

ISSN 1561-8331 (Print)  
ISSN 2524-2342 (Online)  
УДК 693.542.4  
<https://doi.org/10.29235/1561-8331-2021-57-1-94-100>

Поступила в редакцию 18.09.2020  
Received 18.09.2020

**Н. Х. Белоус, С. П. Родцевич, О. Н. Опанасенко, Н. П. Крутько**

*Институт общей и неорганической химии Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь*

## **ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И СВОЙСТВА ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ**

**Аннотация.** Исследовано влияние поликарбоксилатного и нафталинсульфонового суперпластификаторов, парафинового гидрофобизатора и комплексных гидрофобно-пластифицирующих добавок на структурные характеристики, физико-механические, гидрофизические свойства, коррозионную стойкость и морозостойкость портландцементных мелкозернистых бетонов. Проведено сопоставление структурных параметров бетонов (средней, истинной плотности, коэффициента плотности, общей, открытой, закрытой пористости) с прочностью при сжатии, водопоглощением, коэффициентами размягчения и солестойкости материалов. Показано, что введение суперпластификаторов способствует повышению плотности, коэффициентов размягчения и солестойкости, снижению водопоглощения портландцементных структур, а использование парафинового гидрофобизатора и комплексных гидрофобно-пластифицирующих добавок – увеличению закрытой пористости в результате образования на поверхности твердых фаз мозаичных гидрофобных пленок, оказывающих положительное влияние на гидрофизические и физико-механические свойства бетонов.

**Ключевые слова:** портландцементные мелкозернистые бетоны, поликарбоксилатный и нафталинсульфоновый суперпластификатор, структурные характеристики, открытая, закрытая пористость, коэффициент плотности, водопоглощение, коэффициент размягчения, коэффициент солестойкости, кажущаяся плотность, истинная плотность

**Для цитирования.** Влияние модифицирующих добавок на структурные характеристики и свойства портландцементных бетонов / Н. Х. Белоус [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2021. – Т. 57, № 1. – С. 94–100. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2021-57-1-94-100>

**N. H. Belous, S. P. Rodtsevich, O. N. Opanasenko, N. P. Krutko**

*Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

## **INFLUENCE OF MODIFYING ADDITIVES ON THE STRUCTURAL CHARACTERISTICS AND PROPERTIES OF PORTLAND CEMENT CONCRETES**

**Abstract.** The influence of polycarboxylate and naphthalene-sulfone superplasticizers, paraffin hydrophobizator and complex hydrophobic-plasticizing additives on the structural characteristics, physical-mechanical, hydrophysical properties, corrosion resistance and frost resistance of fine-grained Portland cement concretes was studied. Structural parameters of concretes (average and true density; density coefficient; total, open, closed porosity) were compared with compressive strength, water absorption, softening coefficients and salt resistance of materials. It is shown that the introduction of superplasticizers increases the density, softening coefficients and salt resistance, reduces the water absorption of Portland cement structures, and the use of paraffin hydrophobization and complex hydrophobic-plasticizing additives increases the closed porosity as a result of the formation of mosaic hydrophobic films on the surface of solid phases, which have a positive effect on the hydrophysical and physical-mechanical properties of concretes.

**Keywords:** Portland cement fine-grained concretes, polycarboxylate and naphthalene sulfone superplasticizer, structural characteristics, open and closed porosity, density coefficient, water absorption, softening coefficient, salt resistance coefficient, apparent density, true density

**For citation.** Belous N. H., Rodtsevich S. P., Opanasenko O. N., Krutko N. P. Influence of modifying additives on the structural characteristics and properties of portland cement concretes. *Vesti Natsyonal'nai akademii navuk Belarusi. Seriya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical Series*, 2021, vol. 57, no. 1, pp. 94–100 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2021-57-1-94-100>

**Введение.** Мелкозернистые портландцементные бетоны (ПЦБ) – капиллярно-пористые материалы, в которых отсутствует традиционный крупный заполнитель – щебень, они характеризуются определенными структурными особенностями. Их достоинством при простоте изготовления и низкой стоимости является образование однородных, тонкодисперсных систем с высокими показателями текучести и пластичности, которые можно транспортировать на большие расстояния и использовать в различных областях строительства: для изготовления дорожных покрытий, труб, гидротехнических конструкций, тротуарной плитки, бортовых камней, кладочных составов повышенной водостойкости [1]. Такие ПЦБ можно применять также в качестве

