



## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ НАНОДОБАВКИ НА ОСНОВЕ ФТОРИСТЫХ СОЛЕЙ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ

*С. А. Логинова, М. В. Таничев, А. В. Калинин, И. Н. Гоглев*

**Логинова Светлана Андреевна**, кандидат технических наук, заведующий кафедрой строительства зданий и сооружений, Ярославский государственный технический университет, г. Ярославль, Российская Федерация, тел.: + 7 (906) 617-12-27; e-mail: loginovasa@ystu.ru;

**Таничев Максим Владимирович**, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства зданий и сооружений, Ярославский государственный технический университет, г. Ярославль, Российская Федерация; доцент кафедры транспорта и автомобильных дорог, Ивановский государственный политехнический университет, г. Иваново, Российская Федерация, тел.: + 7 (908) 564-64-42; e-mail: tanichevmv@ystu.ru;

**Калинин Алексей Вячеславович**, старший преподаватель кафедры инфраструктуры и транспорта, Ярославский государственный технический университет, г. Ярославль, Российская Федерация, тел.: + 7 (915) 978-35-99; e-mail: kalininav@ystu.ru;

**Гоглев Илья Николаевич**, технический специалист, ООО «ТЕХНОНИКОЛЬ – Строительные системы», г. Москва, Российская Федерация, тел.: + 7 (930) 349-98-52; e-mail: azidplumbum00@mail.ru

В статье представлены данные первого этапа исследования (неразрушающего контроля по ГОСТ 22690-2015) прочности цементных бетонов после введения в них комплексной нанодобавки – ускорителя твердения на основе неорганических фторсодержащих солей. Состав добавки и величина помола (нанокристаллический уровень) позволяют ускорить процесс упрочнения цементного камня благодаря раннему сращиванию зерен и образованию нерастворимых, плотных соединений (продуктов реакции) в порах цементного камня. Результаты первого этапа показали низкий расход добавки: на 1 м<sup>3</sup> тяжелого бетона на уровне 0,015–0,02 от его массы, а прирост прочности после введения добавки составил 44,99 % по сравнению с обычным бетоном. Полученные данные влияния предлагаемой добавки на основе смеси нанопорошков фторборатных и флюатных солей на свойства бетонной смеси позволяют сделать вывод о ее высокой эффективности.

**Ключевые слова:** бетон, железобетон, добавки, ускорители твердения, неорганические фториды.

## INVESTIGATION OF THE EFFECT OF A COMPLEX NANO-ADDITIVE BASED ON FLUORIDE SALTS ON THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF CEMENT CONCRETES

*S. A. Loginova, M. V. Tanichev, A. V. Kalinin, I. N. Goglev*

**Loginova Svetlana Andreyevna**, Candidate of Technical Sciences, Head of Construction of Buildings and Structures Department, Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russian Federation, phone: + 7 (906) 617-12-27; e-mail: loginovasa@ystu.ru;

**Tanichev Maksim Vladimirovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Construction of Buildings and Structures Department, Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russian Federation; Associate Professor of Transport and Highways Department, Ivanovo State Polytechnical University, Ivanovo, Russian Federation, phone: + 7 (908) 564-64-42; e-mail: tanichevmv@ystu.ru;

**Kalinin Aleksey Vyacheslavovich**, Senior Lecturer of Infrastructure and Transport Department, Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russian Federation, phone: + 7 (915) 978-35-99; e-mail: kalininav@ystu.ru;

**Goglev Ilya Nikolayevich**, Technical Specialist, TECHNONICOL-Construction Systems LLC, Moscow, Russian Federation, phone: + 7 (930) 349-98-52; e-mail: azidplumbum00@mail.ru

The article presents data from the 1st stage of the study (non-destructive testing according to GOST 22690-2015) of the strength of cement concretes after the introduction of a complex nano-additive—a hardening accelerator based on inorganic fluorinated salts. The composition of the additive and the amount of grinding (nanocrystalline level) allows to accelerate the hardening process of cement stone, due to the early fusion of grains and the formation of insoluble and dense compounds (reaction products) in the pores of cement stone. The results of the 1st stage of the study (non-destructive testing according to GOST 22690-2015) showed a low consumption of the additive per 1 m<sup>3</sup> of heavy concrete at the level of 0,015-0,02 of the mass of concrete, and the increase in strength after the introduction of the additive was 44,99 % compared with conventional concrete. The results of the study of the influence of the proposed additive based on a mixture of nano powders of fluoroborate and fluoride salts on the properties of concrete mixtures allow us to conclude that it is highly effective.

