В 1983–1987 гг. обучался в аспирантуре Московского инженерно-строительного института им. В. В. Куйбышева по специальности «Строительные конструкции».

Кандидат технических наук, в 1989 г. защитил диссертацию на тему «Несущая способность и деформативность симметричных нагельных соединений деревянных элементов с прокладками».

Работает в университете с 1971 г. Ассистент кафедры строительных конструкций (1971–1975 гг.), старший преподаватель кафедры металлических конструкций (1975–1983 гг.). Заместитель декана факультета сельскохозяйственного строительства (1976–1979 гг.). Старший преподаватель кафедры строительных конструкций (1987–1989 гг.). Доцент кафедры строительных конструкций (1989–1994 гг.). Заведующий кафедрой начертательной геометрии и инженерной графики (1994–2009 гг.). Проректор по учебной работе, профессор кафедры начертательной геометрии и инженерной графики (2000–2017 гг.).

С 2017 г. по 2024 г. – доцент кафедры начертательной геометрии и инженерной графики. Опубликовал более 50 работ, в т. ч. два учебных пособия.

Награжден Почетными грамотами Министерства образования Республики Беларусь, Брестского областного исполнительного комитета, Брестского областного Совета депутатов, университета.

Научные интересы: методика обучения графическим дисциплинам с использованием инновационных методов.

Основные публикации:

Строительное черчение: пособие для профессионально-технических учебных заведений строительного профиля / Т. Н. Базенков [и др.]. – Минск : Амалфея, 2000. – 110 с.

Базенков, Т. Н. Преимущество в инженерном образовании / Т. Н. Базенков, В. И. Гладковский // Вышэйшая школа. – 2005. – С. 51–55.

Кокошко, А. Ф. Начертательная геометрия : практикум / А. Ф. Кокошко, Т. Н. Базенков, Н. С. Житенева ; Министерство образования Республики Беларусь, Брестский государственный технический университет. – Брест : БрГТУ, 2007. – 100 с.

**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 (134). 2024 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.
Дизайн	Якимук К. С.
Корректор	Дударук С. А.

Лицензия № 02330/463 от 27.03.2014 г.

Подписано в печать 31.07.2024 г.

Формат 60×84 ¹/₈. Бумага «Performer». Гарнитура «Arial».

Уч.-изд. л. 24,5. Усл. печ. л. 22,79. Заказ № 799. Тираж 100 экз.

УО «Брестский государственный технический университет»

Адрес: ул. Московская, 267, 224017, г. Брест.

Тел. 32 17 40, e-mail: rio@bstu.by, <https://journal.bstu.by>



9 1771818 110045

2 4 0 0 2