моделей для установления взаимодействия структурных характеристик порового пространства с их свойствами, а изучение данного вопроса имеет большое научное и практическое значение при прогнозировании свойств мелкозернистых бетонов. Однако присутствие в ПЦБ лишь тонкодисперсного наполнителя сопровождается нехваткой обволакивающего песок цементного теста и неполным заполнением пустот бетонов, что приводит к необходимости увеличения содержания воды и цемента на  $\sim 20\%$ . Результат – повышенная пористость, недостаточные прочностные, гидрофизические свойства и коррозионная стойкость бетонов.

В связи с этим в мелкозернистые ПЦБ вводят химические добавки: гидрофобизаторы, суперпластификаторы (СП), полифункциональные модификаторы, механизм действия которых на образование в объеме материала пор, их распределение, величину, вид, размер различен [1]. При этом очевидной является безусловная корреляция между рядом показателей структуры и свойствами бетонов, такими как открытая пористость–водопроницаемость, открытая пористость–водопоглощение, закрытая пористость–долговечность. Взаимосвязь между пределом прочности на сжатие и параметрами структуры порового пространства также описывается многочисленными линейными и параболическими функциями [1]. Благодаря введению химических модификаторов, оптимизации составов и водоцементного соотношения могут быть получены ПЦБ с минимизированным содержанием капиллярных и контракционных пор и плотной структурой новообразований, характеризующиеся высокой водонепроницаемостью, морозостойкостью и прочностными показателями. Цель данной работы – исследование влияния некоторых видов добавок – нафталин-сульфонового, поликарбоксилатного СП, парафинового гидрофобизатора и комплексных гидрофобно-пластифицирующих модификаторов на структурные параметры и технологические свойства мелкозернистых портландцементных бетонов.

**Методика эксперимента.** При выполнении исследований использовались: портландцемент (ПЦ) М 500 Д20 (произведен ОАО БЦЗ, г. Костюковичи, Могилевская обл.) начало схватывания – 155 мин, конец – 240 мин, НГТЦ (нормальная плотность цементного теста) – 27,3 %, плотность зерен – 3200–3250 кг/м<sup>3</sup>, удельная поверхность – 300–330 м<sup>2</sup>/кг; песок (П) 1-го класса (карьер «Крапужино», Логойский р-н, Минская обл.), модуль крупности – 2,2, средняя плотность – 2650 кг/м<sup>3</sup>, плотность в виброуплотненном состоянии – 1746 кг/м<sup>3</sup>, удельная поверхность – 8,9 м<sup>2</sup>/кг, водопоглощение – 0,66 %. Перед применением песок высушивали до постоянной массы и просеивали, используя фракции с поперечным размером 0,16–3,00 мм. Массовое соотношение цемента к песку – 1:1,5, водоцементное отношение варьировали от 0,35 до 0,42; порошкообразный СП С3 на основе сульфированных нафталинформальдегидных соединений (НССП) получен по ТУ ВУ 190669631.009-2011 (ООО Фрэймхаустрэйд, Минск), введен в воду в количестве 1 % от массы ПЦ; жидкообразный СП Frem Giper-S (ПКСП), 38 %-ный раствор поликарбоксилатов, а также органических и неорганических солей натрия получен по ТУ ВУ 190669631.003–2011 (ООО Фрэймхаустрэйд, Минск), введен в воду в количестве 0,5 % (сух.) от ПЦ; гидрофобизатор – 55 %-ная парафиновая эмульсия (ПЭ) первого рода «БелВакс» (ОАО «Завод горного воска», г. п. Свислочь, Минская обл.) характеризуется рН 9, динамической вязкостью – 310 мПа·с, средним размером частиц – 0,5 мкм, введен в воду в количестве 0,7–1,0 % (сух.) от ПЦ.