**Keywords:** concrete, reinforced concrete, additives, hardening accelerators, inorganic fluorides.

## Введение

Цементные бетоны (бетоны на основе портландцемента) наиболее часто применяются при проведении монолитных работ. В условиях пониженных температур на открытом воздухе не всегда возможно соблюсти оптимальные условия твердения вяжущего, из-за чего проектная прочность бетона может быть не набрана. Для этого применяются добавки – ускорители твердения, которые способны обеспечить ранний набор его прочности [1].

Различные добавки в бетоны могут иметь разную величину помола, например, добавки могут быть микро- (микрпомол) или нанокристаллическими [1, 2]. На сегодняшний день имеется большое количество ускорителей твердения бетона с различной стоимостью и временем ускоренного твердения. Важно отметить, что ускорители могут влиять и на другие характеристики цементных бетонов, например, на их коррозионную стойкость. Так, например, некоторые добавки на основе хлоридов обладают агрессивностью по отношению к цементному камню бетона или стальной арматуре. вследствие чего имеются негативные эффекты влияния на твердеющий бетон, что особенно важно при монолитном строительстве [3, 4].

В качестве примера негативных эффектов от применения ускорителей твердения можно указать [4, 5]:

- высокую гигроскопичность (способность впитывать избытки влаги, что приводит к растрескиванию и усадке бетона, особенно в условиях «сухого» твердения);
- высаливание на поверхности и в глубине пор бетона (рис. 1);
- влияние на коррозионную стойкость арматуры и др.



Рис. 1. Высаливание на поверхности монолитного железобетона вследствие применения добавок

Именно поэтому создание перспективной комплексной добавки ускорителя-твердения (с дополнительными свойствами) с микро-/наночувствительным помолом и малым расходом на 1 м<sup>3</sup> готового бетона, а также без перечисленных ранее

негативных эффектов по отношению к цементному камню и арматуре внутри тела бетона, на данный момент является актуальной задачей, которую пробуют решить многие ученые в строительной отрасли.

## Постановка задачи

Процесс ускоренного твердения цементного камня бетона связан управляемым процессом его коррозии [4–7], который выражен во взаимодействии (массопереносе) компонентов ускорителя и их реакции с компонентами твердеющего бетона. Большинство ускорителей способно вступать в реакцию с одним из основных компонентов твердеющего бетона – «свободным» гидроксидом кальция, вызывая его связывание в прочные, нерастворимые продукты или его ускоренную диффузию из пор. Иллюстрацией такого процесса может служить применение фтористых добавок (например, фторида натрия (NaF)) в качестве ускорителя твердения, вследствие чего происходит реакция диссоциированных ионов фтора (F<sup>-</sup>) из раствора соли с гидроксидом кальция, с образованием нерастворимого (малорастворимого) фторида кальция (CaF<sub>2</sub>↓). Подобные физико-химические процессы позволяют достичь наиболее высокой скорости и набора прочности цементного камня [6].

На основе данных теоретических представлений были сформированы цели и задачи исследования.

Цель исследования – создание и испытание комплексной нанодобавки – ускорителя твердения, вызывающей достаточный набор прочности цементного камня (более 10÷20 % от первоначальной в первые 3-7 сут. или более 40 % за 21-28 дней), имеющей наименьшее количество недостатков и негативных эффектов в сравнении с существующими добавками [4–6].

Задача исследования – теоретически и практически обосновать эффективность полученной добавки путем исследования изменения физико-механических характеристик цементных бетонов вследствие применения указанной нанодобавки.

## Методы исследования

Исследование прочностных характеристик цементного камня проходило в соответствии с ГОСТ 22690-2015 (неразрушающий ударно-импульсный контроль) на первом этапе и ГОСТ 10180-2012 (разрушающий контроль) – на втором этапе.

