

И.В. Красильников

Ивановский государственный политехнический университет,
Научно-исследовательский институт строительной физики
Российской академии архитектуры и строительных наук

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОГО МАССОПЕРЕНОСА ПРИ ЖИДКОСТНОЙ КОРРОЗИИ БЕТОНОВ

Демонстрируются результаты экспериментальных исследований массообменных процессов в системе «жидкая среда – цементный бетон». Особенностью проведенных испытаний является учет влияния температуры на интенсивность массопереноса при жидкостной коррозии бетонов. Описана методика подготовки образцов цементного камня, проведения испытаний на коррозионную стойкость с последующими исследованиями изменений физико-химического состава. Получены профили концентраций гидроксида кальция по толщине образца на моменты времени отбора проб. Представлены кинетические кривые изменения концентраций гидроксида кальция в жидкой фазе. Рассчитаны коэффициенты массопроводности и массоотдачи по пространственно-временным координатам, на основании которых выполнен переход к температурно-концентрационным зависимостям. Полученные зависимости можно применить в расчетах динамики и кинетики массообменных процессов, происходящих в капиллярно-пористой структуре бетона при эксплуатации железобетонной конструкции в неизотермических условиях при постоянном или переменном воздействии воды.

Ключевые слова: массоперенос, выщелачивание, температура, цементный бетон, коэффициент массопроводности, коэффициент массоотдачи.

Актуальность работы. Огромное количество строительных конструкций зданий и сооружений эксплуатируются в условиях воздействия изменяющихся климатических и технологических температур при одно-временном (постоянном или периодическом) контакте конструкции с жидкостью. К таким конструкциям можно отнести все фундаменты зданий в зимний период, в особенности при высоком уровне грунтовых вод; фундаменты и полы производственных зданий с избыточным выделением тепла и влаги, градирни, резервуары и т.д. Все железобетонные конструкции на водных объектах (дамбы, причалы, плотины, пирсы, порты и др.) эксплуатируются в водной среде, температура которой, особенно в климатических условиях России, значительно изменяется в течение года [1–3].

Все исследования жидкостной коррозии первого вида проводились в изотермических условиях при температуре 20–25 °С. При этом параметры массообменных процессов, в первую очередь коэффициенты массопроводности и массоотдачи, имеют существенно разные численные значения при разных температурах [4].

Исследование физико-химических деструкционных процессов, происходящих в структуре строительного материала при его эксплуатации, необходимо для установления общей схемы протекания процессов, определения свойств материала, влияющих на интенсивность процессов, и их изменение при эксплуатации. Кроме этого, данное обстоятельство продиктовано необходимостью разработки математических моделей нестационарных процессов массопереноса, протекающих при эксплуатации строительных объектов, с последующей интеграцией в цифровые имитационные модели жизненного цикла [2; 5].

Целью публикации является демонстрация результатов экспериментальных исследований динамики и кинетики жидкостной коррозии первого вида цементных бетонов при различных температурах, а также оценка влияния температуры на интенсивность массообменных процессов при жидкостной коррозии первого вида цементных бетонов, определение эмпирических зависимостей коэффициентов переноса от температуры.

Материалы и методы исследования. Изучение массообменных процессов при воздействии на цементные бетоны жидкой агрессивной среды проводилось в соответствии с адаптированной методикой [6], основанной на ГОСТ 27677-88 «Защита от коррозии в строительстве. Бетоны. Общие требования к проведению испытаний».

При экспериментальном исследовании свойств бетонов в качестве вяжущего использован портландцемент нормированного состава без минеральных добавок марки 500. Свойства бетонной смеси определены методами, установленными ГОСТ 310.3-92 «Цементы. Методы определения нормальной плотности, сроков схватывания и равномерности изменения объема» и ГОСТ 310.4-92 «Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии».

Вода, использованная при приготовлении бетона, соответствует требованиям ГОСТ 23732-93 «Вода для бетонов и растворов. Технические условия», не содержала примесей в количествах, нарушающих сроки схватывания и твердения бетона, снижающих прочность и морозостойкость бетона.