Нами оценены структурные характеристики и свойства цементно-песчаных смесей (ЦПС) и бетонов следующих составов, мас. ч.:

№ 1 – ПЦ – 100, П – 150, Н<sub>2</sub>О – 42, контрольный состав;

№ 2 – ПЦ – 100, П – 150, ПЭ – 1, Н<sub>2</sub>О – 39;

№ 3 – ПЦ – 100, П – 150, ПКСП – 0,5, Н<sub>2</sub>О – 36;

№ 4 – ПЦ – 100, П – 150, ПКСП – 0,5, ПЭ – 0,7, Н<sub>2</sub>О – 35;

№ 5 – ПЦ – 100, П – 150, НССП – 1, Н<sub>2</sub>О – 37;

№ 6 – ПЦ – 100, П – 150, НССП – 1, ПЭ – 0,7, Н<sub>2</sub>О – 35.

Сразу после затворения ЦПС по технологии литых бетонов определяли их подвижность (П, см) (погрешность  $\pm 2,5\%$ ) по [2], сопоставляя расчетную и фактическую объемную массу ЦПС с учетом удельной массы составляющих, вычисляли степень воздухововлечения по [3]. Для определения структурных характеристик и свойств ПЦБ получали образцы кубов 4×4×4 см, которые отверждали при нормальных температурно-влажностных условиях (НТВУ) ( $T = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ , относительная влажность воздуха – 80–90 %), в процессе твердения изучали кинетику набора проч-

ности при сжатии через 3, 7, 14 и 28 сут [5]. Плотность бетонов определяли по методике [4]. Исследования гидрофизических и коррозионных свойств проводили путем оценки водопоглощения по массе [6], водо- и солестойкости бетонов [7].

Водопоглощение по массе ( $B_M$ , %), характеризующее наличие и объем открытой пористости и водопроницаемость бетонов [8], вычисляли как среднеарифметическое трех результатов и рассчитывали по формуле:  $B_M = G_1 - G/G$ , где  $G$  – масса высушенных при температуре  $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$  образцов, г;  $G_1$  – масса образцов после насыщения водой до постоянной массы, г (погрешность определения –  $\pm 2,5\%$ ).

Водостойкость ПЦБ оценивали по коэффициенту размягчения ( $K_p$ ) [7], определение проводили на 3 образцах и рассчитывали по формуле:  $K_p = \sigma_B / \sigma$ , где  $\sigma_B$  – прочность при сжатии водонасыщенного образца, МПа;  $\sigma$  – прочность при сжатии высушенного до постоянной массы образца, МПа.

Солестойкость ПЦБ оценивали по коэффициенту солестойкости ( $K_c$ ), который определен по соотношению прочности при сжатии образцов, выдержанных в 10 %-ном растворе сульфата натрия, к прочности водонасыщенных бетонов:  $K_c = \sigma_c / \sigma_B$ , где  $\sigma_c$  – прочность при сжатии соленасыщенного образца, МПа;  $\sigma_B$  – прочность при сжатии водонасыщенного образца, МПа [11]; погрешность определения коэффициентов размягчения и солестойкости составляла  $\pm 3,5\%$ .

В соответствии с методами, описанными в [8], изучены кажущаяся, истинная, общая, открытая, закрытая пористости и коэффициент плотности ПЦБ. Кажущаяся (средняя) плотность массы единицы объема материала с порами для образцов правильной формы определена по геометрическим размерам [9], неправильной формы – по объему вытесненной жидкости в водонасыщенном состоянии. Истинная плотность – пикнометрически по методике [10], в качестве жидкости насыщения использовали этиловый спирт (95 %). По методу, описанному в [9], определяли общую пористость бетонов, а по формуле  $\Pi_{\text{общ}} = [1 - (\rho_k / \rho_n)] \cdot 100\%$ , где  $\Pi_{\text{общ}}$  – общая пористость материала, %;  $\rho_n$  – истинная и  $\rho_k$  – кажущаяся плотность материала,  $\text{г/см}^3$ , вычисляли суммарное содержание открытых и закрытых пор. Расчет открытой пористости (%) проводили по формуле:  $\Pi_{\text{откр}} = (M_3 - M_1) 100 / (M_3 - M_2)$ , где  $M_1$  – масса сухого образца, г;  $M_3$  – масса насыщенного спиртом образца, г;  $M_2$  – масса образца при полном погружении в спирт;  $\rho_{\text{э.с}}$  – плотность этилового спирта при  $20^\circ\text{C}$  ( $0,81 \text{ г/см}^3$ ). Закрытую пористость (%) рассчитывали по формуле:  $\Pi_3 = \Pi_{\text{общ}} - \Pi_{\text{откр}}$  [9]. Коэффициент плотности (%), характеризующий степень заполнения объема материала твердым веществом, вычисляли по формуле:  $K_{\text{пл}} = \rho_k / \rho_n \cdot 100$  [1].