Согласно проведенным ранее экспериментам Академика РААСН С. В. Федосова выявлено, что одним из основных компонентов набирающего прочность бетона является «свободный» гидроксид кальция Ca(OH)<sub>2</sub> [8], реакция которого с компонентами комплексной нанодобавки будет определять характер и скорость твердения цементной смеси [7–10].

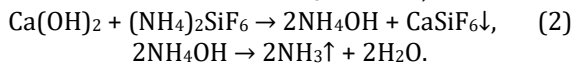
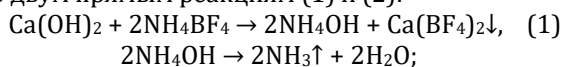
Подробный состав предлагаемой комплексной нанодобавки указан в таблице 1.

Таблица 1

**Результаты исследования оптимального диапазона содержания компонентов добавки**

Дистиллированная вода (ГОСТ 6709-72)	86
<i>Основные компоненты</i>	
Смесь нанопорошков тетрафторбората аммония (NH <sub>4</sub> BF <sub>4</sub> ) и флюата аммония ((NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> )	6
Карбид кремния зеленый (SiC), мелкодисперсный (нанопорошок)	5
<i>Вспомогательные компоненты</i>	
Смесь насыщенных растворов фторида натрия (NaF), фтороводородной кислоты (40 %) и дифторида аммония (NH <sub>4</sub> HF <sub>2</sub> )	2,5
Комплексообразователь	0,5

В основе работы предлагаемой комплексной нанодобавки лежит принцип реакции связывания «свободного» гидроксида кальция бетона (Ca(OH)<sub>2</sub>) флюат и борфторид-ионами с образованием малорастворимых борфтористых и кремнефтористых солей кальция (Ca(BF<sub>4</sub>)<sub>2</sub> и CaSiF<sub>6</sub>) по двум прямым реакциям (1) и (2):



При этом образующийся гидроксид аммония в системе разлагается на аммиак (полностью удаляется в окружающий воздух при реакции) и дополнительную воду, которая используется для смачивания зерен цемента и поддержания процесса твердения.

Отмечено, что составные части добавки способны повышать растворимость зерен в водно-солевом растворе, благодаря чему увеличивается предел насыщения этого раствора продуктами гидратации цемента. Образующиеся тетрафторборат и флюат кальция вызывают нагревание системы, которое будет рассмотрено во второй части исследования. Таким образом, планируется выполнить исследование возможности использования добавки в холодное время года. Продукты реакции находятся в нанодисперсном состоянии, что способствует ускоренному срастанию между собой зерен цемента и, как следствие, повышенной скорости твердения, а также не вызывает негативного влияния при образовании продуктов реакции в порах бетона (например, крупных кристаллов флюатов).



Рис. 2. Прибор портативный ОНИКС-2.5 для определения прочности ударно-импульсным методом по ГОСТ 22690-2015

При подготовке статьи были проанализированы различные источники отечественных и зарубежных авторов по тематике ускорителей твердения [9–15]. Большинство применяемых реагентов предлагаемой комплексной добавки являются недорогостоящими и крупнотоннажными продуктами, что позволяет в перспективе производства добавки достичь высокой экономической эффективности [16–21].

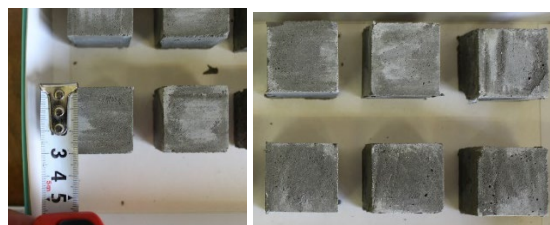


Рис. 3. Испытательные образцы-кубики 3 × 3 × 3 см для определения прочности ударно-импульсным методом по ГОСТ 22690-2015

При проведении экспериментальных исследований (испытаний контрольных образцов) и их изготовлении, а также при взвешивании и приготовлении смеси исходных реактивов использовались следующие приборы и оборудование: прибор неразрушающего контроля ударно-импульсной марки – интерприбор ОНИКС-2,5 (сертификат Госреестра СИ РФ №30252-10, зав. № 887, свидетельство о поверке от 28.04.2024, рис. 2), цифровая зеркальная фотокамера с возможностью быстрой съемки марки Canon 1200D, вибратор электрический ручной Zitrek Z-35-1,5, весы электронные Mucheng 0,1-500 (точность взвешивания 0,1÷500 г), термогигрометр.

