



УДК 69.04

DOI: 10.22227/2949-1622.2024.4.55-69

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ/RESEARCH ARTICLE

## Прогнозирование прочности и контроль качества укладки монолитного бетона в конструкциях с несъемной опалубкой

Д.Н. Коротких<sup>1,2</sup>, Д.Е. Капустин<sup>1,2\*</sup><sup>1</sup> Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), Москва, Российская Федерация;<sup>2</sup> Акционерное общество «Институт «Оргэнергострой», Москва, Российская Федерация

\* kde90@bk.ru

**Ключевые слова:** армоопалубочный блок, несъемная опалубка, сталефибробетон, контроль качества, прогнозирование прочности

### История статьи

Поступила в редакцию: 28.10.2024

Доработана: 15.11.2024

Принята к публикации: 17.11.2024

### Для цитирования

Коротких Д.Н., Капустин Д.Е. Прогнозирование прочности и контроль качества укладки монолитного бетона в конструкциях с несъемной опалубкой // Железобетонные конструкции. 2024. Т. 8. № 4. С. 55–69.

**Аннотация.** При возведении ряда сооружений атомных электростанций применяют сборно-монолитную технологию строительства с использованием армоопалубочных блоков, состоящих из арматурного каркаса и несъемной опалубки из сталефибробетона. Использование указанной технологии позволяет снизить время возведения объекта. В то же время возникает ряд проблем, связанных с оценкой прочности и контролем качества уложенного монолитного бетона, находящегося за несъемной опалубкой. Отсутствие прямого доступа к поверхности бетона не позволяет использовать стандартизированные неразрушающие методы оценки прочности. Дефекты монолитного бетона в виде каверн и пустот становятся скрытыми и требуется использование специализированных инструментальных методов. Для выбора оптимальной методики оценки прочности бетона и контроля качества его укладки выполнены экспериментальные исследования фрагмента армоопалубочного блока с уложенным монолитным бетоном. Установлено, что оптимальным способом контроля качества укладки является ультразвуковая томография, позволяющая выявить дефект за несъемной СФБ опалубкой, а также вести контроль параметров армирования. В результате апробации предложено использовать методы прогнозирования прочности бетона на основании температурно-временных зависимостей.

## Prediction of Strength and Quality Control of Monolithic Concrete Laying in Structures with Permanent Formwork

D.N. Korotkih<sup>1,2</sup>, D.E. Kapustin<sup>1,2\*</sup><sup>1</sup> Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow, Russian Federation<sup>2</sup> Joint Stock Company "Institute Orgenergostroy" (JSC OES), Moscow, Russian Federation

\* kde90@bk.ru

**Дмитрий Николаевич Коротких**, доктор технических наук, заместитель руководителя ЦФО «Наука и технологии», Акционерное общество «Институт «Оргэнергострой» (АО ОЭС), 114115, г. Москва, Дербеневская набережная, д. 7, стр. 10; профессор кафедры Строительного материаловедения, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; eLIBRARY SPIN-код: 6391-7829, Scopus: 57205435199, ResearcherID: R-9413-2018, ORCID: 0000-0002-5041-0847, E-mail: Korotkih.dmitry@gmail.com

**Дмитрий Егорович Капустин**, кандидат технических наук, доцент, руководитель ЦК «Технологии строительства», Акционерное общество «Институт «Оргэнергострой» (АО ОЭС), 114115, г. Москва, Дербеневская набережная, д. 7, стр. 10; доцент кафедры Железобетонных и каменных конструкций, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; eLIBRARY SPIN-код: 6645-1159, Scopus: 57204881560, ORCID: 0000-0002-6493-1301, E-mail: kde90@bk.ru

© Коротких Д.Н., Капустин Д.Е., 2024



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**Keywords:** armour formwork block, permanent formwork, steel fiber concrete, quality control, strength prediction

#### Article history

Received: 28.10.2024

Revised: 15.11.2024

Accepted: 17.11.2024

#### For citation

Korotkih D.N., Kapustin D.E. Prediction of Strength and Quality Control of Monolithic Concrete Laying in Structures with Permanent Formwork. *Reinforced Concrete Structures*. 2024; 4(8):55-69.

**Abstract.** When erecting a number of nuclear power plant structures, a precast-monolithic construction technology is used using reinforced formwork blocks consisting of a reinforcing frame and permanent formwork made of steel fiber concrete. The use of this technology allows to reduce the time of construction of the facility. At the same time, a number of problems arise related to the strength assessment and quality control of the laid concrete located behind the permanent formwork. The lack of direct access to the concrete surface does not allow the use of standardized non-destructive strength assessment methods. Defects of mono-lithic concrete in the form of caverns and voids become hidden and the use of specialized instrumental methods is required. To select the optimal method for assessing the strength of concrete and quality control of its laying, experimental studies of a fragment of a reinforced formwork block with laid monolithic concrete were carried out. It was established that the optimal method of quality control of laying is ultrasonic tomography, which allows to detect a defect behind permanent SFRC formwork, as well as to control reinforcement parameters. As a result of testing, it was proposed to use methods of predicting concrete strength based on temperature-time dependencies.

## ВВЕДЕНИЕ

Важной задачей при строительстве атомных электростанций (АЭС) является сокращение сроков возведения энергоблоков, что привело к необходимости развития сборно-монолитной технологии строительства, предусматривающей перенос большего объема строительных работ в заводские условия. Одним из направлений развития данной технологии является применение пространственных армоопалубочных блоков (АОБ), состоящих из арматурного каркаса с листами несъемной сталефибробетонной (СФБ) опалубки [1–3]. Изготовленные в заводских условиях АОБ доставляются на строительную площадку, монтируются в проектное положение и заполняются монолитным бетоном. В результате практически полностью исключают арматурные и опалубочные работы. Помимо снижения производственных трудозатрат на строительной площадке, характерных для сборного строительства [4], получают железобетонную конструкцию с высоким качеством лицевой поверхности, не требующей дополнительной обработки (рис. 1). После укладки в АОБ монолитного бетона и набора им прочности за счет его высокой адгезии к СФБ [2] получают конструкцию с комбинированным армированием, в которой листы опалубки выполняют роль несущего элемента. Для возможности учета СФБ опалубки в работе железобетонной конструкции был разработан и введен в действие ГОСТ Р 59964–2021 «Комбинированные железобетонные конструкции атомных станций с несъемной сталефибробетонной опалубкой. Расчет и конструирование». Успешное применение данной технологии при сооружении первого и второго блоков Курской АЭС-2 подтвердило ее эффективность.

В то же время использование несъемной опалубки сопряжено с проблемами оценки прочности и контроля состояния уложенного монолитного бетона, который находится за СФБ опалубкой. Для сооружений повышенного уровня ответственности, к которым относятся АЭС, данная проблема становится особенно актуальной как на стадии возведения (приемка готовой конструкции), так и на стадии эксплуатации (оценка износа конструкции, периодические обследования, продление остаточного ресурса) [5].