**Результаты исследований и их обсуждение.** Как известно, общая пористость ПЦБ зависит от количества воды затворения, вида, расхода цемента, времени перемешивания смесей и других факторов. Структурные характеристики ПЦБ, их физико-механические и гидрофизические свойства представлены в таблице.

**Структурные характеристики и свойства портландцементных мелкозернистых бетонов**  
**Structural characteristics and properties of the fine-grained Portland cement concretes**

Структурные характеристики и функциональные свойства	Номера составов образцов					
	1	2	3	4	5	6
Жидко-твердое соотношение	0,42	0,39	0,36	0,35	0,37	0,35
Средняя плотность, $\text{г/см}^3$	2,06	2,02	2,15	2,08	2,16	2,12
Истинная плотность, $\text{г/см}^3$	2,97	2,95	2,99	2,9	3,0	2,97
Общая пористость, %	30,6	31,5	28,1	28,3	28,0	28,6
Открытая пористость, %	17,5	14,0	16,5	13,0	15,0	13,0
Закрытая пористость, %	13,1	17,5	11,6	15,3	13,0	15,6
Коэффициент плотности, %	69,4	68,5	71,9	71,7	72,0	71,4
Подвижность, см	$\Pi_1$	$\Pi_2$	$\Pi_3$	$\Pi_4$	$\Pi_5$	$\Pi_6$
Воздухововлечение, %	6,0	6,3	5,7	5,6	5,8	5,5
Прочность при сжатии, 28 сут, твердение в НТВУ, МПа	29	24	32	34	32	38
Водопоглощение, $B_M$ , 28 сут, %	4,2	2	2,8	1,9	2,5	1,8
Коэффициент размягчения, $K_p$	0,9	0,95	1,1	1,1	1,0	1,1
Коэффициент солестойкости, $K_c$	0,7	1,1	1,2	1,25	1,2	1,2

Как видно из таблицы, для контрольного, бездобавочного образца ПЦБ (№ 1) характерны подвижность  $P_1$ , воздухововлечение – 6 %, общая пористость – 30,6 %, открытая и закрытая пористости – 17,5 и 13,1 % соответственно, коэффициент плотности – 69,4. При введении 1 % ПЭ (№ 2) наблюдается слабая пластификация ЦПС ( $P_2$ ) с воздухововлекающим эффектом ( $B$  – 6,3 %), позволяющая снизить в/ц смесей на 7 % до 0,39. Однако при этом основной функцией добавки является гидрофобизация ПЦБ [12], обусловленная адсорбцией парафина в виде мозаичных, сетчатых пленок на поверхности твердой фазы и проявлением его смазывающего действия [13]. В связи с тем что общая, интегральная пористость бетонов увеличивается за счет роста воздухововлечения, наблюдается некоторое снижение прочностных показателей ПЦБ до ~24 МПа. В данном случае при коэффициенте плотности ПЦБ 68,5, а также снижении открытой пористости до 14 % наблюдается рост закрытой пористости бетонов на 33,6 % по сравнению с контролем, что оказывает положительное влияние на гидрофизические свойства: через 28 сут хранения в воде уменьшается более чем в 2 раза водопоглощение бетонов, увеличиваются их коэффициенты размягчения и солестойкости (№ 2). Такие поры, благодаря блокированию капилляров и образованию резервной пористости, способствуют повышению морозостойкости, водонепроницаемости и трещиностойкости бетонов, поскольку являются демпферами образующихся в них микротрещин [1]. Морозостойкость модифицированных ПЭ образцов составляет ~300 циклов попеременного замораживания – оттаивания (ГОСТ 100060-87, второй базовый метод) и после этого прочность при сжатии образцов превышает таковую для контрольного состава в 1,5 раза.

