

## МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЕЙ ВЛАЖНОСТИ В БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО МОДИФИЦИРОВАННОГО БЕТОНА

Андрей Сергеевич Волков<sup>1</sup>, Александр Андреевич Храмогин<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия,

<sup>1</sup> a.s.volkov@donnasa.ru, <sup>2</sup> a.a.hramogin@donnasa.ru

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы определения полей влажности в бетоне, связанных с неравномерностью высыхания. Показано, что аутогенная усадка, а также физико-механические и реологические свойства бетона по объему конструкции имеют неоднородность и зависят от температурно-влажностных градиентов, и особенно сильно данный эффект проявляется в высокопрочных модифицированных бетонах. Установлена связь неоднородности свойств бетона и масштабного фактора. Отмечено, что в существующих нормативных документах не освещены способы построения полей влажности в конструкции, в связи с чем возникает необходимость разработки методики для данных испытаний. Изучены различные способы измерения влажности и температуры в бетоне, их достоинства и недостатки. Предложена методика определения температурно-влажностных полей по объему бетонных и железобетонных конструкций с применением диэлектрических влагомеров с планарными и глубинными игольчатыми датчиками.

**Ключевые слова:** высокопрочные бетоны, поля влажности, аутогенная усадка, масштабный фактор

**Для цитирования:** Волков А. С., Храмогин А. А. Методики определения полей влажности в бетонных и железобетонных конструкциях из высокопрочного модифицированного бетона // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2025. Выпуск 2025-1(171) Современные строительные материалы. С. 45–51. doi: 10.71536/vd.2025.1c171.6. edn: zrckrg.

Original article

## METHODS FOR DETERMINING MOISTURE FIELDS IN CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE STRUCTURES MADE OF HIGH-STRENGTH MODIFIED CONCRETE

Andrei S. Volkov<sup>1</sup>, Aleksandr A. Khrmogin<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia,

<sup>1</sup> a.s.volkov@donnasa.ru, <sup>2</sup> a.a.hramogin@donnasa.ru

**Abstract.** The article discusses the issues of determining moisture fields in concrete associated with uneven drying. It is shown that autogenic shrinkage, as well as the physico-mechanical and rheological properties of concrete in the volume of the element, are heterogeneous and depend on temperature and humidity gradients, and this effect is especially pronounced in high-strength modified concretes. The connection between the heterogeneity of concrete properties and the large-scale effect is noted. It is noted that the existing norms and standards do not cover the methods of constructing humidity fields in the structure, which makes it necessary to build a methodology for these tests. Various methods of measuring humidity and temperature in concrete, their advantages and disadvantages have been studied. A method is proposed for the correct determination of temperature and humidity fields by volume of concrete and reinforced concrete elements using dielectric moisture meters with planar and deep needle sensors.



**Keywords:** scale factor, autogenic shrinkage, humidity fields, high-strength concretes

**For citation:** Volkov A. S., Khrmogin A. A. Methods for determining moisture fields in concrete and reinforced concrete structures made of high-strength modified concrete. *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Modern building materials*. 2025;1(171):45–51. (In Russ.). doi: 10.71536/vd.2025.1c171.6. edn: zrckrg.

## ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Изучение неравномерного высыхания бетонных и железобетонных конструкций имеет важное значение для определения их реальных физико-механических и реологических свойств. В связи с этим возникает необходимость разработки методов, позволяющих учитывать температурно-влажностные градиенты, а также их влияние на физико-механические свойства и усадочные деформации, особенно в высокопрочных модифицированных бетонах. Отсутствие в нормативных документах методов для построения полей влажности по объему конструкций подчёркивает актуальность научно-технические задачи.

## АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Исследование полей влажности и их влияние на свойства бетона активно изучается как отечественными, так и зарубежными учёными. Особое внимание уделяется вопросам аутогенной усадки, температурно-влажностным градиентам и масштабным факторам.

Среди авторов, внесших значительный вклад в данную область, можно отметить работы в области строительного материаловедения и физико-механических характеристик бетонных конструкций таких исследователей, как Du [1; 2], Oliveira [3], Persson [4], Škramlík [5], Zhang [1; 6], А. С. Волков [10], В. И. Корсун [16; 17; 18], А. В. Корсун [15].