Исследования проводились на образцах-кубах. Опытный образец состоит из трех плотно подогнанных друг к другу пластин размером

1 × 3 × 3 см, в результате получается образец – куб с гранью 3 см. С целью наибольшего приближения проводимого эксперимента к реальным условиям эксплуатации пять граней куба покрываются битумно-полимерной мастикой холодного отверждения. Таким образом, с жидкостью взаимодействует только одна грань куба.

Изготовленные пластины, выдержанные не менее 28 сут после формирования, соединялись в образцы-кубы. С целью приближения образцов к реальным условиям эксплуатации конструкций пять граней куба покрывались битумно-полимерной мастикой.

Подготовленные образцы погружались в жидкую агрессивную среду объемом 1000 см³. Далее с периодичностью 14 сут отбираются пробы для изучения состава образцов цементного камня и титрования жидкости [7]. В качестве жидкой реакционной среды при изучении массообменных процессов при коррозии первого вида используется дистиллированная вода.

Влияние температуры на динамику и кинетику процесса проводилось путем установления стационарной температуры водной среды в термостате 4 и 25 °С.

Изучение состава образцов цементного камня до и после проведения испытаний в дистиллированной воды проведено методами дифференциально-термического анализа, инфракрасной Фурье-спектроскопии, комплексонометрии [8].

Результаты исследования и их обсуждение. В соответствии с принятым методом испытаний, основанном на сравнении значений показателей, характеризующих коррозионную стойкость испытываемых образцов, помещенных в агрессивную среду, со значениями показателей контрольных образцов, не подвергавшихся действию агрессивной среды, исследовались контрольный образец, не помещенный в водную среду, и образцы, находившиеся в водной среде в течение 1, 14, 28, 42, 56 и 70 сут при температурах +4 и +25 °С.

При исследовании образцов дифференциально-термическим анализом прослеживались четыре эндотермических эффекта и один экзотермический эффект (табл. 1). По данным дифференциально-термического анализа во всех пробах зафиксировано уменьшение содержания гидроксида кальция по эндоэффекту при температуре 430–480 °С. Проведенные исследования дифференциально-термическим анализом позволили установить в процентном содержании общее количество гидроксида кальция и его изменение в течении 1, 14, 28, 42, 56 и 70 сут при температурах +4 и +25 °С, результаты представлены в табл. 2.

Таблица 1

Изменение массы и энергии образцов при испытании на дериватографе

$t_{\text{ДТА}}, ^\circ\text{C}$	Характер эффекта	Процесс, вызывающий эффект	Изменение массы после воздействия среды, %	
			4 °C	25 °C
100–130	Эндотермический	Удаление физически связанной воды	3,46	3,86
300–400	Экзотермический	Выгорание органических примесей	0,72	0,78
430–480	Эндотермический	Дегидратация гидроксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$	0,76	0,95
550–650	Эндотермический	Полиморфные превращения кварца $\alpha\text{-SiO}_2 \rightarrow \beta\text{-SiO}_2$	3,04	3,11
750–815	Эндотермический	Переход одной формы двухкальциевого силиката в другую $\gamma\text{-C}_2\text{S} \rightarrow \alpha'\text{-C}_2\text{S}$	3,22	3,88
Общее изменение массы			15,18	17,57

Примечание: ДТА – дифференциальный термический анализ.

Таблица 2

Содержание гидроксида кальция в образцах

Период испытаний, сут	Содержание $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (в пересчете на CaO), %					
	4 °C			25 °C		
	первая зона	промежуточная зона	крайняя зона	первая зона	промежуточная зона	крайняя зона
Контрольный	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02
1	2,02	2,02	1,95	2,02	2,02	1,99
14	2,01	1,92	1,65	2,02	1,93	1,68
28	1,73	1,67	1,49	1,74	1,69	1,53
42	1,52	1,49	1,36	1,57	1,54	1,41
56	1,41	1,37	1,25	1,44	1,41	1,31
70	1,32	1,29	1,22	1,38	1,36	1,27

Результаты исследований методами дифференциально-термического анализа, инфракрасной Фурье-спектроскопии позволили построить профили концентраций гидроксида кальция по толщине образца на моменты времени отбора проб (рис. 1).

Общие очертания профилей концентраций близки к виду косинусоид, что согласуется с математическими моделями в системе «цементный бетон – жидкость» [9–11].