Среди широко распространенных пластифицирующих основ портландцементных бетонов предпочтительней использование нафталинсульфоновых (НССП) (№ 5, 6) и поликарбоксилатных (ПКСП) суперпластификаторов (№ 3, 4), образующих однородную мелкокристаллическую структуру и обеспечивающих полное протекание процессов гидратации при минимальном замедляющем действии на прочность бетонов (рис. 1). Поскольку одним из наиболее важных факторов, влияющих на  $\sigma_{сж}$  бетона, является водоцементное отношение, а снижение содержания воды при введении СП приводит к уплотнению капиллярно-пористой структуры и росту прочности пропорционально их содержанию, при введении ПКСП или НССП происходит улучшение ряда характеристик: удобоукладываемость ( $P_3$ ), плотность, прочность бетонов. Если при применении ПЭ эффект обусловлен формированием мозаичных сеток на поверхности гидратных образований, то при введении ПКСП (№ 3) и НССП (№ 5) – снижением воздухововлечения (до  $B$  – 5,7–5,8 %) и водоцементного отношения ЦПС на 12–14 % (до 0,36–0,37), что сопровождается повышением средней плотности, коэффициента плотности и снижением общей пористости пластифицированных систем. Такие особенности СП связаны либо со способностью адсорбироваться на поверхности твердой фазы и образовывать пространственные коагуляционные структуры в объеме бетонов (эффект электростатического отталкивания для НССП), либо со стерическими препятствиями разветвленных структур поликарбоксильных цепей с боковыми полиэфирными ответвлениями (эффект стерического отталкивания для ПКСП).

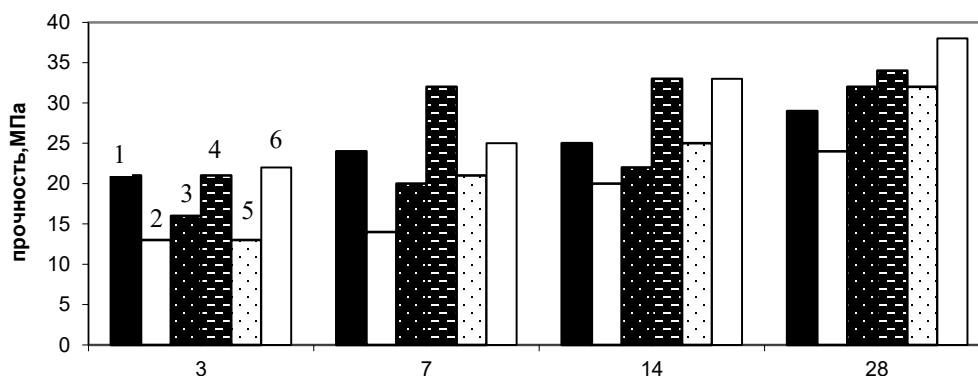


Рис. 1. Кинетика набора прочности при сжатии бетонов при твердении в НТВУ в течение 3, 7, 14 и 28 сут

Fig. 1. Kinetics of compression resistance gain of concrete during hardening at standard temperature and humidity conditions (STHU) for 3, 7, 14 and 28 days

Присутствие НССП в ПЦБ в количестве 1 % (№ 5) и его адсорбция на поверхности твердых фаз сглаживает микрошероховатости частиц и снижает коэффициент трения между ними, что дает возможность получать мелкозернистые структуры с коэффициентом плотности – 72,0 и прочностью при сжатии – 32 МПа. Введение до 0,5 % ПКСП (№ 3) обеспечивает аналогичный эффект: коэффициент плотности увеличивается до 71,9, а прочность бетонов до  $\sigma_{сж}$  – 32 МПа.

Решающим фактором улучшения многих свойств ПЦБ, согласно [1], является комплексное использование в них СП и гидрофобизаторов. Несмотря на то что введение ПЭ в № 2 не оказывает существенного влияния на среднюю плотность, коэффициент плотности и общую пористость ПЦБ, изменения при использовании комплексных добавок ПКСП+ ПЭ и НССП+ ПЭ (№ 4 и 6), касающиеся дополнительного уплотнения, увеличения закрытой пористости и кольматации пор пленками ПЭ, приводят к росту коэффициента плотности до 71,4–71,7, а прочности при сжатии – до 34–38 МПа.