В качестве неразрушающего контроля использовался метод ударного импульса в соответствии с ГОСТ 22690-2015 «Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля». Сущность метода заключается в зависимости между прочностью бетона и энергией удара (и ее изменениями) в момент соударения бойка (содержащего встроенный датчик) с поверхностью бетона [22–24]. Обработка полученных числовых данных и построение графиков производились в программном комплексе Microsoft Excel 2010.

**Обсуждение результатов**

Для неразрушающего контроля изготавливались образцы размером 3 × 3 × 3 см (рис. 3)

из цементного теста нормальной густоты (водоцементное соотношение В/Ц = 0,3). Цементное тесто приготавливалось в ходе смешения портландцемента М500Д0 с раствором добавки, после чего образцы помещались в камеру влажного твердения при атмосферном давлении (влажность воздуха 99±100 %, согласно показаниям термогигрометра). Общее количество контрольных образцов (образцов без добавки) и образцов с нанодобавкой составило 290 шт (50 + 240 шт). Через определенные сроки твердения у образцов определяли предел прочности при сжатии методом ударного импульса по ГОСТ 22690. Количество ударов по

каждой грани образца составляло не более 1. После того определялось среднее значение прочности на сжатие. Точность измерения обеспечивалась постоянным усреднением значений фактической прочности на сжатие для каждой серии образцов, а также отбраковкой чрезмерно завышенных или заниженных показаний в серии.

Данные измерений прочности бетона неразрушающим контролем внесены в таблицу 3.

По результатам данных построен график сравнительной кинетики твердения бетонных образцов с предлагаемой добавкой и обычных бетонных образцов в период с 3÷28 сут. (рис. 4).

Таблица 3

Результаты неразрушающего контроля прибором ОНИКС-2,5

Образец	Метод испытаний	Средняя прочность цементного камня при сжатии (серия 10 образцов), МПа				
		3 сут.	7 сут.	14 сут.	21 сут.	28 сут.
Без добавки (образцы 3 × 3 × 3 см)	Неразрушающий контроль ударно-импульсным методом по ГОСТ 22690-2015.	19,21	36,0	36,6	39,1	40,14
С добавкой (образцы 3 × 3 × 3 см)	Неразрушающий контроль ударно-импульсным методом по ГОСТ 22690-2015.	26,34	50,3	50,5	53,8	58,2