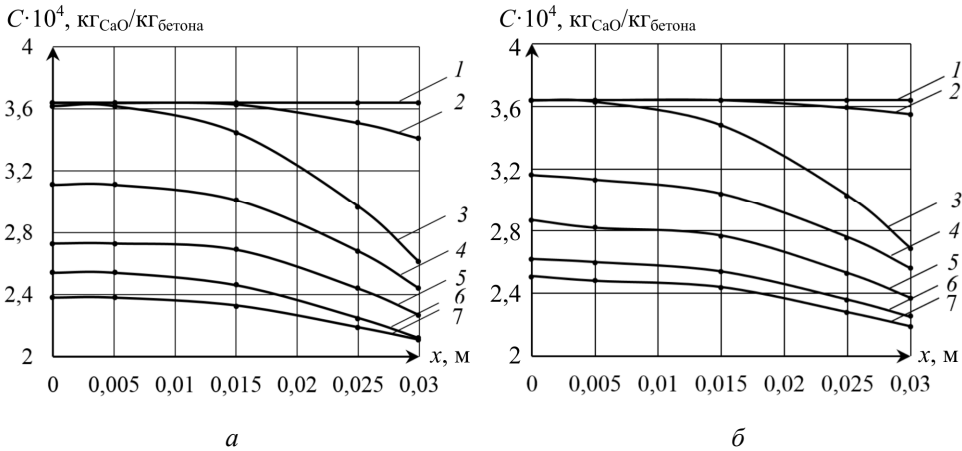


Рис. 1. Профили концентраций $\text{Ca}(\text{OH})_2$ по толщине образца при продолжительности испытаний τ : 1 – 0 сут; 2 – 1 сут; 3 – 14 сут; 4 – 28 сут; 5 – 42 сут; 6 – 56 сут; 7 – 70 сут; а – при 4 °С; б – 25 °С

С началом процесса выщелачивания происходит резкое уменьшение концентраций гидроксида кальция именно в поверхностном слое бетона, а затем с течением времени фронт потока массы продвигается в глубь и наблюдается снижение градиента.

Кинетика процесса изучалась методом объемного титрования. Данным методом проводился контроль содержания катионов кальция в воде, результаты которого представлены на рис. 2.

Проведенные экспериментальные исследования являются отправной точкой анализа динамики и кинетики реального процесса коррозии первого вида, содержащие необходимые данные для расчета коэффициентов массопереноса и установления зависимостей их от температуры.

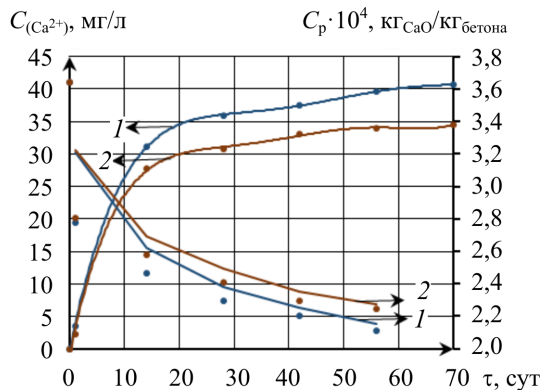


Рис. 2. Изменение концентраций катионов Ca^{2+} и равновесной концентрации C_p при температуре водной среды 1 – 4 °С; 2 – 25 °С

При расчете значений коэффициента массопроводности с учетом его зависимости и от температуры, и от концентрации переносимого компонента в твердой фазе необходим метод его расчета, учитывающий его изменение по толщине образца. Такой метод предложен в работе [12]. Определение коэффициента массопроводности основывается на выполненной аппроксимации профиля концентраций по уравнению параболы:

$$C(x, \tau_i) = a_{\tau_i} x^2 + b_{\tau_i} x + c_{\tau_i}, \quad (1)$$

где $C(x, \tau_i)$ – концентрация переносимого компонента по толщине образца в момент времени τ_i ; a_{τ_i} , b_{τ_i} и c_{τ_i} – коэффициенты уравнения параболы.