Мелкозернистым бетонам свойственно высокое водопоглощение, на величину которого оказывают влияние размер открытых пор и плотность ПЦБ. При исследовании кинетики изменения водопоглощения ( $B_M$ ) бездобавочных бетонов (рис. 2, № 1) установлено, что наиболее высокие темпы ее роста наблюдались до 14 сут хранения в воде, затем за счет капиллярного подсоса фиксировалось ее некоторое снижение. В добавочном составе с гидрофобизатором ПЭ (№ 2) замечен небольшой рост  $B_M$  до 3 сут экспонирования, после чего кинетические кривые водопоглощения выходят на плато. При этом использование 1 % ПЭ снижает интегральную величину  $B_M$  в 2,1 раза (рис. 2, № 2) по сравнению с контрольным составом. В модифицированных ПЭ бетонах фиксируется эффект гидрофобизации и снижения циркуляции влаги в результате формирования мелкодисперсных портландцементных структур с преимущественно закрытыми порами. В пластифицированных составах (рис. 2, № 3 и 5) наблюдалось равномерное изменение величины водопоглощения в течение 28 сут, интегральные ее значения снижались по сравнению с контролем в 1,5–1,7 раза. При использовании комплексных добавок ПКСП+ПЭ и НССП+ПЭ наиболее существенный рост  $B_M$  наблюдался в течение 7 сут, после чего кривые водопоглощения также выходили на плато. Сочетание данных компонентов обеспечивало синергетический эффект не только в значениях плотности и прочностных свойствах ПЦБ, но и в их водопоглощении (снижение  $B_M$  в 2,2–2,3 раза).

При хранении в воде может наблюдаться некоторое снижение прочности ПЦБ, вызванное расклинивающим давлением пленочной воды, раскрытием дефектов и уменьшением межмолекулярных сил сцепления в контактах частиц за счет эффекта Ребиндера [1]. В некоторых видах материалов, например, содержащих вяжущие воздушного твердения [8], прочность увлажненных образцов снижается в результате частичного растворения элементов структуры, в данном случае – продуктов твердения. В таблице приведены значения коэффициентов размягчения ( $K_p$ ) ПЦБ. В отличие от контрольных составов, при экспонировании в воде добавочных видов ПЦБ наблюдалось продолжение гидратационного твердения, которое приводило к росту  $K_p$ , в большинстве составов они превышали 1 (для контроля  $K_p$  – 0,9).

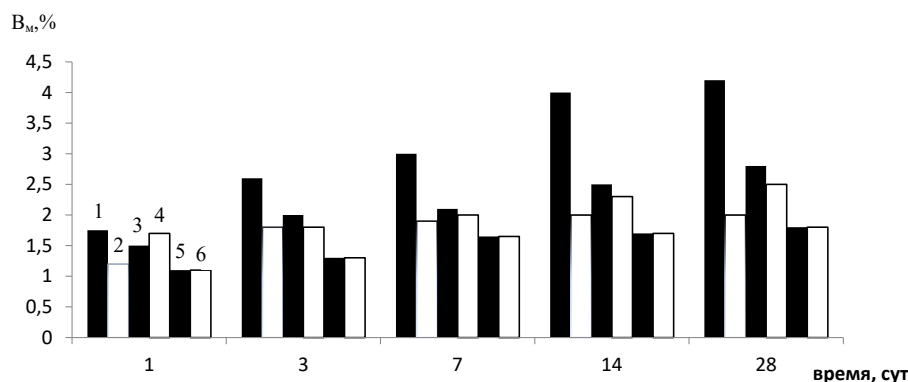


Рис. 2. Кинетика водопоглощения ПЦБ в течение 1, 3, 7, 14 и 28 сут

Fig. 2. Kinetics of PCB water absorption for 1, 3, 7, 14 and 28 days



Солевая коррозия, как следует из [14], обусловлена как образованием и накоплением в ПЦБ малорастворимых продуктов твердения, которые вызывают внутренние напряжения и деструктивные явления в порах, так и кристаллизацией солей, поступающих извне. Для № 1 после испытаний в 10 %-ном растворе сульфата натрия фиксировалось снижение прочности при сжатии, коэффициент солестойкости ( $K_c$ ) не превышал 0,7. Повышенная плотность модифицированных бетонов, их большая закрытая пористость, а также создание благоприятной структуры камня с гидрофобизированной внутренней поверхностью пор и капилляров обеспечивают устойчивость к солевому разрушению и соответственно более высокую долговечность ПЦБ. При экспонировании в растворах солей в модифицированных бетонах происходит также продолжение гидратационного процесса и наблюдается положительный эффект от заполнения крупных капиллярных пор кристаллами соли, что проявляется в их упрочнении больше, чем при насыщении водой ( $K_c - 1,1-1,25$ ). Наибольшая солестойкость наблюдалась в бетонах, содержащих комплексные добавки на основе СП и парафиновой эмульсии.