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью данного исследования является разработка и обоснование методики определения температурно-влажностных полей в бетонных и железобетонных конструкциях из высокопрочного модифицированного бетона.

## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Неравномерное удаление влаги в массивных бетонных и железобетонных элементах при их высыхании приводит к неравномерным деформациям усадки по их объему. При этом наружные слои бетона при высыхании стремятся к объемному растяжению, а внутренние к объемному сжатию, что приводит к сложному напряженно-деформированному состоянию (НДС) и могут приводить к образованию трещин на поверхности элементов до начала их нагружения. Особенно это характерно для массивных элементов, для которых одним из факторов, влияющих на прочностные и деформационные свойства бетона, является масштабный фактор – изменение физико-механических свойств материала с изменением размеров образца. Данное явление остается предметом научных дискуссий, и зависит от множества факторов влияния, а его окончательная природа в полной мере недостаточно изучена [2]. При этом, существует предположение, что сущность масштабного фактора связана с возникающими в бетоне температурно-влажностными градиентами при его твердении, возникающими в результате неравномерного высыхания по объему бетона в конструкциях с разными размерами [17].

Результаты исследований в работах В. И. Корсуна, А. В. Корсуна, А. С. Волкова и других ученых свидетельствуют о том, что значения физико-механических и реологических свойств (деформации усадки и ползучести) для высокопрочных модифицированных бетонов существенно зависят от масштабного фактора образцов [10; 18].

Аутогенная усадка – самовысушивание бетона при низких значениях водоцементного отношения – особенно характерно проявляется в высокопрочных модифицированных бетонах [14]. В работах Н. М. Зайченко, С. В. Лахтарины, А. С. Волкова и др. выявлено, что величина аутогенной усадки в модифицированных бетонах с водоцементным отношением менее 0,30 может составлять 50...60 % значения общей усадки [13]. Она приводит к неоднородности физико-механических свойств бетона по объему элементов бетонных и железобетонных элементов. Действующие нормативные документы не учитывают в достаточной

мере влияние условий высыхания и масштабного фактора на свойства как обычных, так и высокопрочных бетонов [10].

Для теоретического описания неоднородных деформаций усадки по объему элемента и их влияния на НДС конструкции необходимо изучение изменения полей влажности и температур по объему с созданием моделей по их построению. В частности, расчет градиентов потенциала влажности и деформаций усадки для обычного тяжелого бетона могут выполняться по методике С. Л. Фомина [21]. Однако, не существует общепринятой методики моделирования полей влажности в бетоне, а в действующих ГОСТах приводятся лишь рекомендации по определению влажности как таковой [11; 12] в определенной точке, но не по объему элементов конструкций.

Вследствие этого возникает необходимость в построении методики определения полей влажности и температуры в бетонных и железобетонных конструкциях из высокопрочного модифицированного бетона с целью определения деформаций аутогенной усадки бетона и изучения связи условий высыхания и усадки бетона с размерами железобетонной конструкции. Для этого необходим анализ существующих методов и приборов для определения влажности для дальнейшей разработки методики испытаний образцов с их применением.

### *АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ В БЕТОНЕ*

Методы контроля влажности делятся на две основные группы: разрушающие и неразрушающие. В контексте масштабного эффекта ключевое значение имеют методы, позволяющие получать данные не только о локальной влажности, но и о ее распределении в крупных объемах конструкций.

Традиционные методы определения влажности, такие как метод взвешивания и карбидный метод, широко применяются в лабораторных условиях для анализа небольших образцов. Они отличаются высокой точностью, но имеют существенные ограничения при исследовании масштабных конструкций.

Построение полей влажности в бетоне представляет собой интеграцию точечных измерений с помощью различных методов, их интерполяции и визуализации.