При аппроксимации распределения концентраций по уравнению (1), основываясь на основном уравнении массопроводности, получена формула для расчета коэффициента массопроводности по пространственно-временным координатам:

$$k(x_j, \tau_i) = \frac{C(x_j, \tau_i) - C(x_j, \tau_{i-1})}{2a_{\tau_i} \Delta \tau}, \quad (2)$$

где $k(x_j, \tau_i)$ – коэффициент массопроводности образца в точке x_j в момент времени τ_i .

В соответствии с (1) и (2) были проведены расчеты и построены графические зависимости изменения коэффициента массопроводности по толщине образца в разные моменты времени, т.е. по пространственно-временным координатам, на основании которых выполнен переход к температурно-концентрационной зависимости, представленной на рис. 3.

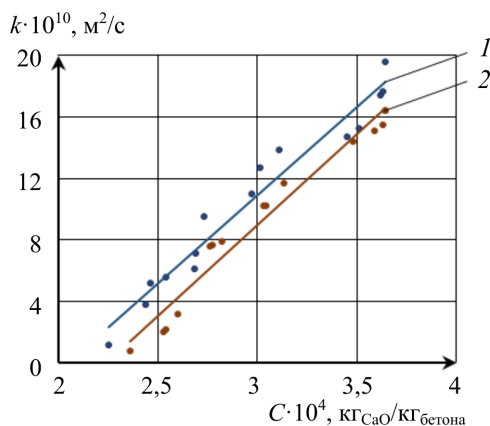


Рис. 3. Аппроксимация коэффициента массопроводности от концентрации гидроксида кальция при температуре водной среды 1 – 4 °С; 2 – 25 °С

Линии на рис. 3 – аппроксимация коэффициента массопроводности от концентрации гидроксида кальция уравнением прямой:

$$\frac{k(t, C)}{10^{10}} = 11,68 \cdot \frac{C}{10^4} - d \cdot t, \quad (3)$$

где d – коэффициент, равный 5,9 при 4 °С и 1,06 при 25 °С.

Рассчитать коэффициент массоотдачи β в зависимости от интенсивности потока массы i и изменения концентрации гидроксида кальция на границе раздела фаз С (δ, τ_i) можно по формуле [9]:

$$\beta = \frac{\Delta i}{\Delta C(\delta, \tau) \cdot \rho_{\text{бет}}}. \quad (4)$$

При этом плотность потока массы вещества i из бетона в жидкую среду определяется следующим образом:

$$i = \frac{\Delta C_{\text{ж}}}{S \cdot \Delta \tau}, \quad (5)$$

где $\Delta C_{\text{ж}}$ – изменение массы вещества, перешедшего из бетона в жидкую среду, кг.

Результаты расчетов после статической обработки данных и перевода из временной в концентрационно-температурную зависимость коэффициента массоотдачи представлены графически на рис. 4.

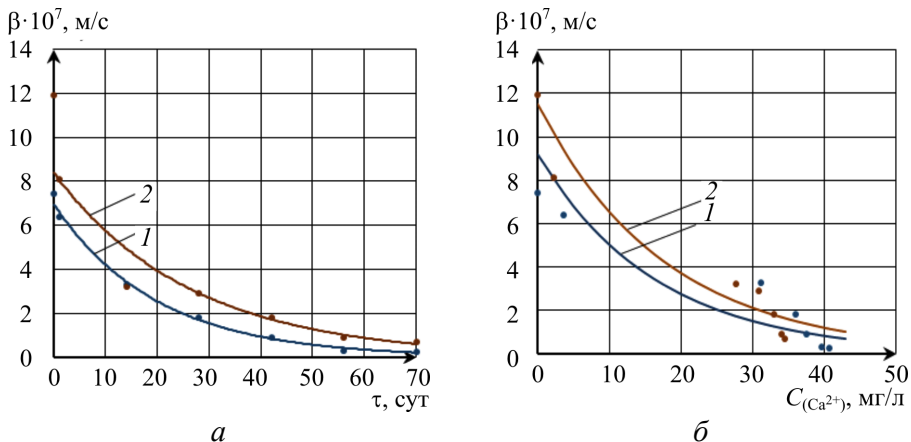


Рис. 4. Изменение коэффициента массоотдачи β : a – по времени процесса и b – от концентрации гидроксида кальция при температуре водной среды $1 - 4$ °С; $2 - 25$ °С

Линии на рис. 4. – аппроксимация коэффициента массоотдачи от концентрации катионов кальция уравнением экспоненты:

$$\frac{\beta(t, C)}{10^7} = h \cdot t \cdot \exp(-0,064C), \quad (6)$$

где h – коэффициент, равный 2,3 при 4 °С и 0,466 при 25 °С.