**Dmitry N. Korotkih**, Doctor of Technical Sciences, Deputy Head of the Central Office “Science and Technology”, Joint Stock Company “Institute Orgenergostroy”, 7 Derbenyevskaya naberezhnaya, p. 10, Moscow, 115114, Russian Federation; Professor, Department of Construction Materials Science, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; eLIBRARY SPIN- code: 6391-7829, Scopus: 57205435199, Researcher ID: R-9413-2018, ORCID: 0000-0002-5041-0847, E-mail: Korotkih.dmitry@gmail.com

**Dmitry E. Kapustin**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Competence Center “Construction technologies”, Joint Stock Company “Institute Orgenergostroy”, 7 Derbenyevskaya naberezhnaya, p. 10, Moscow, 115114, Russian Federation; Associate Professor of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU),



Рис. 1. Фрагмент помещения из АОБ

Fig. 1. Building made of reinforcement blocks

При приемке конструкций из монолитного бетона требуется оценка его фактической прочности, которую осуществляют методами неразрушающего контроля. Применение данных методов при наличии несъемной опалубки невозможно, поэтому требуется разработка иных подходов, позволяющих оценивать прочность бетона без прямого доступа к нему. В то же время при несоблюдении технологии ведения работ по укладке монолитного бетона или возникновении внештатных ситуаций (которые для строительного процесса исключить невозможно) высока вероятность образования дефектов в виде пустот, каверн и участков неуплотненного либо расслоившегося бетона. Все дефекты, в случае их возникновения, должны быть выявлены, локализованы и устранены.

При использовании инвентарной опалубки после ее демонтажа можно оценить качество выполненных работ на основании внешнего вида конструкции, так как большинство дефектов отображаются на внешней поверхности. Также доступ к поверхности бетона позволяет выполнить контроль прочности неразрушающими методами с учетом однородности. При использовании несъемной опалубки все дефекты монолитного бетона переходят в разряд «скрытых» и решить проблему можно только частично, усилив требования к операционному контролю технологических параметров. Однако, как показывает практика, данные подходы не всегда принимаются контролирующими государственными органами, и требуется эксперментальное подтверждение прочности бетона и отсутствия в нем дефектов.

Аналогичные проблемы при использовании несъемной опалубки и их решения отмечаются и в зарубежных проектах [6], где как один из способов решения предлагают использовать самоуплотняющиеся бетонные смеси и повысить контроль ведения работ. Однако данное решение не исключает необходимости подтверждения прочности бетона. Прочность неразрушающими методами может быть определена за счет устройства специальных окон в опалубке, которые закрывают инвентарными элементами на стадии бетонирования [7]. При определении прочности бетона методом отбора кернов устройство подобных окон не требуется, но объем последующих ремонтно-восстановительных работ окажется затратным. Прочность бетона является отображением качества укладки бетонной смеси — так при недостаточном уплотнении смеси за счет образования пор в структуре бетона его прочность будет снижаться. При этом наиболее перспективным способом прогнозирования прочности бетона в данном случае является использование температурно-временных зависимостей [8]. При описании температурно-временных зависимостей используют комплексный температурно-

временной параметр, называемый «зрелостью» (Maturity), который оценивают в градусах-часах или в градусах-сутках. Указанный метод лежит в основе ASTM C1074-19 (Методика оценки прочности бетона методом зрелости) и его аналогах и позволяет эффективно контролировать бетон конструкций, укладываемых в несъемной опалубке, когда нет прямого доступа к поверхности для осуществления неразрушающего контроля [9, 10].

Проверку отсутствия дефектов в монолитном бетоне АОБ можно выполнять различными методами, используемыми при обследовании строительных конструкций. Наиболее применимыми в этом случае являются методы дефектоскопии бетона с использованием сейсмических, ультразвуковых и радиоволн.

Наиболее доступным с точки зрения наличия стандартизированных методик и специального оборудования является метод ультразвукового прозвучивания с использованием стандартных приборов по ГОСТ 17624–2012 «Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности». В данном случае, поскольку СФБ несъемной опалубки обладает схожими с монолитным бетоном акустическими характеристиками, можно проводить беспрепятственные измерения [2]. При наличии дефектов либо зон неуплотненного бетона средняя скорость распространения ультразвукового импульса на заданной базе измерения становится ниже средней, что позволяет локализовать зону дефекта. При этом тип дефекта (пустота или неуплотненный бетон) определить невозможно, что потребует проведения контрольного бурения. В то же время применение указанного метода позволяет выполнять контроль прочности бетона по заранее установленной градуировочной зависимости [11]. Основным ограничением в данном случае при толщинах стен более 400 мм является мощность ультразвукового сигнала.

В настоящее время при обследовании широко используется ультразвуковой эхо-метод, основанный на способности отражения волн от границы сред (например, «бетон – воздух»). В Федеральный фонд средств измерения России внесен ряд приборов отечественного и зарубежного производства, реализующих данный метод дефектоскопии [12]. Основным недостатком данного метода являются высокие требования к квалификации оператора, способного распознавать и интерпретировать полученные результаты.

Известны случаи использования для контроля качества бетона буронабивных свай ультразвукового контроля по закладным трубкам [13]. В этом случае в бетонируемую конструкцию устанавливают пустотообразователи в виде труб диаметром около 50 мм. После бетонирования трубы заполняют водой, и в них помещают ультразвуковые преобразователи — источник и приемник. Преобразователи двигаются параллельно и производят измерение времени распространения ультразвукового импульса. В случае наличия дефекта на данной отметке приведенное время распространения ультразвука окажется ниже его среднего значения. После проведения необходимых измерений трубки заполняют бетоном.

В последние годы растет число приборов дефектоскопии бетонов на основе метода радиолокационного зондирования. Приборы, основанные на классическом принципе радиолокации, называются георадарами. В настоящее время в Федеральный фонд средств измерения России внесен ряд георадаров отечественного и зарубежного производства [12]. С помощью георадиолокации можно определять дефекты бетонирования в теле конструкции — как каверны и полости, так и швы бетонирования [14–16]. Точность радиограммы позволяет даже определять параметры армирования. Основным недостатком данного метода, как и при использовании ультразвуковых томографов, являются высокие требования к квалификации оператора [17].

Известны менее распространенные методы контроля качества бетона с применением акустической эмиссии [18] и тепловизионной аппаратуры [19]. Метод акустической эмиссии в большей степени применим при испытании строительных конструкций или мониторинге, поэтому здесь особый интерес вызывает телевизионный метод контроля качества укладки бетона, разработанный для железобетонных конструкций со стальной облицовкой [6]. Суть мето-

да заключается в том, что при наборе прочности монолитным бетоном происходит его разогрев за счет реакции гидратации цемента. В случае наличия каверн и пустот за счет отсутствия тепловыделения будут возникать зоны пониженной температуры, что можно выявить с использованием тепловизионного оборудования на поверхности АОБ.

Следует отметить возможность использования сейсмоакустических методов для контроля прочности бетона и наличия в нем дефектов. Для решения задач, рассматриваемых в настоящей статье, следует выделить метод поверхностной волны [20], основанный на связи скорости волны с акустическими характеристиками материалов конструкций. Причем, если акустические характеристики материалов конструкций переменные по глубине от поверхности или конструкция имеет ограниченную толщину, то скорость поверхностной волны зависит от ее длины. Строя дисперсионные кривые (зависимости скорости волны от ее длины), можно решить обратную задачу и по дисперсионной кривой построить скоростной разрез конструкции, т.е. выявить наличие аномальных участков, характеризующихся наличием дефектов. Как отмечают разработчики (специалисты СПбГАСУ и 23 ГМПИ) [20], данный метод реализуется при одностороннем доступе и, за счет большой длины зондирующей волны, позволяет обследовать конструкции под покрытиями (штукатурка, теплоизоляция). Указанные преимущества являются ключевыми для конструкций АЭС с несъемной СФБ опалубкой, где сложно обеспечить двухсторонний доступ. Однако отсутствие нормативного обеспечения и доступной приборной базы значительно ограничивает возможность реализации указанного метода.