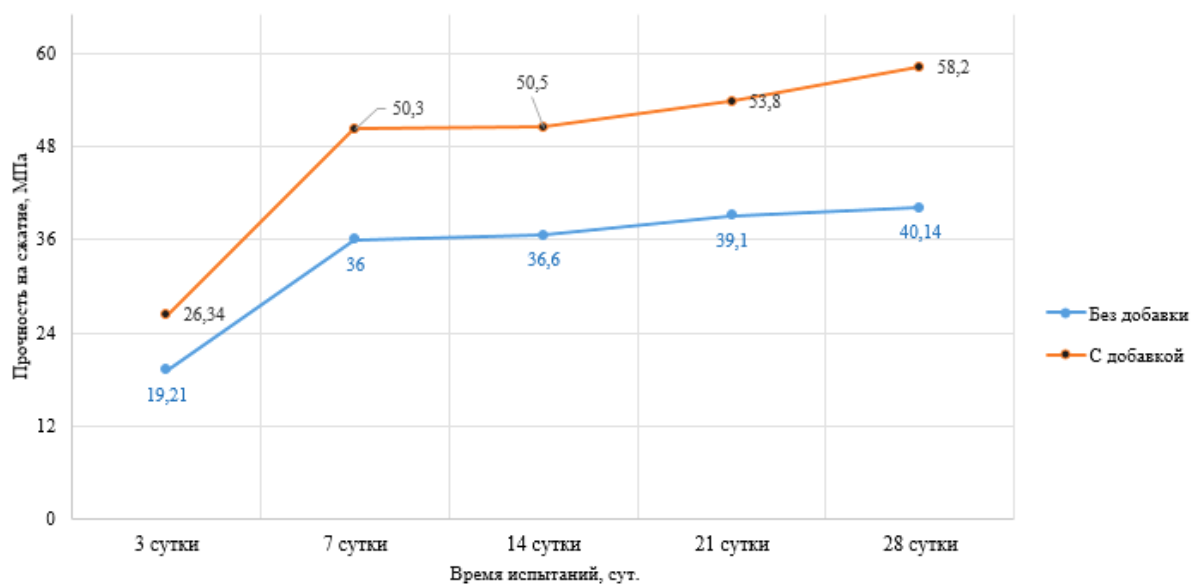


Рис. 4. Кинетика твердения цементного камня по данным неразрушающего ударно-импульсного контроля с помощью прибора ОНИКС-2,5 по ГОСТ 22690 в течение 3–28 сут.

По результатам испытаний отмечено, что максимальный набор начальной средней прочности на сжатие кубиков размером 3 × 3 × 3 см происходит в период 3–7 сут.. Прирост прочности бетонных образцов определяли по формуле (3):

$$X = (|R_{бет1} - R_{бет2}| / R_{бет1}) \cdot 100 \%, \quad (3)$$

где X – полученный прирост прочности от применения нанодобавки;  $R_{бет1}$  – фактическая максимальная прочность бетона на сжатие образцов без комплексной нанодобавки – ускорителя твердения в последнюю дату расчетного периода;  $R_{бет2}$  – фактическая максимальная прочность бетона на сжатие образцов с комплексной

нанодобавкой – ускорителем твердения в последнюю дату расчетного периода.

$$X = (|40,14 - 58,2| / 40,14) \cdot 100 \% = 44,99 \%$$

По величине сравнительной кинетики твердения цементного камня в течение 3÷28 сут. прирост прочности бетона в случае применения предложенной добавки высчитывался по формуле 3 и составил в среднем 44,99 % (по данным неразрушающего ударно-импульсного контроля).

#### Вывод

Согласно полученным данным прироста прочности цементного камня, добавка в бетон



является эффективной, поскольку средний прирост прочности бетона составил более 30 % по результатам испытания косвенным методом. Во второй части исследования будут описаны и проведены испытания прямым (разрушающим методом) по ГОСТ 10180.

Приблизительный расход добавки на 1 м<sup>3</sup> бетона определялся экспериментально и, согласно проведенным испытаниям, составляет 0,015–0,02 от массы бетона. Необходимость расчета термоэластопластов предлагаемой нанодобавки отсутствует, поскольку подобные показатели расхода являются малыми. К сравнению, расход хлоридов натрия или кальция (часто применяемых присадок в качестве ускорителей твердения) составляет до 4–4,5 % от массы (то есть 0,04–0,045).

В ходе проведения исследований комплексной нанодобавки – ускорителя твердения были выполнены все поставленные цели и задачи, благодаря чему получены результаты оптимального соотношения компонентов добавки и кинетики твердения цементного камня. Прирост прочности бетона от применения разработанной добавки составил 44,99 % по результатам испытания методом неразрушающего контроля.

Полученные теоретические и экспериментальные данные по предлагаемой добавке на основе смеси нанопорошков фторборатных и флюатных солей позволяют сделать вывод о ее высокой эффективности. Высокая эффективность добавки и малый расход определяют перспективность ее дальнейшего исследования, возможности внедрения.