Анализ результатов проведенных комплексных физико-химических исследований твердой и жидкой фаз подтверждает принятые ранее модельные представления о характере массопереноса в рассматриваемой системе «цементный бетон – жидкость» в условиях массопереноса, лимитируемого внутренней диффузией и внешней массоотдачей, что позволяет рассчитать характеристики массопереноса свободного гидроксида кальция при жидкостной коррозии бетона первого вида.

Выводы. На базе длительного эксперимента, проводимого с использованием общепринятых физико-химических методов оценки свойств материалов, определены фактические значения концентраций «свободного гидроксида кальция» в порах бетона и растворенного гидроксида кальция в жидкости в различные моменты времени. Отмечено, что на начальных этапах коррозии первого вида выщелачивание гидроксида кальция при температуре +4 идет интенсивнее, чем при +25 °С, по мере развития процесса градиенты концентраций при разных температурах выравниваются.

Для рассматриваемой системы установлены численные значения коэффициентов массопроводности и массоотдачи цементного бетона. Определено, что коэффициент массопроводности на начальных этапах коррозии первого вида равен $19,4 \cdot 10^{-10}$ и $16,2 \cdot 10^{-10}$ м²/с при температурах +4 и +25 °С соответственно, а коэффициент массоотдачи равен $7,8 \cdot 10^{-7}$ и $12 \cdot 10^{-7}$ м/с при температурах +4 и +25 °С соответственно.

Установлены температурно-концентрационные эмпирические зависимости изменения коэффициентов массопроводности и массоотдачи на отрезке температур от +4 до +25 °С.

Полученные температурно-концентрационные уравнения для значений коэффициентов массопроводности и массоотдачи полностью согласуются с физическими представлениями о процессах, протекающих при коррозионном массопереносе, соответствуют данным литературных источников [13–15] и могут быть использованы в реальных математических моделях при прогнозировании динамики и кинетики массопереноса при жидкостной коррозии бетона [8; 10; 11].

Библиографический список

1. Милованов А.Ф. Железобетонные температуростойкие конструкции. – М.: Изд-во: НИИЖБ, 2005. – 234 с.
2. Травуш В.И., Емельянов С.Г., Колчунов В.И. Безопасность среды жизнедеятельности – смысл и задача строительной науки // Промышленное и гражданское строительство. – 2015. – № 7. – С. 20–27.
3. О концепции развития нормативно-технической базы строительных объектов в период их эксплуатации / В.И. Травуш, В.В. Гурьев, А.Н. Дмитриев, В.М. Дорофеев, Ю.С. Волков // *Academia*. Архитектура и строительство. – 2021. – № 1. – С. 121–133.
4. Рудобашта С.П. Массоперенос в системах с твердой фазой. – М.: Химия, 1980. – 248 с.
5. Овчинников Н.М. Обзор методов реконструкции причалов типа «Больверк» // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2021. – № 1 (41). – С. 98–107.
6. Исследование диффузионных процессов массопереноса при жидкостной коррозии первого вида цементных бетонов / С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, И.В. Красильников, Н.Л. Федосова // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2015. – Т. 58, № 1. – С. 99–104.
7. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Красильников И.В. Оценка влияния параметров массопереноса на кинетику и динамику процессов, протекающих при жидкостной коррозии первого вида цементных бетонов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2018. – № 1. – С. 14–22.
8. О моделировании процессов коррозии бетона / В.М. Латыпов, Т.В. Латыпова, Е.В. Луцык, Г.К. Дербинян // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения. – 2016. – № 1. – С. 28–31.
9. Monitoring of the penetration of chloride ions to the reinforcement surface through a concrete coating during liquid corrosion / S.V. Fedosov, V.E. Roumyantseva, I.V. Krasilnikov, V.S. Konovalova, A.S. Evsyakov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – Vladivostok, 2018. – Article number 042048. DOI: 10.1088/1757-899X/463/4/042048
10. Formulation of mathematical problem describing physical and chemical processes at concrete corrosion / S.V. Fedosov, V.E. Roumyantseva, I.V. Krasilnikov, B.E. Narmania // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2017. – Т. 13, № 2. – С. 45–49.
11. Математическое моделирование массопереноса в системе «цементный бетон – жидкая среда», лимитируемого внутренней диффузией переносимого компонента при жидкостной коррозии первого вида / С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, И.В. Красильников, И.А. Красильникова // Строительные материалы. – 2021. – № 7. – С. 4–9.
12. Теоретические и экспериментальные исследования процессов коррозии первого вида цементных бетонов при наличии внутреннего источника массы / С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, Н.С. Касьяненко, И.В. Красильников // Строительные материалы. – 2013. – № 6. – С. 44–47.
13. Шалый Е.Е., Леонович С.Н., Ким Л.В. Долговечность морских сооружений при комбинированной коррозии железобетона // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2018. – № 1. – С. 65–72.
14. Ферронская А.В. Долговечность конструкций из бетона и железобетона. – М.: АСВ, 2006. – 336 с.
15. Яковлев В.В., Головачева Т.С., Щуркова Т.А. Исследование процесса выщелачивания цементного камня // Строительные материалы и конструкции: тр. НИИпромстроя. – Уфа, 1985. – С. 17–29.