Методы определения полей влажности:

**1. Диэлектрические методы.** Эти методы основываются на измерении электрического сопротивления и диэлектрической проницаемости бетона, которые зависят от содержания влаги. Диэлектрический метод делится на кондуктометрический и диэлькометрический. Кондуктометрический метод основан на зависимости электрического сопротивления от влажности бетона конструкции. Для осуществления измерений используется влагомер с двумя игольчатыми зондами, который погружается в бетон, измеряет сопротивление и показывает измеренную на его основе влажность.

Более точным является диэлькометрический метод, который основан на измерении диэлектрической проницаемости бетона, и применяется в большинстве представленных на рынке влагомеров.

При использовании влагомеров на больших конструкциях можно построить поля влажности, что важно для учета пространственной неоднородности усадки бетона и анализа масштабного эффекта. Диэлектрические влагомеры также применяются для мониторинга влажности в реальном времени на больших объектах, таких как мосты и жилые здания. Они просты в использовании и не требуют разрушения конструкции. Однако их точность может снижаться на глубине, поскольку влажность распределяется неравномерно по толщине бетона, и на более глубоких участках может быть сложно точно оценить содержание влаги.

Проблему с глубинным замером влажности может решить использование диэлектрического влагомера со щупом или глубинным зондом. Преимуществом применения щупа является то, что нужно высверлить лишь небольшое отверстие – например, в случае с прибором ВИМС-2.2 компании Интерприбор [7], необходимый диаметр отверстия составляет 6+0,1 мм. Недостатком является ограниченная длина щупа – длина измерительной части составляет 140 мм.

У зонда глубина погружения значительно больше. Так, у зонда типа ТЗ/22 влагомера TRIME®-ES компании РусАвтоматизация [9] глубина монтажа составляет до 2 м. Зонд также можно забетонировать для осуществления мониторинга конструкций с наибольшей точностью. Основным недостатком является необходимость сверлить отверстие с диаметром свыше 22 мм, что приемлемо в случае больших конструкций, но не подходит для испытаний относительно небольших образцов.

Так, в исследованиях Oliveira использовался замер влажности зондами через влитые на разных глубинах пластиковые трубки [3]. В исследованиях Persson применялся тот же метод, причем на значительные глубины – до 35 см [4]. Тот же метод применяется у Du, Shi и Han [1], причем его результаты хорошо согласуются с результатами моделирования с помощью МКЭ в Ansys – чем глубже, тем более точно. Тот же метод использовался в исследовании Zhang [6].

При натуральных испытаниях возможно помещение в бетон датчиков для измерения влажности и температуры в высверленные отверстия. Сами датчики при этом могут бетонироваться, как в исследовании В. И. Корсуна, А. Н. Мащенко и Ю. Ю. Калмыкова [16].

**2. Микроволновые методы** используются для анализа объемных распределений влажности. Волны проникают глубоко в материал, обеспечивая данные о внутреннем состоянии бетонной конструкции на относительно большую глубину (до 300–500 мм). Это делает метод одним из наиболее эффективных для крупногабаритных сооружений, таких как мосты или массивные фундаменты. Микроволновые технологии представляют собой перспективный инструмент для построения полей влажности, особенно когда необходим высококачественный объемный анализ состояния материала.

Однако для получения высокоточных данных требуется дорогостоящее оборудование, зачастую недоступное из-за санкций, а также тщательная настройка для конкретного типа бетона.

В исследовании Škranič применялся микроволновой метод мониторинга влажности бетона [5].

**3. Ультразвуковые методы.** Ультразвук измеряет скорость прохождения акустических волн через бетон, что позволяет определить влажностные зоны. При определенных условиях имеется статистическая связь между скоростью распространения продольных ультразвуковых волн в бетоне и его динамическим модулем упругости и прочностью бетона. Этот метод предлагается, например, в работе С. Я. Семененко [19].

Данный метод особенно полезен при работе с эксплуатируемыми конструкциями, в том числе в экстремальных условиях. Этот метод позволяет не только определять влажность, но и оценивать внутренние дефекты, такие как трещины или пустоты. Ультразвуковая диагностика полезна для глубинного анализа и позволяет строить поля влажности на разных уровнях. Однако она дает значительные погрешности, связанные с изменением параметров излучателей, усилителей и приемников ультразвука.