Анализ существующих методов контроля качества укладки монолитного бетона показал, что стандартизированная методика, применимая для конструкций с несъемной СФБ опалубкой, в настоящее время отсутствует. Описанные выше методики, помимо высоких требований к операторам, зачастую требуют применения специализированных приборов. Как правило, в результате измерений удается выявлять дефекты, обладающие значительными размерами. Для уточнения параметров дефекта требуется контрольное вскрытие.

Для оценки применимости методов прогнозирования прочности и контроля качества укладки бетона в конструкции с несъемной СФБ опалубкой были выполнены экспериментальные исследования. Для проведения исследований авторами были выбраны методы ультразвукового сквозного прозвучивания, ультразвуковой томографии и радиолокационного зондирования для поиска дефектов и апробирован метод прогнозирования прочности бетона по температурно-временным зависимостям.

## МЕТОД

Экспериментальные исследования выполняли на фрагментах армоопалубочных блоков стен толщинами 400 и 800 мм, состоящих из двух СФБ листов несъемной опалубки толщиной 30 мм с размерами 400 × 1000 мм, объединенных за счет установки сквозных стяжек диаметром 16 мм (рис. 2). Аналогичные стяжки используются в реальных конструкциях, где после бетонирования выполняют функцию анкерных креплений под оборудование. Армирование фрагментов выполнено арматурными каркасами в виде сеток из стержней диаметром 25 мм с шагом 200 мм, расположенных на расстоянии 25 мм от внутренней грани опалубки.

На основании опыта обследования аналогичных конструкций установлено, что в большинстве случаев возникают дефекты в виде пустот между внутренней гранью опалубки и арматурным каркасом (бетонная смесь зависает на арматурном каркасе) или некачественного устройства горизонтального холодного шва (некачественная подготовка поверхности, остатки строительного мусора, снега). Для имитации дефектов в виде пустот (дефекты Д1...Д4) во фрагменты АОБ до бетонирования были заложены вставки из пенополистирола, которые наклеивались на внутреннюю поверхность опалубки (рис. 3). Дефекты Д1...Д4 имели размеры от 50 до 200 мм. Дефект холодного шва (Д5) в виде пенопластовой пластины толщиной

20 мм установили в процессе бетонирования посередине высоты фрагмента на половину его ширины.



Рис. 2. Фрагменты армопалубочных блоков

Fig. 2. Fragments of formwork blocks

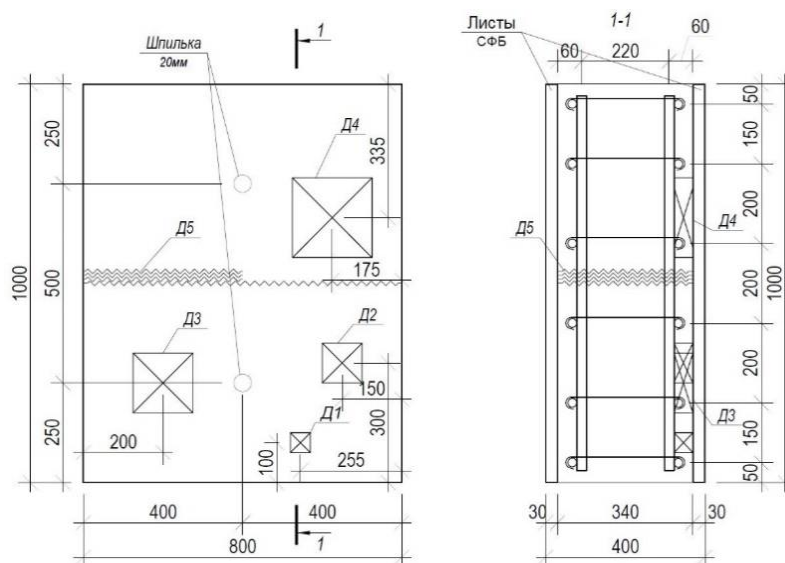


Рис. 3. Схема расположения дефектов:

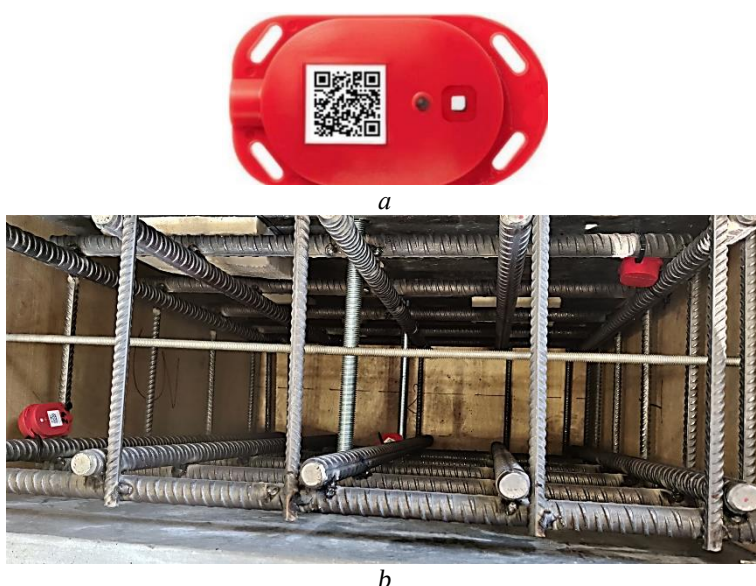
Д1 — 50 × 50 мм; Д2 — 100 × 10 мм; Д3 — 150 × 150 мм; Д4 — 200 × 200 мм; Д5 — дефект холодного шва

Fig. 3. Defect's location scheme:

D1 — 50 × 50 mm; D2 — 100 × 10 mm; D3 — 150 × 150 mm; D4 — 200 × 200 mm; D5 — cold seam defect

Для оценки возможности прогнозирования прочности бетона внутри АОБ по температуре была установлена беспроводная система мониторинга бетона «ConcretON». Система включает в себя ударостойкие и вибростойкие беспроводные датчики температуры и влажности. Показания с датчиков через WiFi передаются на сервер и через специальное приложение, информируют пользователя о наборе прочности бетона и изменениях температуры. Для начала расчетов в приложении были созданы отдельные градуировочные зависимости и выполнена привязка датчиков с указанием даты и времени заливки. На основании данных с датчиков приложение «ConcretON» строит графики актуальных измерений характеристик твердения бетона с заданной частотой (рис. 4). В каждый АОБ было установлено по три датчика для оценки прочности бетона.

Ультразвуковые и радиолокационные измерения проводили непосредственно после укладки в фрагмент бетонной смеси до ее схватывания, затем через сутки, 3, 7, 14 и 28 суток. Проведение измерений в разном возрасте позволяет оценить влияние акустических характеристик бетона на результаты измерений.



