

УДК 624

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

Н. В. Левчук¹, К. А. Олехнович²

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

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

Реферат

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

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

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

N. V. Levchuk, K. A. Olekhovich

Abstract

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

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

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

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

пространстве бетонов мостовых и гидротехнических сооружений, путепроводов.

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

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

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

Катионы и анионы солей	ПДК (предельно допустимая концентрация)
Кальций Ca^{2+}	200 мг/л
Магний Mg^{2+}	100 мг/л
Сульфат SO_4^{2-}	500 мг/л
Хлорид Cl^-	350 мг/л
Железо общее Fe^{2+} Fe^{3+}	0,3 мг/л

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

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

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

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

Известно, что при снижении жесткости воды, т. е. содержании ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} и увеличении значения водородного показателя pH, вероятность присутствия в воде свободного CO_2 увеличивается, что ускоряет процессы коррозии арматуры и карбонизации бетона мостовых и гидротехнических сооружений.

Таблица 2 – Показатели качества воды в пробах природных водных объектов

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

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

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

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

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

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

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

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



Рисунок 1 – Определение ионов хлора в водных вытяжках

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

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

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

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

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

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

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

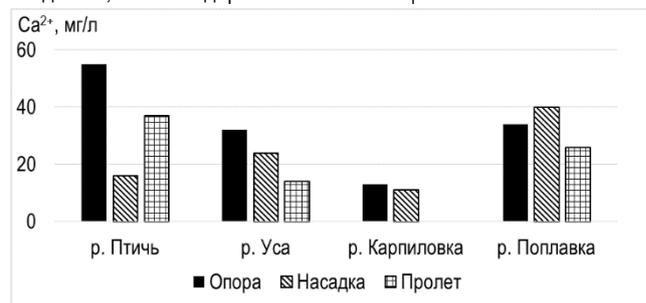


Рисунок 2 – Содержание кальция в водных вытяжках конструкций мостовых сооружений

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

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

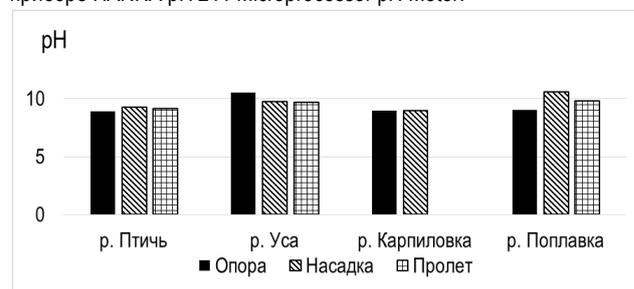


Рисунок 3 – Анализ значений водородного показателя pH

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

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

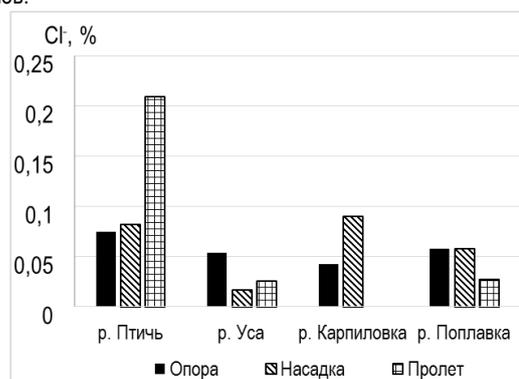


Рисунок 4 – Содержание ионов хлора (%) в водных вытяжках конструкций мостовых сооружений

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

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

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

Список цитированных источников

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

References

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

Материал поступил 09.06.2023, одобрен 05.07.2023, принят к публикации 06.07.2023