**4. Термографический (тепловизионный) анализ.** Основанный на измерении теплового излучения, термографический метод позволяет визуализировать распределение влаги, особенно в поверхностных слоях. Для этого применяются специальные тепловизоры, например, Testo [20]. Ограничения метода включают малую глубину проникновения, но в сочетании с другими методами он обеспечивает комплексную оценку состояния конструкций. Этот метод имеет ряд преимуществ, таких как высокая скорость обследования и возможность получения данных о распределении влажности на больших поверхностях. Однако его точность ограничена только измерением влажности на поверхностном уровне, что делает его использование нецелесообразным для поставленной цели.

На рисунке 1 показаны фотографии различных приборов для измерения влажности.



**Рисунок 1** – Приборы для определения влажностей и температур: а) ВИМС-2.2; б) TRIME®-ES с зондом ТЗ/22; в) Testo 865.

#### *ПОСТРОЕНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЕЙ ВЛАЖНОСТИ*

Рассмотрев существующие методы измерения влажности в бетоне и изучив ряд исследований с построением полей влажности, приходим к выводу, что для решения поставленной задачи следует выбрать диэлектрический (диэлькометрический) метод. На российском рынке представлен широкий ряд влагомеров, применяющих данный метод. Несмотря на преимущества микроволновых приборов в измерении глубинной влажности, такие устройства представлены зарубежными производителями, обладают высокой стоимостью и нередко недоступны к приобретению из-за санкций.

Применяя диэлектрические влагомеры, следует остановиться на устройствах высокого класса, поскольку более дешевые пригодны только для поверхностного измерения влажности, и нередко не измеряют температуру, которая не менее важна в задаче определения усадочных деформаций бетона.

Напротив, в дорожных устройствах, как правило, присутствует комплектация с глубинными щупами помимо стандартных датчиков для поверхностного измерения. Выбирая между щупами и зондами, следует отдать предпочтение щупам – как уже упоминалось ранее, для зонда требуется сверлить отверстие большого диаметра, что значительно изменяет структуру относительно небольшого бетонного образца и искажает результаты измерений.

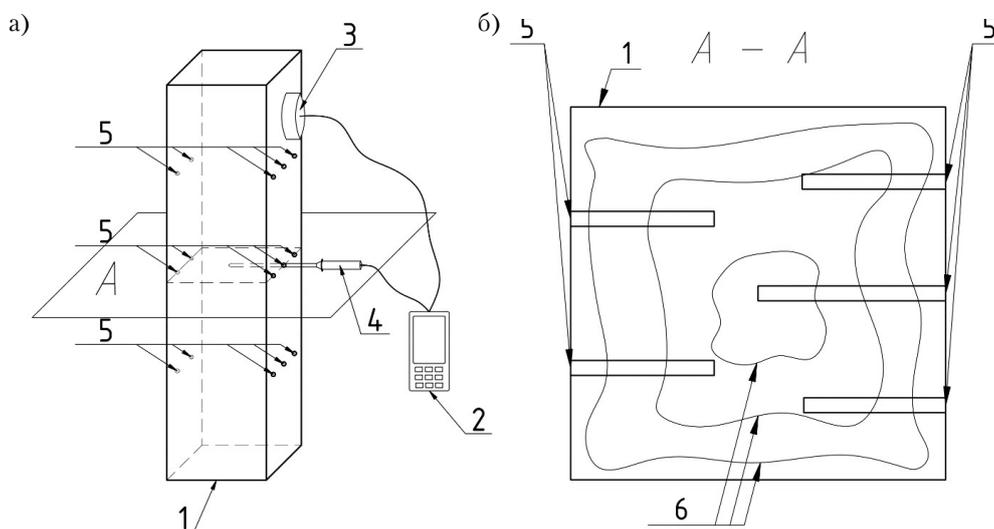
Примерами подходящих для исследования влагомеров могут служить упомянутый выше ВИМС-2.2 компании Интерприбор и ВИМС-3, отличием которого является управление со смартфона [8], в комплектации с наличием как игольчатого датчика-щупа, так и объемно-планарного датчика.