**Рис. 4.** Беспроводные датчики влажности и температуры:  
*a* — общий вид датчика; *b* — раскрепление датчиков на арматурный каркас

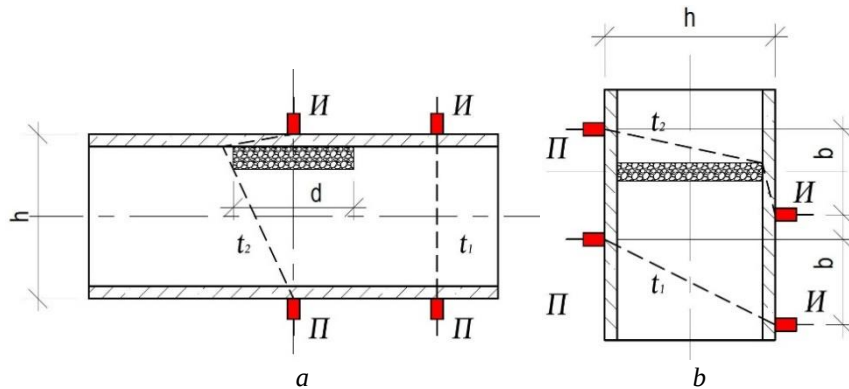
**Fig. 4.** Wireless humidity and temperature sensors:  
*a* — general view of the sensor; *b* — fastening sensors to the reinforcement frame

Ультразвуковые измерения методом сквозного прозвучивания выполняли с использованием прибора Бетон-70 (частота импульса 60 Гц). Данный прибор был выбран, так как имеет большую мощность сигнала по сравнению с аналогичными приборами. Для возможности измерений на лицевую поверхность СФБ опалубки нанесли координатную сетку с шагом  $100 \times 100$  мм (см. рис. 2). При испытаниях ультразвуковые преобразователи устанавливали по координатной сетке строго друг напротив друга на противоположных сторонах фрагмента. В зоне расположения холодного шва ультразвуковые преобразователи устанавливали со смещением относительно друг друга таким образом, чтобы база измерения проходила через дефект холодного шва. Для оценки акустических характеристик монолитного бетона были изготовлены образцы кубы с ребром 100 мм.

Принципиальная схема поиска дефектов при сквозном ультразвуковом прозвучивании представлена на рис. 5. Если на пути распространения ультразвука расположен участок с отличными акустическими характеристиками, то сигнал будет двигаться по огибающей траектории. В этом случае приведенное время прохождения ультразвука  $t_2$  будет выше получаемого при отсутствии дефекта  $t_1$ . Приведенное время будет складываться из времени прохождения сигнала через СФБ опалубку (скорость ультразвука в СФБ составляет около 4700 м/с) и через монолитный бетон. При нахождении на пути УЗК полости сигнал будет распространяться по огибающей траектории. В этом случае, за счет увеличения длины пути, приведенное время  $t_2$  возрастает. С учетом коэффициента вариации прочности бетона (13,5 %) можно принять, что для идентификации дефекта время распространения ультразвука при наличии дефекта  $t_2$  должно быть выше времени  $t_1$  на 20 %.

Для радиолокационных исследований был использован ультразвуковой томограф Proseq Pundit PD8050 (диапазон рабочих частот от 40 до 50 кГц), который имеет 2 функции измерения — при горизонтальном (line scan) и вертикальном (Full 3D matrix) перемещении прибора. При этом последняя функция дает возможность получения по результатам измерений трехмерной картины. Прибор первоначально калибруется для определения базовой скорости импульса в сканируемом материале. Определение базовой скорости выполняют на участке без дефектов, подбирая скорость ультразвукового импульса таким образом, чтобы показания прибора по толщине армоопалубочного блока соответствовали фактическим характеристикам бетона. За-

тем на исследуемую поверхность наносят разметку. Разметка выполнялась с шагом 5 и 10 см, соответственно, для горизонтального и вертикального перемещения прибора, что обеспечивало нахлест соседних сканов. Выбранные параметры устанавливаются в настройки прибора. Обработка полученных данных выполняется непосредственно при измерении за счет использования программного обеспечения Pundit Live с выдачей результирующей томограммы.



**Рис. 5.** Схема распространения ультразвука:

$a$  — сквозное прозвучивание;  $b$  — наклонное прозвучивание

( $h$  — толщина фрагмента; И — источник ультразвука; П — приемник ультразвука;  $d$  — размер дефекта)

**Fig. 5.** Ultrasound propagation scheme:

$a$  — through thickness measurement;  $b$  — measurement with sensor offset

( $h$  — thickness of the fragment; И is the ultrasound transmitter; П is the ultrasound receiver;  $d$  is the size of the defect)

Для георадиолокационного зондирования был использован георадар Proceq GP8000 с рабочей частотой сигнала 0,2...4,0 ГГц. Метод георадиолокационного зондирования основан на возбуждении на поверхности и приеме электромагнитных волн (также называемых зондирующим сигналом), отразившихся от границ раздела сред, контрастных по электрофизическим свойствам. Необходимой величиной для определения расстояния до объекта является значение скорости распространения электромагнитных волн, которая зависит от диэлектрической проницаемости среды (для бетона принята 5,5 [16]). В процессе измерения, по аналогии с ультразвуковым томографом, получают радарограмму, позволяющую оперативно анализировать полученную информацию.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Мониторинг температур по контрольным точкам проводился круглосуточно с частотой опроса датчиков 4 измерения в час. Градуировочная зависимость «Зрелость – прочность бетона» была установлена заранее в лабораторных условиях для конкретного состава бетонной смеси и загружена в программное обеспечение Concretom. В результате оператор в режиме реального времени производил отслеживание контрольных параметров (рис. 6). Прогнозируемую по температурно-временным зависимостям прочность бетона сравнивали с фактической прочностью, полученной по результатам испытаний образцов кубов, хранящихся в тех же условиях, что и забетонированные конструкции, в возрасте 1, 7, 14 и 28 суток. В результате получили хорошую сходимость результатов — разброс не более 5 %.

В результате эксперимента продемонстрировали работоспособность системы измерения температуры, а также подтвердили состоятельность метода прогнозирования прочности бетона по температурно-временным зависимостям [9, 10]. Данный метод в сочетании с контролем температур для оценки термонапряженного состояния (обязательное требование при бетонировании массивных конструкций) не имеет альтернатив для конструкций с несъемной опалубкой. Для обеспечения контроля однородности прочности бетона, как того требует ГОСТ 18105–2018 (Бетоны. Правила контроля и оценки прочности), следует назначать количество точек измере-

ния температуры, соответствующее указанному ГОСТ по количеству точек контроля исходя из объема или площади захватки.