References

1. Milovanov A.F. ZHelezobetonnye temperaturostojkie konstrukcii [Reinforced concrete temperature-resistant structures]. M.: Izdatel'stvo: NIIZHB, 2005, 234 p.
2. Travush V.I., Emel'yanov S.G., Kolchunov V.I. Bezopasnost' sredy zhiznedeyatel'nosti – smysl i zadacha stroitel'noj nauki [Safety of the living environment – the meaning and task of construction science]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2015, № 7, pp. 20-27.

3. Travush V.I., Gur'ev V.V., Dmitriev A.N., Dorofeev V.M., Volkov Yu.S. O koncepcii razvitiya normativno-tekhnicheskoy bazy stroitel'nyh ob'ektov v period ih ekspluatatsii [About the concept of development of the regulatory and technical base of construction objects in the process of their operation]. *Academia. Arhitektura i stroitel'stvo*, 2021, № 1, pp. 121-133.
4. Rudobashta S.P. Massoperenos v sistemah s tverdoj fazoj [Mass transfer in solid phase systems]. M.: Himiya, 1980, 248 p.
5. Ovchinnikov N.M. Obzor metodov rekonstrukcii prichalov tipa "Bol'verk" [Review of methods of reconstruction of berths of the "Bol'verk" type]. *Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Urbanistics*, 2021, № 1 (41), pp. 98-107.
6. Fedosov S.V., Romyanceva V.E., Krasil'nikov I.V., Fedosova N.L. Issledovanie diffuzionnyh processov massoperenosa pri zhidkostnoj korrozii pervogo vida cementnyh betonov [Investigation of diffusion processes of mass transfer in liquid corrosion of the first type of cement concretes]. *ChemChemTech*. 2015, t. 58, № 1, pp. 99-104.
7. Fedosov S.V., Romyanceva V.E., Krasil'nikov I.V. Ocenka vliyaniya parametrov massoperenosa na kinetiku i dinamiku processov, protekayushchih pri zhidkostnoj korrozii pervogo vida cementnyh betonov [Evaluation of the influence of mass transfer parameters on the kinetics and dynamics of processes occurring during liquid corrosion of the first type of cement concretes]. *Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Materials. Constructions. Technologies*, 2018, № 1, pp. 14-22.
8. Latypov V.M., Latypova T.V., Lucyk E.V., Derbinyan G.K. O modelirovanii processov korrozii betona. *Bezopasnost' stroitel'nogo fonda Rossii. Problemy i resheniya*, 2016, № 1, pp. 28-31.
9. Fedosov S.V., Roumyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Konovalova V.S., Evsyakov A.S. Monitoring of the penetration of chloride ions to the reinforcement surface through a concrete coating during liquid corrosion. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vladivostok, 2018, pp. 042048. DOI: 10.1088/1757-899X/463/4/042048
10. Fedosov S.V., Roumyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Narmania B.E. Formulation of mathematical problem describing physical and chemical processes at concrete corrosion. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 2017, t. 13, № 2, pp. 45-49.
11. Fedosov S.V., Romyanceva V.E., Krasil'nikov I.V., Krasil'nikova I.A. Matematicheskoe modelirovanie massoperenosa v sisteme «cementnyj beton - zhidkaya sreda», limitiruemogo vnutrennej diffuziej perenosimogo komponenta pri zhidkostnoj korrozii pervogo vida [Mathematical modeling of mass transfer in the "cement concrete – liquid medium" system, limited by internal diffusion of the transferred component during liquid corrosion of the first type]. *Building materials*, 2021, № 7, pp. 4-9.
12. Fedosov S.V., Romyanceva V.E., Kas'yanenko N.S., Krasil'nikov I.V. Teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya processov korrozii pervogo vida cementnyh betonov pri nalichii vnutrennego istochnika massy. *Building materials*, 2013, № 6, pp. 44-47.
13. SHalyj E.E., Leonovich S.N., Kim L.V. Dolgovechnost' morskih sooruzhenij pri kombinirovannoj korrozii zhelezobetona. *Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Materials. Constructions. Technologies*, 2018, № 1, pp. 65-72.
14. Ferronskaya A.V. Dolgovechnost' konstrukcij iz betona i zhelezobetona [Durability of concrete and reinforced concrete structures]. M.: ASV, 2006, 336 s.
15. Yakovlev B.B., Golovacheva T.S., Shchurkova T.A. Issledovanie processa vyshchelachivaniya cementnogo kamnya [Investigation of the cement stone leaching process]. *Building materials and structures: Proceedings of NIIPromstroy*. Ufa, 1985, pp. 17-29.