При планировании испытаний следует отметить такой параметр, как модуль открытой поверхности ( $M_0$ ) – отношение поверхности элемента, открытой для испарения влаги, к его объему. Через него можно выразить массивность конструкций, от которой напрямую зависят усадочные деформации. Важность данной характеристики элемента рассматривалась в работах таких исследователей, как В. И. Корсун, А. В. Корсун, А. С. Волков [10; 15].

Для проведения испытаний изготавливаются образцы – бетонные призмы различных размеров. Исследования показывают, что чем больше образец, тем более неоднородные деформации усадки и изменение влажности по объему. Поэтому необходимо измерять поля влажности и их влияние для образцов разных сечений, с разным модулем открытой поверхности, на деформации усадки.

Для измерения предлагается поверхность элемента разметить на периодическую сетку для поверхностного и глубинного измерения в ее точках для составления карты наружной и внутренней влажности элемента. По высоте элемента выбираются уровни условных плоских сечений для измерения влажности по объему элемента. В этих сечениях сверлятся или закладываются заранее отверстия для погружения игольчатого датчика влагомера, так чтобы провести замеры в количестве точек, достаточном для построения двухмерного поля влажности.

На рисунке 2 показана схема призмы для испытаний и сечение призмы с условными изолиниями полей влажности и примером расположения просверливаемых отверстий для погружения игольчатых датчиков вглубь образца. Получив поверхностную влажность и поля влажности сечений, можно путем интерполяции построить объемные поля влажностей и температур в элементе при его высыхании, что позволит более достоверно определить усадочные деформации.



**Рисунок 2** – Условная схема испытания бетонной призмы: а) схема призмы и устройства для испытаний; б) схема сечения призмы с условными изолиниями полей влажности и отверстиями для погружения игольчатых датчиков; 1 – бетонная призма 150×150×600 мм; 2 – влагомер; 3 – объемно-планарный датчик; 4 – игольчатый датчик; 5 – отверстия Ø6 мм для погружения игольчатого датчика; 6 – изолинии полей влажности.

Для апробирования предложенной методики следует изготовить тестовые образцы и провести пробные экспериментальные исследования. Они помогут также в определении оптимальных сечений для измерения. Это позволит усовершенствовать методику и повысить ее точность. После проведения исследований можно будет сделать выводы о применимости данной методики для определения усадочных деформаций элементов из бетона.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе рассмотрены вопросы методики определения полей влажности в железобетонных элементах. Показано наличие зависимости величин физико-механических характеристик бетона и деформаций усадки по объему элемента от температурно-влажностных полей. Выявлена существенная зависимость деформаций усадки от размера образцов (и их массивности  $M_0$ ) и условий их высыхания.

Отмечено, что неоднородность деформаций и физико-механических свойств по объему конструкции связана с проявлением масштабного фактора.

Рассмотрены различные методы определения влажности в бетоне, в частности, диэлектрический и микроволновой, и обосновано их применение для построения полей влажности элемента.

Показано, что оптимальным для решения поставленной задачи является применение диэлектрического влагомера с двумя типами датчиков: планарные для измерения наружной влажности по заданной сетке на поверхности элемента, и игольчатые, для измерения влажностей и температур внутри объема элемента.