#### Список литературы

1. Никулина Ю. А. О возможности применения ускорителей твердения бетона для сокращения сроков возведения монолитных многоэтажных зданий / Ю. А. Никулина // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова, посвященная 300-летию Российской академии наук. – Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2017. – С. 1191–1196.
2. Дмитренко А. Е. Оценка эффективности органических и минеральных добавок в мелкозернистом бетоне / А. Е. Дмитренко, А. П. Хачатурян, Б. В. Махинин // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – 2012. – Т. 1. – С. 289–295.
3. Изотов В. С. Влияние добавок - ускорителей твердения на свойства тяжелого бетона / В. С. Изотов, Р. А. Ибрагимов // Строительные материалы. – 2010. – № 3. – С. 35–37.
4. Козодаев С. П. Химические добавки-ускорители твердения цементных систем: проблемы и ближайшие перспективы применения / С. П. Козодаев // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. – 2013. – № 6. – С. 67–70.
5. Румянцева В. Е. Особенности процесса коррозии бетона и железобетона, осложненного воздействием хлоридов и углекислого газа / В. Е. Румянцева, И. Н. Гоглев // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций : сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции, посвященной памяти заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, доктора технических наук, профессора Соломатова Василия Ильича / отв. ред. Т. А. Низина. – Саранск : Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева, 2016. – С. 106–111.
6. Loginova S. Possibilities of using alizarin and neutral red indicators to determine the neutralized layer of concrete in the field / S. Loginova, P. Razgovorov, I. Goglev // E3S Web of Conferences. Ural Environmental Science Forum "Sustainable Development of Industrial Region" (UESF-2023). – Chelyabinsk, 2023. – С. 01031.
7. Сердюкова А. А. О механизме действия ускорителей схватывания и твердения цементной матрицы бетона / А. А. Сердюкова, И. Ш. Рахимбаев // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2013. – № 2. – С. 26–28.
8. Федосов С. В. Управление процессами коррозионной деструкции строительных материалов на основе законов массопереноса / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, В. С. Коновалова, И. Н. Гоглев, Б. Е. Нармания // Вестник гражданских инженеров. – 2019. – № 3 (74). – С. 106–111.
9. Синотова М. В. Современные добавки-ускорители твердения бетонов / М. В. Синотова // Сборник докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ студентов института строительства и архитектуры. – Москва : Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2017. – С. 993–995.
10. Усов Б. А. Химические добавки в технологии сборного железобетона / Б. А. Усов, Г. Э. Окольникова // Экология и строительство. – 2015. – № 4. – С. 7–14.
11. Sounthararajan V. M. Effect of Calcium Nitrate on the Pozzolanic Properties of High Early Strength Concrete / V. M. Sounthararajan, A. Sivakumar // Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology. – 2013. – Vol. 6, № 13. – P. 2502–2508.
12. Cheung J. Impact of admixtures on the hydration kinetics of Portland cement / J. Cheung, A. Jeknavorian, L. Roberts, D. Silva // Cement and Concrete Research. – 2011. – Vol. 41, № 12. – P. 1289–1309.
13. Roumyantseva V. E. Development and research of properties cement concrete hardening accelerator additive based on a mixture of inorganic fluorine-containing salts / V. E. Roumyantseva, I. N. Goglev, S. A. Loginova, P. S. Truntov, A. A. Burkov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – № 2019. – P. 052–026.
14. Мешкова К. О. Исследование влияния нитрата кальция на свойства тампонажного цемента / К. О. Мешкова // Деловой журнал Neftegaz.RU. – 2017. – № 2. – С. 50–53.