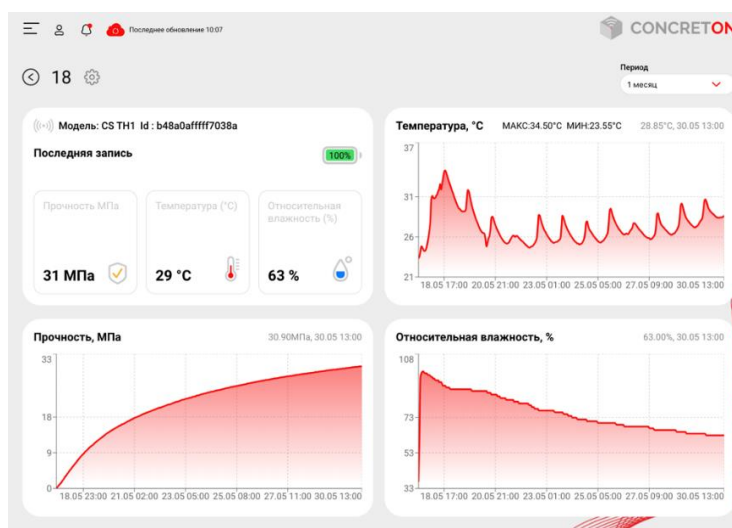


Рис. 6. Результаты измерения по одному из датчиков

Fig. 6. Measurement results for one of the sensors

Первые измерения скорости прохождения ультразвукового контроля (УЗК) были выполнены сразу после укладки бетонной смеси. В исследуемых сечениях не удалось получить стабильных показателей. С учетом того, что при приближении к стальным шпилькам или торцам АОБ, где располагалась опалубка из ламинированной фанеры, время распространения УЗК уменьшалось, можно сделать вывод о том, что сигнал проходит по огибающей (СФБ – шпилька – СФБ или СФБ – ламинированная фанера – СФБ). Следующее измерение проводили через 1 сутки после бетонирования. При этом предварительно определили скорость ультразвука в монолитном бетоне по контрольным образцам кубам и призмам.

Установлено, что фактическая скорость ультразвука в бетоне возрастает с 3450 м/с в возрасте 1 сутки до 4300 м/с в возрасте 28 суток. Скорость УЗК в СФБ составляла 4700 м/с. При проведении измерений через сутки после укладки монолитного бетона удалось получить стабильные показания по времени распространения ультразвука. Также было отмечено значительное сокращение времени распространения ультразвука вблизи шпилек. В процессе измерения было выявлено локальное отслоение листа СФБ опалубки от монолитного бетона, преимущественно в верхней части фрагмента.

По результатам измерения были построены диаграммы в виде поверхностей изоспид-участков с равным диапазоном скорости ультразвука (рис. 7 и 8). Для исследуемых толщин фрагментов можно отметить, что на первые сутки измерения на полученные значения приведенной скорости значительно влияет расположение сквозных стяжек. При проведении измерений вблизи стяжек получены завышенные, по сравнению со средними, показатели. Аналогичная картина, но в меньшей степени, сохраняется и в более зрелом возрасте бетона. По результатам ультразвуковых измерений сложно локализовать дефекты выбранного диапазона размеров 50...200 мм. При этом отлично локализуется частичное отслоение СФБ от монолитного бетона по контуру блока. Полученные результаты можно объяснить тем, что для эффективного поиска дефекта его размер должен в 3–4 раза превышать длину волны ультразвукового импульса. В противном случае сигнал будет огибать инородное включение, не влияя на измеряемое время. То есть для поиска дефекта в бетоне его размер должен быть не менее 210 мм.

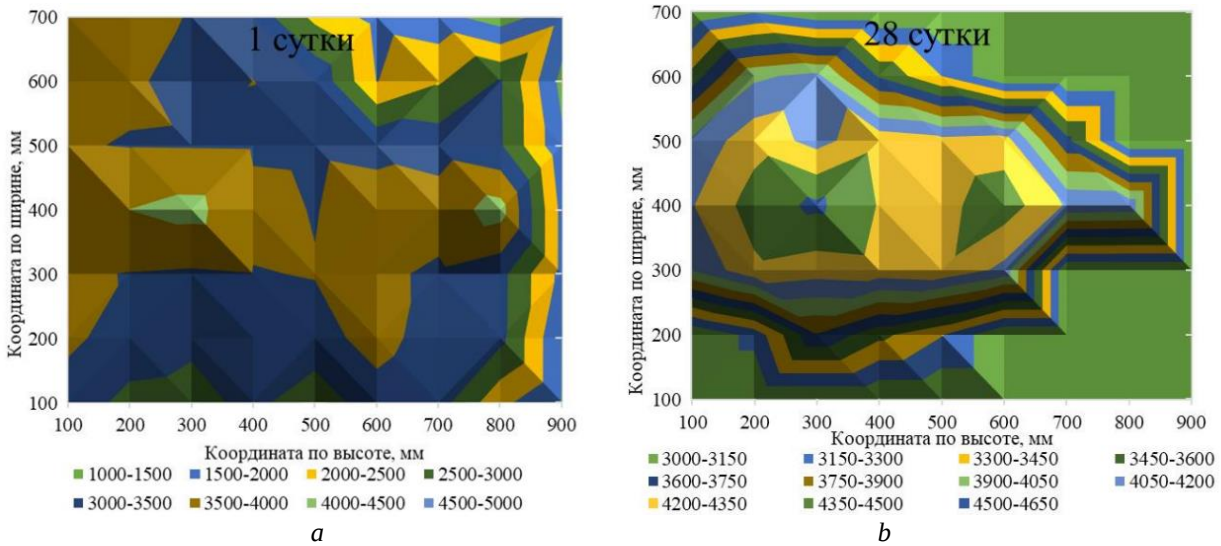


Рис. 7. Изоспиды ультразвука в АОБ толщиной 400 мм в возрасте: а — 1 сутки; б — 28 суток