I. Krasilnikov**DETERMINATION OF THE PARAMETERS OF THE NON-ISOTHERMAL MASS TRANSFER PROCESS DURING LIQUID CORROSION OF CONCRETE**

This publication demonstrates the results of experimental studies of mass transfer processes in the "liquid medium – cement concrete" system. The peculiarity of the tests carried out was to take into account the influence of temperature on the intensity of mass transfer during liquid corrosion of concrete. The method of preparation of cement stone samples, conducting corrosion resistance tests with subsequent studies of changes in the physical-chemical composition is described. Profiles of calcium hydroxide concentrations by sample thickness at sampling times were obtained. Kinetic curves of changes in concentrations of calcium hydroxide in the liquid phase are presented. The coefficients of mass conductivity and mass transfer are calculated according to space-time coordinates, on the basis of which the transition to temperature-concentration dependences is performed. The obtained temperature-concentration dependences can be used to calculate the dynamics and kinetics of mass-exchange processes occurring in the capillary-porous structure of concrete during the operation of reinforced concrete structures in non-isothermal conditions under constant or variable exposure to water.

Keywords: mass transfer, leaching, temperature, cement concrete, mass conductivity coefficient, mass transfer coefficient.

Красильников Игорь Викторович (Иваново, Россия) – кандидат технических наук, доцент, руководитель центра научно-исследовательских работ и технической экспертизы, Ивановский государственный политехнический университет (153000, г. Иваново, Шереметевский пр-т, 21), старший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (127238, г. Москва, Лocomотивный проезд, 21, e-mail: korasb@mail.ru).

Igor Krasilnikov (Ivanovo, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Head of the Center for Research and Technical Expertise, Ivanovo State Polytechnic University (153000, Ivanovo, Sheremeteyvo Ave., 21), Senior researcher, Scientific Research Institute of Construction Physics RAASN (127238, Moscow, Locomotive passage, 21).

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 01.02.2022

Одобрена: 18.02.2022

Принята к публикации: 04.03.2022

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Красильников, И.В. Определение параметров процесса неизоотермического массопереноса при жидкостной коррозии бетонов / И.В. Красильников // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2022. – № 1. – С. 99–109. DOI: 10.15593/2409-5125/2022.1.09

Please cite this article in English as: Krasilnikov I. Determination of the parameters of the non-isothermal mass transfer process during liquid corrosion of concrete. *PNRPU Bulletin. Applied ecology. Urban development*, 2022, no. 1, pp. 99-109. DOI: 10.15593/2409-5125/2022.1.09