15. Сви́дерский В. А. Ускорители схватывания цементных систем на основе азотсодержащих органических соединений / В. А. Сви́дерский, В. В. Токарчук, А. Ю. Флейшер, И. Н. Трус // Знание. – 2016. – № 4-1 (33). – С. 145–149.
16. Адамцевич А. О. Исследование влияния формиата кальция на процесс гидратации цемента с учетом фазового состава и температурного режима твердения / А. О. Адамцевич, А. П. Пустовгар, А. В. Еремин, С. А. Пашкевич // Строительные материалы. – 2013. – № 7. – С. 59–61.
17. Хузин А. Ф. Физико-механические свойства высокопрочного бетона, модифицированного комплексной добавкой / А. Ф. Хузин, Р. А. Ибрагимов // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2015. – № 4 (34). – С. 317–321.
18. Коровкин М. О. Влияние минеральных добавок на эффективность суперпластификаторов в самоуплотняющихся мелкозернистых бетонных смесях / М. О. Коровкин, Н. А. Ерошкина, А. А. Короткова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2022. – № 3 (41). – С. 56–61.
19. Пшеничный Г. Н. Применение хлорида кальция в технологии бетона и железобетона / Г. Н. Пшеничный, Е. А. Арутюнов, Г. Ю. Чариков // Экологические, инженерно-экономические, правовые и управленческие аспекты развития строительства и транспортной инфраструктуры : сборник материалов Международной научно-практической конференции. – Краснодар : Кубанский государственный технологический университет, 2017. – С. 193–198.
20. Шаранова А. В. Исследование кинетики набора прочности мелкозернистых бетонных систем ускоренного твердения / А. В. Шаранова, М. А. Дмитриева, Д. А. Ленькова, А. Д. Панфилова, Э. Р. Беляускас, П. Д. Бабич // Новые материалы : сборник материалов Третьего междисциплинарного молодежного научного форума с международным участием. – Москва : ООО «Буки Веди», 2017. – С. 383–385.
21. Утегенов, Б. Б. Химическая обработка минеральных компонентов бетонной смеси / Б. Б. Утегенов, Р. И. Шаяхмедов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2024. – № 3 (49). – С. 11–18.
22. Семенова, О. О. Анализ влияния комплексных добавок ускоряюще-пластифицирующего действия на прочностные свойства и структуру тяжелого бетона / О. О. Семенова, А. И. Афанасьев, М. В. Акулова, В. С. Поляков // Информационная среда вуза. – 2015. – № 1 (22). – С. 159–164.
23. Акулова М. В.. Влияние добавок-регуляторов структурообразования на долговечность тяжелого бетона / М. В. Акулова, О. В. Селиверстова // Строительство и реконструкция. – 2016. – № 1 (63). – С. 73–77.
24. Улыбин А. В. Определение прочности бетона при обследовании зданий и сооружений / А. В. Улыбин, С. Д. Федотов, Д. С. Тарасова // Мир строительства и недвижимости. – 2012. – № 45. – С. 2–5.

© С. А. Логинова, М. В. Таничев, А. В. Калинин, И. Н. Гоглев

#### Ссылка для цитирования:

Логинова С. А., Таничев М. В., Калинин А. В., Гоглев И. Н. Исследование влияния комплексной нанодобавки на основе фтористых солей на прочностные характеристики цементных бетонов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2024. № 4 (50). С. 28–33.

УДК 691.327.332  
DOI 10.52684/2312-3702-2024-50-4-33-39

## ИССЛЕДОВАНИЕ СУШКИ ВОДОНАСЫЩЕННОГО АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА

*А. А. Мухамедбаев*

**Мухамедбаев Абдугафур Абдувалиевич**, доктор философии по техническим наукам, доцент кафедры «Технология строительных материалов и конструкций», Ташкентский архитектурно-строительный университет, г. Ташкент, Республика Узбекистан; e-mail: mabdugofira@gmail.com

В статье приводятся результаты исследования процессов сушки водонасыщенных автоклавных газобетонных блоков. Образцы, предназначенные для изучения, были предварительно погружены в водную среду на 24 ч, а после подвергались сушке при температуре 100 °С в лабораторной сушильной камере. Продолжительность сушки продолжалась до 11 ч. Средняя плотность газобетонных образцов варьировала в пределах 400–600 кг/м<sup>3</sup>. Самое максимальное удаление влаги из газобетона пришлось на первые часы процесса сушки. Первые три часа процесс имел прямолинейный характер. Дальнейшее торможение было связано с еще большей трудностью вывода влаги из внутренних слоев автоклавных газобетонных образцов. Динамика удаления влаги в различных образцах проходила по-разному, но при этом общая картина во всех случаях была схожей.

**Ключевые слова:** влажность, газобетон, сушка, температура, автоклав, лабораторная сушильная камера.

## STUDY OF DRYING OF WATER-SATURATED AUTOCLAVED AERATED CONCRETE

*A. A. Mukhamedbayev*

**Mukhamedbayev Abdugafur Abduvaliyevich**, Doctor of Philosophy in Technical Sciences, Associate Professor of Technology of Building Materials and Structures Department, Tashkent University of Architecture and Civil-Engineering, Tashkent, Republic of Uzbekistan; e-mail: mabdugofira@gmail.com