Fig. 7. Ultrasound isopids in 400 mm thick blocks aged: a — 1 day; b — 28 days

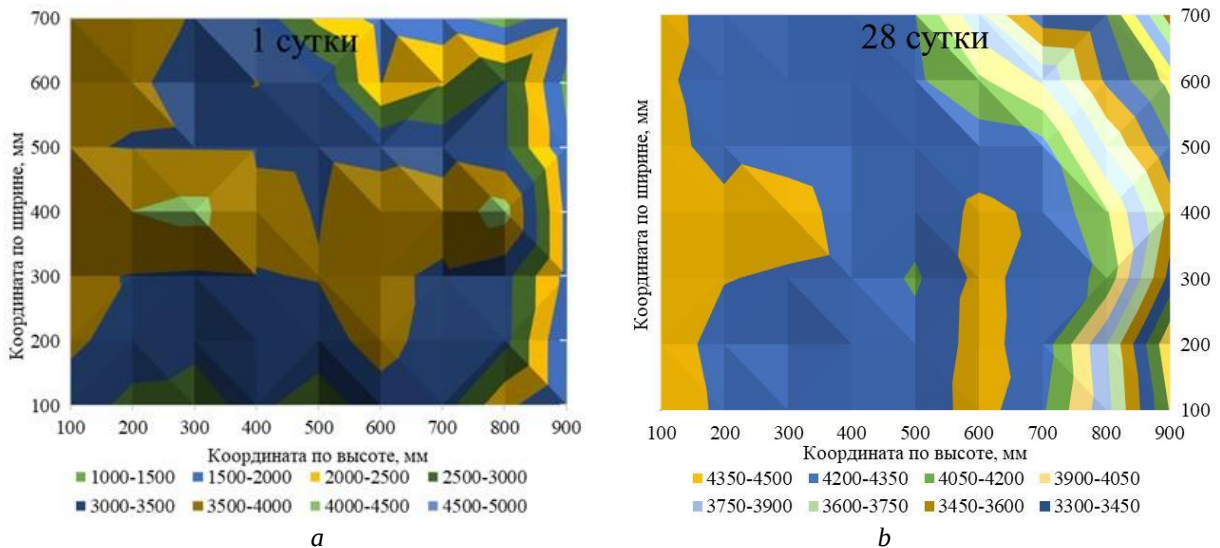


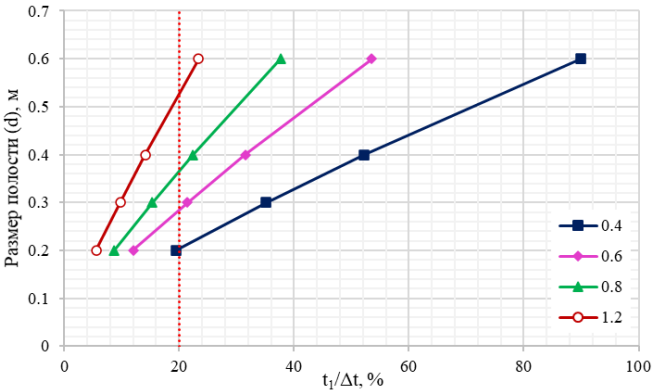
Рис. 8. Изоспиды ультразвука в АОБ толщиной 800 мм в возрасте: а — 1 сутки; б — 28 суток

Fig. 8. Ultrasound isopids in 800 mm thick blocks aged: a — 1 day; b — 28 days

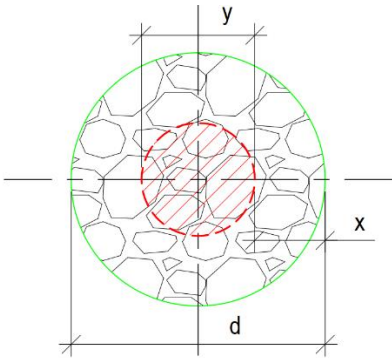
Выполним оценку влияния размера полости на расчетное приращение времени распространения УЗК для АОБ стен различной толщины. Как указывалось ранее, для идентификации наличия дефекта время движения УЗК через дефект  $t_2$  должно быть выше среднего времени  $t_1$  на 20 % (рис. 3). Построим диаграммы зависимости относительного времени УЗК от размера полости для различных толщин АОБ (рис. 9). В результате получаем, что для АОБ минимальный размер дефекта, который можно выявить: 0,2, 0,28, 0,36 и 0,54 м для стен толщинами 0,4, 0,6, 0,8 и 1,2 м соответственно. Данное условие выполняется при расположении преобразователей точно в центре полости.

Соответственно, полость может быть при расположении преобразователя на расстоянии от края полости 0,1, 0,14, 0,18 и 0,27 м для стен толщинами 0,4, 0,6, 0,8 и 1,2 м соответственно. Вероятность выявления полости в зависимости от размера шага прозвучивания можно оценить геометрически. Круг попадания ограничен окружностью, установка датчиков внутри которой покажет снижение относительной скорости УЗ более критической величины в 20 % (рис. 10). Цель — попасть в круг с нужной вероятностью. Диаметр круга  $u$  зависит от диаметра полости  $d$ . Здесь  $x$  является минимальным краевым расстоянием. При шаге установки датчиков, равном

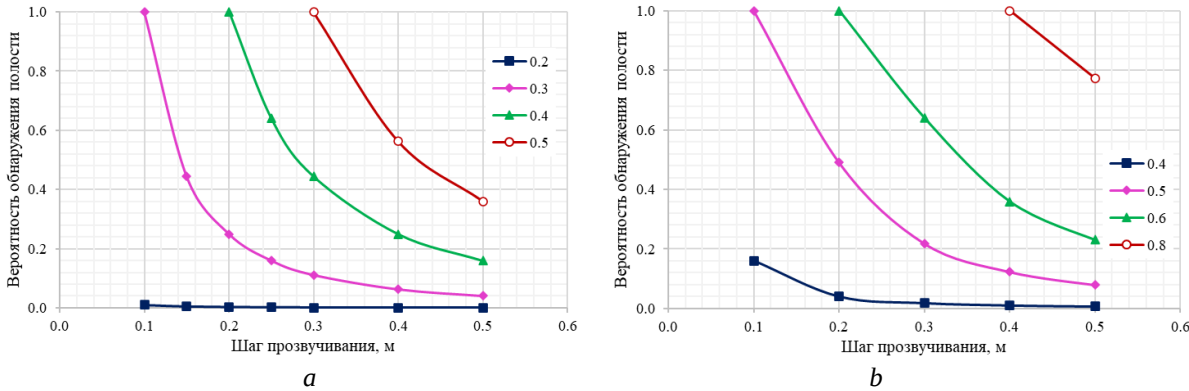
и меньшем диаметра попадания, вероятность 1. При большем шаге вероятность можно оценить как отношение квадрата диаметра круга попадания и квадрата шага установки преобразователей при прозвучивании. Результаты оценки вероятности обнаружения полости представлены на рис. 11. По диаграммам видно, что, например, для блока толщиной 400 мм (рис. 11, а) полость диаметром 200 мм, даже при шаге перестановки преобразователей 100 мм, найти практически невозможно. Полость диаметром 300 мм можно 100 % обнаружить в случае, если шаг перестановки преобразователей составит 100 мм. И так далее по указанным диаграммам.



**Рис. 9.** Зависимость относительного времени УЗК от размера полости для различных толщин АОБ  
**Fig. 9.** Dependence of the relative time of ultrasonic testing on the cavity size for different block thicknesses



**Рис. 10.** Зона расположения преобразователей при поиске полости:  
у — диаметр зоны установки датчика; d — диаметр полости; x — минимальное краевое расстояние  
**Fig. 10.** The area of the transducer location when searching for a cavity:  
y — diameter of the sensor installation zone; d — diameter of the cavity; x — minimum edge distance

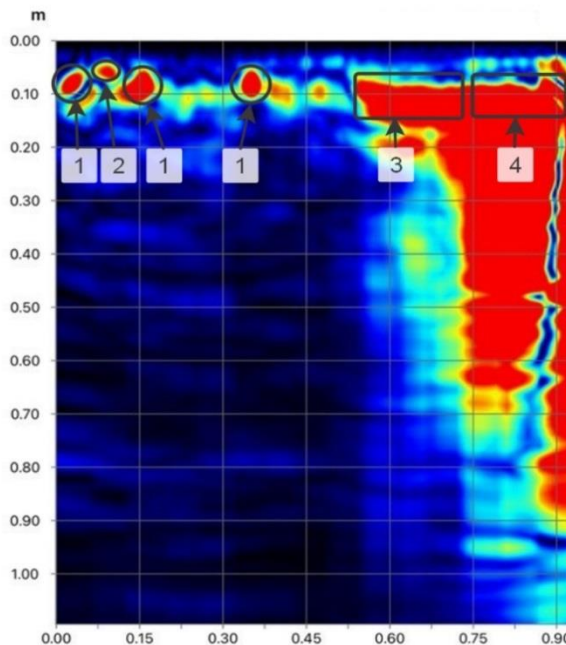


**Рис. 11.** Оценка вероятности обнаружения полости для АОБ толщиной: а — 400 мм; b — 800 мм  
**Fig. 11.** Estimation of the probability of detecting a cavity for a block of thickness: a — 400 mm; b — 800 mm

Для исследуемых конструкций была выполнена попытка обнаружения дефекта холодного шва (Д5 по рис. 3). Прозвучивание осуществляли со смещением преобразователей (см. рис. 5, b) на 200 и 300 мм, однако выявить существенного отличия от среднего времени прохождения сигнала для толщин 400 и 800 мм не удалось. Выполнив анализ пути движения ультразвукового сигнала при прохождении через холодный шов внутри фрагментов, пришли к выводу, что сигнал огибает дефект по СФБ, где скорость сигнала выше, чем в бетоне. В результате с ростом разбежки расположения преобразователей за счет опережения сигнала, двигающегося по СФБ опалубке, приращение времени сокращается. Соответственно метод сквозного прозвучивания со смещением преобразователей не является эффективным при оценке качества устройства холодного шва при бетонировании фрагментов с несъемной СФБ опалубкой.