По методике Королева [15] был проведен расчет эффективного радиуса макрокапиллярных сквозных пор, показателя сопротивления проникновению воды, марки по водонепроницаемости бетонов. В результате было установлено, что при марке водонепроницаемости контрольных бетонов – W6, бетоны, содержащие парафиновые эмульсии и суперпластификаторы характеризовались маркой W12, а комплексные гидрофобно-пластифицирующие добавки – W16.

**Заключение.** Таким образом, в результате проведенных исследований установлена взаимосвязь пористой структуры мелкозернистых портландцементных бетонов с их физико-механическими и гидрофизическими свойствами. Показано положительное влияние добавок поликарбоксилатного и нафталинсульфонового суперпластификаторов, парафиновой эмульсии, а также комплексных гидрофобно-пластифицирующих добавок, уплотняющих структуру бетонов и гидрофобизирующих ее путем образования мозаичных парафиновых пленок, на их прочность при сжатии, водопоглощение, коэффициенты размягчения и солестойкости.

#### Список использованных источников

1. Батраков, В. Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика / В. Г. Батраков. – М.: Стройиздат, 1998. – 748 с.
2. Смеси бетонные. Методы испытаний: СТБ 1545-2005. – Введ. 18.05.2005. – Минск: Минстройархитектуры, 2005. – 21 с.
3. Блэнкс, Р. Технология цемента и бетона / Р. Блэнкс, Г. Кеннеди. – М.: Стройиздат, 1982. – С. 200–201.
4. Бетоны. Методы определения плотности: ГОСТ 12730.1-78. – Введ. 01.01.1980. – М: Госстандарт Союза ССР: Изд-во стандартов, 1980. – 8 с.
5. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам: ГОСТ 10180-2012. – Введ. 27.12.2012. – М: Стандартинформ, 2013. – 36 с.
6. Бетоны. Методы определения водопоглощения: ГОСТ 12730.3-78. – Введ. 01.01.1980. – М: Госстандарт Союза ССР: Изд-во стандартов, 1980. – 7 с.
7. Корчагина, О. А. Определение гидрофизических свойств бетона / О. А. Корчагина, А. А. Мамонтов, С. А. Мамонтов. – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2013. – 20 с.
8. Влияние структурообразующих добавок на водо- и солестойкость магнезиальных вяжущих / Н. Х. Белоус [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2018. – Т. 54, № 1. – С. 118–125. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2018-54-1-118-125>
9. Огнеупоры. Метод определения кажущейся плотности, открытой и общей пористости, водопоглощения: ГОСТ 2409-95. – Введ. 01.01.1997. – М: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1997. – 11 с.
10. Огнеупоры и огнеупорное сырье. Методы определения плотности: ГОСТ 2211-65. – Введ. 07.01.1966. – М: Госстандарт Союза ССР: Изд-во стандартов, 1966. – 11 с.
11. Батыновский, Э. И. Морозо- и солестойкость бетона, подверженного механическим нагрузкам / Э. И. Батыновский, А. И. Бондарович // Вестн. БНТУ. – 2008. – № 4. – С. 5–16.
12. Влияние комплексных парафинсодержащих добавок на свойства портландцементных мелкозернистых бетонов / Н. Х. Белоус [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2014. – № 4. – С. 93–98.
13. Хигерович, М. И. Гидрофобно-пластифицирующие добавки для цементов, растворов и бетонов / М. И. Хигерович, В. Е. Байер. – М.: Стройиздат, 1979. – 65 с.
14. Ахвердов, И. Н. Механизм разрушения пористых материалов при насыщении их солями / И. Н. Ахвердов, И. В. Станишевская // Докл. Акад. наук БССР. – 1967. – Т. 11, № 4. – С. 320–323.
15. Королев, А. С. О новом расчетно-экспериментальном методе ускоренного определения водонепроницаемости цементных материалов по высоте капиллярного поднятия воды в их толщу / А. С. Королев // Технологии бетонов. – 2008. – № 12. – С. 48–50.