Предложена методика для определения температурно-влажностных полей по объему бетонных и железобетонных элементов, которая может позволить более точно определить величины деформаций усадки в любом участке образца, что требует проведения дополнительных экспериментальных исследований.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Du, Shi Lei. Effects of Humidity Field on Creep of Reinforced Concrete Beams / Shi Lei Du, Bing Han, Zheng Zhang. – Текст : электронный // *Advanced Materials Research*. – 2011. – Volumes 250–253. – P. 1765–1768. – URL: <https://www.scientific.net/AMR.250-253.1765> (дата обращения: 11.11.2024). – DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.250-253.1765. – ISSN 1662-8985.
2. Du, Xiuli. Size Effect in Concrete Materials and Structures / Xiuli Du, Liu Jin. – [S. l. : Springer], 2021. – 602 p. – URL: [https://www.logobook.ru/prod\\_show.php?object\\_uid=15409584](https://www.logobook.ru/prod_show.php?object_uid=15409584) (дата обращения: 11.11.2024). – DOI: 10.1007/978-981-33-4943-8. – Текст : электронный.
3. Oliveira, Mateus A. Simulation of Humidity Fields in Concrete: Experimental Validation and Parameter Estimation / Mateus A. Oliveira, Miguel Azenha, Paulo B. Lourenco. – Текст : электронный // *Journal of Advanced Concrete Technology*. – 2015. – Volume 13, Issue 4. – P. 214–229. – URL: [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jact/13/4/13\\_214/\\_article](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jact/13/4/13_214/_article) (дата обращения: 11.11.2024). – DOI: 10.3151/jact.13.214.
4. Persson, B. Hydration and strength of high-performance concrete / B. Persson. – Текст : непосредственный // *Advanced Cement Based Materials*. – 1996. – Volume 3(3-4). – P. 107–123.
5. Škramlík, J. Monitoring of moisture in building material by EMW radiation / J. Škramlík, M. Novotny. – Текст : непосредственный // *Slovak Journal of Civil Engineering*. – 2007. – 2008/2. – P. 8–16.
6. Zhang, Jun. Simulation of Moisture Field of Concrete with Pre-soaked Lightweight Aggregate Addition / Jun Zhang, Jiahe Wang, Yudong Han. – Текст : электронный // *Construction and Building Materials*. – 2015. Volume 96. – P. 599–614. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061815302609?via%3Dihub> (дата обращения: 11.11.2024). – DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.08.058.
7. Влагомер строительных материалов ВИМС-2.2. – Текст : электронный // ИНТЕРПРИБОР : [сайт]. – 2006–2024. – URL: <https://www.interpribor.ru/moisture-meter-building-materials-vims-2.2> (дата обращения: 06.11.2024).
8. Влагомер строительных материалов ВИМС-3. – Текст : электронный // ИНТЕРПРИБОР : [сайт]. – 2006–2024. – URL: <https://www.interpribor.ru/vims-3> (дата обращения: 06.11.2024).
9. Влагомер бетона для измерения влажности бетонных конструкций фундаментов, мостов, плотин, причалов и других бетонных сооружений. – Текст : электронный // РусАвтоматизация : [сайт]. – 2017–2024. – URL: <https://rusautomation.kz/analizatory-vlazhnosti/vlagomer-betona> (дата обращения: 06.11.2024).
10. Волков, А. С. Влияние масштабного фактора и воздействия повышенных температур до +200 °С на характеристики физико-механических и реологических свойств высокопрочных модифицированных бетонов / А. С. Волков. – Текст : электронный // *Современное промышленное и гражданское строительство*. – 2021. – Том 17, № 1. – С. 63–76. – URL: [https://donnasa.ru/publish\\_house/journals/spgs/2021-1/06\\_volkov.pdf](https://donnasa.ru/publish_house/journals/spgs/2021-1/06_volkov.pdf) (дата обращения: 20.11.2024). – ISSN 1993-3495.
11. ГОСТ 12730.2-2020. Бетоны. Метод определения влажности = *Concretes. Method of determination of moisture content* : межгосударственный стандарт : издание официальное : Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 декабря 2020 г. № 1342-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 12730.2-2020 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 сентября 2021 г. : взамен ГОСТ 12730.2-78 : дата введения 2021-09-01 / разработан Научно-исследовательским, проектно-конструкторским и технологическим институтом бетона и железобетона им. А. А. Гвоздева (НИИЖБ им. А. А. Гвоздева) – структурным подразделением Акционерного общества «Научно-исследовательский центр "Строительство"» (АО «НИЦ "Строительство"»). – Москва : Стандартинформ. 2020. – 9 с. – Текст : непосредственный.
12. ГОСТ 24544-2020. Бетоны. Методы определения деформаций усадки и ползучести = *Concretes. Methods of shrinkage and creep flow determination* : межгосударственный стандарт : издание официальное : приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 декабря 2020 г. № 1347-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 24544-2020 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с