По результатам измерений ультразвуковым томографом Proseq Pundit PD8050 непосредственно сразу после бетонирования установить наличие дефектов не удалось, что может быть связано с низкой скоростью распространения ультразвука в свежееуложенном бетоне. В результате этого ультразвуковой сигнал отражался на границе сред СФБ – бетон, и томограмма отображала только СФБ опалубку по всем зонам измерения.

По результатам исследований при возрасте монолитного бетона 1 сутки по полученной томограмме удалось определить участки отслоения СФБ опалубки и дефекты Д2...Д4, а также расположение арматурных стержней. Дефект размером  $50 \times 50$  мм (Д1) и дефект, моделирующий холодный шов бетонирования (Д5), не были обнаружены. При проведении измерений в возрасте более 3-х суток, когда скорость ультразвука в монолитном бетоне была выше 4000 м/с, помимо ранее выявленных дефектов удалось определить дефекты Д1 и Д5. Общий вид томограммы с отображением дефектов представлен на рис. 12. Как и предполагалось, за счет того, что СФБ имеет схожие акустические характеристики с монолитным бетоном, удастся проводить ультразвуковые измерения с выявлением дефектов и параметров армирования.



**Рис. 12.** Томограмма ультразвукового сканирования: 1 — арматурный стержень; 2 — дефект размером 5 см; 3 — участок расположения дефекта размером 20 см; 4 — участок отслоения опалубки)

**Fig. 12.** Ultrasound scans: 1 — reinforcing bar; 2 — a defect of 5 cm in size; 3 — a defect of 20 cm in size; 4 — a section of formwork detachment)

Результаты георадиолокационных исследований в виде профиля радиограммы представлены на рис. 13. Отмечено, что СФБ опалубка частично рассеивает сигнал прибора. Проецирование мест расположения дефектов на полученные радиограммы не позволяет их локализовать. В результате того, что СФБ имеет отличную от монолитного бетона диэлектрическую проницаемость, проводить измерения георадиолокационным оборудованием неэффективно. При проведении измерений на поверхности СФБ опалубки радиограмма представляет собой горизонтальные полосы, характеризующие границы сред. При этом ни дефекты, ни арматурные стержни диаметром 25 мм, расположенные за опалубкой, на полученной радиограмме не отображаются.

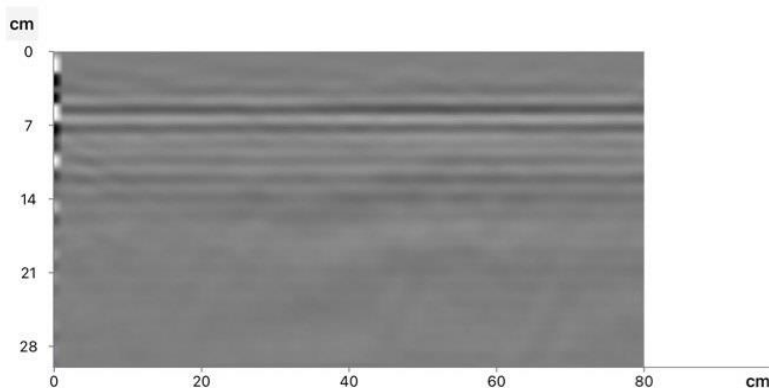


Рис. 13. Результаты радиолокационного исследования

Fig. 13. Results of GPR measurements

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате литературного обзора и экспериментальных исследований установлена эффективность методики прогнозирования прочности бетона по температурно-временным зависимостям. Данный метод следует рекомендовать при использовании несъемной опалубки как безальтернативный и позволяющий получать результаты прочности с высокой степенью достоверности. При использовании данного метода количество точек контроля температуры, а следовательно, и прочности должно соответствовать ГОСТ 10180–2018.

Установлено, что с увеличением толщины АОБ увеличивается размер полости, который можно обнаружить с использованием ультразвукового прозвучивания. При этом оценка вероятности обнаружения полости также зависит от шага перестановки преобразователей. Показано, что данный метод применим при поиске дефектов в виде пустот диаметром более 300 мм для конструкций стен толщиной 400 мм и 500 мм для стен толщиной 800 мм. Также установлено, что метод наклонного прозвучивания для поиска дефектов холодных швов при наличии несъемной СФБ опалубки с двух сторон является неэффективным, так как при прозвучивании импульс проходит по огибающей через СФБ, где, за счет высокой скорости ультразвука, получаем завышенное значение приведенной скорости.

Использование георадара за счет экранирующих свойств СФБ опалубки не позволяет выявить дефекты. При измерении в некоторых местах заложения дефектов были обнаружены аномалии, которые сложно идентифицировать, так как они не совпадали с геометрическими размерами дефекта. При анализе профиля сканирования установлено, что стальная фибра в СФБ опалубке вносит помехи в показания георадара.