## References

1. Batrakov V. G. *Modified concretes. Theory and practice*. Moscow, Stroyizdat Publ, 1998. 748 p. (in Russian).
2. Technical standard of Belarus 1545–2005. *Concrete mixes. Test method*. Minsk, Ministry of Architecture, 2005. 21 p. (in Russian).
3. Blanks R., Kennedy G. *Technology of cement and concrete*. Moscow, Stroyizdat Publ, 1982, pp. 200–201 (in Russian).
4. State Standard 12730.1-78. *Concretes. Methods for determining density*. Moscow, Gosstandart of the USSR, 1980. 8 p. (in Russian).
5. State Standard 10180-2012. *Concretes. Methods for determining the strength of control samples*. Moscow, Standartinform Publ., 2013. 36 p. (in Russian).
6. State Standard 12730.3-78. *Concretes. Methods for determination of water absorption*. Moscow, Gosstandart of the USSR, 1980. 7 p. (in Russian).
7. Korchagina O. A., Mamontov A. A., Mamontov S. A. *Determination of hydrophysical properties of concrete*. Tambov, TSTU, 2013. 20 p. (in Russian).
8. Belous N. H., Rodtsevich S. P., Opanasenko O. N., Krutko N. P., Smychnik A. D. The Influence of the Structural Characteristics of Magnesia Binders ON THEIR Water and Salt Resistance. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical Series*, 2018, vol. 54, no. 1, pp. 118–125 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2018-54-1-118-125>
9. State Standard 2409-95. *Refractories. Method for determination apparent density, open and total porosity, water absorption*. Moscow, Standartinform Publ., 1997. 11 p. (in Russian).
10. State Standard 2211-65. *Refractories and refractory raw materials. Methods for determining the density*. Moscow, Gosstandart of the USSR, 1966. 11 p. (in Russian).
11. Batyantsovskii E. I., Bondarovich A. I. Frost and salt resistance of concrete subjected to mechanical loads. *Vestnik BNTU = Bulletin of BNTU*, 2008, no. 4, pp. 5–16 (in Russian).
12. Belous N. H., Rodtsevich S. P., Opanasenko O. N., Krut'ko N. P., Luksha O. V., Zhigalova O. L., Smychnik A. D. The effect of composite paraffine-containing additives on properties of small-grain portland cement concretes. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical Series*, 2014, no. 4, pp. 93–98 (in Russian).
13. Higerovich M. I., Bayer V. E. *Hydrophobic plasticizing additives for cements, mortars and concretes*. Moscow, Stroyizdat Publ, 1979. 65 p. (in Russian).
14. Ahverdov I. N., Stanishevskaya I. V. Mechanism of destruction of porous materials when they are saturated with salts. *Doklady Akademii nauk BSSR = Doklady of the Academy of Sciences of BSSR*, 1967, vol. 11, no. 4, pp. 320–323 (in Russian).
15. Korolev A. S. On a new computational and experimental method for accelerated determination of the waterproofness of cement materials by the height of the capillary rise of water in their thickness. *Tekhnologii betonov [Technologies of concrete]*, 2008, no. 12, pp. 48–50 (in Russian).

## Информация об авторах

Белюс Наталья Хасеньевна – канд. хим. наук, ст. науч. сотрудник. Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: belous2788247@yandex.ru

Родцевич София Павловна – науч. сотрудник. Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: rodtsevich@igic.bas-net.by

Опанасенко Ольга Николаевна – д-р хим. наук, зав. лаб. Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: ionch@igic.bas-net.by

Крутько Николай Павлович – академик, д-р хим. наук, зав. отделом. Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: krutko@igic.bas-net.by

## Information about the authors

Natalia Ch. Belous – Ph. D. (Chemistry), Senior Researcher. Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Sarganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: belous2788247@yandex.ru

Sofia P. Rodtsevich – Researcher. Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Sarganova Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: rodtsevich@igic.bas-net.by

Olga N. Opanasenko – D. Sc. (Chemistry), Head of the Laboratory. Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Sarganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ionch@igic.bas-net.by

Nikolay P. Krutko – Academician, D. Sc. (Chemistry), Head of the Department. Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Sarganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: krutko@igic.bas-net.by