- 1 июня 2021 г. : взамен ГОСТ 24544-81 : дата введения 2021-06-01 / разработан структурным подразделением АО «НИИЦ "Строительство"» Научно-исследовательским, проектно-конструкторским и технологическим институтом бетона и железобетона им. А. А. Гвоздева (НИИЖБ им. А. А. Гвоздева) при участии АО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева». – Москва : Стандартинформ, 2021. – 30 с. – Текст : непосредственный.
13. Зайченко, Н. М. Модифицированные цементные бетоны для устойчивого развития : учебное пособие / Н. М. Зайченко. – Саратов : Ай Пи Эр Медиа, 2018. – 559 с. – Текст : непосредственный.
  14. Калиновская, Н. Н. Долговечность бетона. Анализ причин и способы снижения усадочных деформаций модифицированного бетона / Н. Н. Калиновская, Д. С. Котов, Е. А. Иванова. – Текст : непосредственный // Технологии бетонов. – 2017. – № 11-12. – С. 14–17.
  15. Корсун, А. В. Напряженно-деформированное состояние сжатых железобетонных элементов из высокопрочных модифицированных бетонов, в том числе в условиях нагрева до +200 °С : специальность 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Корсун Артём Владимирович. – Макеевка, 2006. – 22 с. – Текст : непосредственный.
  16. Корсун, В. И. Исследование напряженно-деформированного состояния железобетонных оболочек градирен / В. И. Корсун, А. Н. Машенко, Ю. Ю. Калмыков. – Текст : непосредственный // Вестник Донбасской государственной академии строительства и архитектуры. – Выпуск 2001-5(30). – С. 201–205.
  17. Корсун, В. И. Напряженно-деформированное состояние железобетонных конструкций в условиях температурных воздействий / В. И. Корсун. – Макеевка : ДонГАСА, 2003. – 153 с. – Текст : непосредственный.
  18. Корсун, В. И. Учет неоднородности свойств бетона при оценке напряженно-деформированного состояния внецентренно сжатых железобетонных элементов / В. И. Корсун, А. В. Корсун. – Текст : непосредственный // Сборник научных трудов Луганского национального аграрного университета. – 2007. – № 71(94). – С. 87–91.
  19. Семененко, С. Я. Учет влажности бетона при диагностировании марки по водонепроницаемости бетонных конструкций гидротехнических сооружений / С. Я. Семененко, Д. П. Арьков, С. С. Марченко. – Текст : электронный // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 9-1. – С. 81–85. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30061048> (дата обращения: 06.11.2024). – EDN: ZHVMBN.
  20. Тепловизор – ваш новый любимый прибор. – Текст : электронный // Testo : [сайт]. – 2024. – URL: <https://www.testo.ru/ru-RU/pribory/teplovizor> (дата обращения: 01.11.2024).
  21. Фомин, С. Л. Расчет железобетонных конструкций на температурно-влажностные воздействия технологической и климатической среды / С. Л. Фомин. – Киев : УМК ВО, 1992. – 164 с. – Текст : непосредственный.

#### Информация об авторах

**Волков Андрей Сергеевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: исследование прочностных и деформативных свойств конструкций их модифицированного высокопрочного бетона, оценка технического состояния и проектирование железобетонных конструкций.

**Храмогин Александр Андреевич** – ассистент кафедры железобетонных конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: развитие методик определения характеристик напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов при сложных режимах силового и температурного воздействий.

#### Information about the authors

**Volkov Andrei S.** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Reinforced Concrete Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia. Scientific interests: determination of strength and strain properties of modified high strength concrete structures, estimation of technical state and design of reinforced concrete constructions.

**Khramogin Aleksandr A.** – assistant, Reinforced Concrete Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia. Scientific interests: development of methods of estimation of characteristics of the stress-strain state of reinforced concrete elements under complex modes of power and temperature influences.

*Статья поступила в редакцию 30.12.2024; одобрена после рецензирования 17.01.2025; принята к публикации 24.01.2025.*

*The article was submitted 30.12.2024; approved after reviewing 17.01.2025; accepted for publication 24.01.2025.*