Метод ультразвуковой томографии, в отличие от метода георадиолокационного зондирования, нечувствителен к наличию сталефибробетонной опалубки, содержащей 3 % по объему стальных волокон. Ультразвуковая томография рекомендована к применению при возрасте монолитного бетона более трех суток. Указанный метод позволяет гарантированно определить и локализовать дефекты с характерным размером более 100 мм, дефекты холодного шва бетонирования, а также определять параметры армирования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дорф В.А., Красновский Р.О., Капустин Д.Е. На пути к реализации технологии возведения зданий и сооружений АЭС из армоблоков с несъемной сталефибробетонной опалубкой // Строительство в атомной отрасли. 2020. № 1. С. 47–54.
2. Капустин Д.Е. Прочностные и деформационные характеристики несъемной сталефибробетонной опалубки как несущего элемента железобетонных конструкций : дис. канд. техн. наук. М., 2015. 211 с.
3. Kapustin D., Krasnovsky R., Kiliani L. Stress-strain behavior (SSB) of steel fiber concrete // American Concrete Institute, ACI Special Publication. M., 2018. Vol. 326.
4. Трекин Н.Н., Кодыш Э.Н., Терехов И.А. Совершенствование нормативной базы стандартизации сборных железобетонных конструкций // Железобетонные конструкции. 2023. № 1 (1). С. 64–71.
5. Тамразян А.Г. Концептуальные подходы к оценке живучести строительных конструкций, зданий и сооружений // Железобетонные конструкции. 2023. № 3 (3). С. 62–74. DOI: 10.22227/2949-1622.2023.3.62-74
6. AP1000 Design Control Document (rev. 18). Tier 2 Chapter 3. Design of Structures, Components, Equip. & Systems — Section 3.8 Design of Category I Structures // Официальный интернет-портал «Nuclear Regulatory Commission» (NRC). USA. 206 p. URL: <https://www.nrc.gov/docs/ML1034/ML103480517.pdf>
7. Мочко А., Мочко М., Андреев В.И. Проверка качества бетона в существующих конструкциях. Технологии европейских стандартов // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. № 8. С. 967–975. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.8.967-975
8. Коротких Д.Н., Дорф В.А., Капустин Д.Е. Оценка прочности монолитного бетона по температурно-временным зависимостям // Инженерный вестник Дона. 2024. № 11.
9. Utegov Y., Aniskin A., Tulebekova A., Aldungarova L. и др. Complex maturity method for estimating the concrete strength based on curing temperature and relative humidity // Applied Sciences. 2021. No. 11. P. 7712. DOI: 10.3390/app11167712
10. Schindler A.K. Effect of temperature on hydration of cementitious materials // ACI Materials Journal. 2004. Vol. 101. No. 1. Pp. 72–81.
11. Дудина И.В., Тамразян А.Г. Обеспечение качества сборных железобетонных конструкций на стадии изготовления // Жилищное строительство. 2001. № 3. С. 8–10.
12. Пивоваров В.А. Метрологическое обеспечение дефектоскопии бетона // Альманах современной метрологии. 2022. № 4 (32). С. 59–67.
13. Zhussupbekov, Iwasaki Y., Eun Chul Shin, Shakirova N. Control and Quality of Piles by Non-Destructive Express Methods: Low Strain Method and Cross-Hole Sonic Logging // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2019. Vol. 15. No. 1. Pp. 171–180. DOI: 10.22337/2587-9618-2018-15-1-171-180
14. Зеркаль Е.О., Калашиников А.Ю., Лапишинов А.Е., Тютюнков А.И. Выявление внутренних дефектов бетонирования в теле монолитной фундаментной плиты по данным георадиолокационного обследования // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. № 7. С. 980–987. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.7.980-987
15. Wendrich A., Trela C., Krause M., Maierhofer C., Effner U., Wöstmann J. Location of Voids in Masonry Structures by Using Radar and Ultrasonic Traveltime Tomography // ECNDT. 2006. Tu. 3.2.5. 11 p.
16. Капустин В.В., Хмельницкий А.Ю., Бакайкин Д.В. О возможности использования неоднородных электромагнитных волн для исследования фундаментных конструкций // Вестник Московского университета. Серия 4: геология. 2011. № 4. С. 52–55.
17. Shuvalov A.N., Lapshinov A.E., Zheletdinov R.R., Zerkal' E.O. Comparison of ultrasonic and GPR methods for investigation of reinforced concrete columns // BIO Web Conf. 2024. Vol. 107. DOI: 10.1051/bioconf/202410706016
18. Сагайдак А.И. Стандарт на метод акустико-эмиссионного контроля бетонных и железобетонных изделий и монолитных конструкций // Бетон и железобетон. 2021. № 3 (605). С. 19–24.
19. Арленинов П.Д., Крылов С.Б., Калмакова П.С. Система контроля сплошности бетона сталежелезобетонных конструкций на основе тепловизионного метода // Academia. Архитектура и строительство. 2024. № 2. С. 150–156. DOI: 10.22337/2077-9038-2024-2-150-156
20. Савин С.Н., Попов В.М., Пухаренко Ю.В., Морозов В.И. Сейсмаакустические методы интегральной оценки физико-механических характеристик строительных конструкций зданий и сооружений // Вестник евразийской науки. 2023. Т. 15. № 6. URL: <https://esj.today/PDF/09SAVN623.pdf>

## REFERENCES

1. Dorf V.A., Krasnovsky R.O., Kapustin D.E. Towards the implementation of the technology for the construction of buildings and structures of nuclear power plants from reinforced concrete blocks with permanent steel-fiber concrete formwork. *Construction in the nuclear industry*. 2020; 1:47-54. (in Russian).
2. Kapustin D.E. *Strength and deformation characteristics of permanent steel-fiber concrete formwork as a load-bearing element of reinforced concrete structures : dissertation*. Moscow, 2015. (in Russian).
3. Kapustin D., Krasnovsky R., Kiliani L. Stress-strain behavior (SSB) of steel fiber concrete. *American Concrete Institute. ACI Special Publication*. Moscow, 2018; 326.
4. Trekin N.N., Kodysh E.N., Terekhov I.A. Improving the Regulatory Framework for the Standardization of Precast Concrete Structures. *Reinforced concrete structures*. 2023; 1(1):64-71. (in Russian).
5. Tamrazyan A.G. Conceptual Approaches to Robustness Assessment of Building Structures, Buildings and Facilities. *Reinforced concrete structures*. 2023; 3(3):62-74. DOI: 10.22227/2949-1622.2023.3.62-74 (in Russian).
6. AP1000 Design Control Document (rev. 18). Tier 2 Chapter 3. Design of Structures, Components, Equip. & Systems — Section 3.8 Design of Category I Structures. *Nuclear Regulatory Commission (NRC)*. USA. URL: <https://www.nrc.gov/docs/ML1034/ML103480517.pdf>
7. Mochko A., Mochko M., Andreev V.I. Checking the quality of concrete in existing structures. Technologies of European standards. *Vestnik MGSU*. 2019; 14(8):967-975. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.8.967-975 (in Russian).
8. Korotkikh D.N., Dorf V.A., Kapustin D.E. Evaluation of the strength of monolithic concrete by temperature-time dependencies. *Engineering Bulletin of the Don*. 2024; 11 (in Russian)
9. Utegov Y., Aniskin A., Tulebekova A., Aldungarova L. et al. Complex maturity method for estimating the concrete strength based on curing temperature and relative humidity. *Applied Sciences*. 2021; 11:7712. DOI: 10.3390/app11167712
10. Schindler A.K. Effect of temperature on hydration of cementitious materials. *ACI Materials Journal*. 2004; 101:1.
11. Dudina I.V., Tamrazyan A.G. Ensuring the quality of precast reinforced concrete structures at the manufacturing stage. *Housing construction*. 2001; 3:8-10. (in Russian).
12. Pivovarov V.A. Metrological support for concrete flaw detection. *Almanac of modern metrology*. 2022; 4(32):59-67 (in Russian).
13. Zhussupbekov, Iwasaki Y., Eun Chul Shin, Shakirova N. Control and Quality of Piles by Non-Destructive Express Methods: Low Strain Method and Cross-Hole Sonic Logging. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2019; 15(1):171-180. DOI: 10.22337/2587-9618-2018-15-1-171-180
14. Zerkal E.O., Kalashnikov A.Yu., Lapshinov A.E., Tyutyunkov A.I. Identification of internal defects of concreting in the body of a monolithic foundation slab according to ground-penetrating radar survey data. *Vestnik MGSU*. 2020; 15(7):980-987. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.7.980-987 (in Russian).
15. Wendrich A., Trela C., Krause M., Maierhofer C., Effner U., Wöstmann J. Location of Voids in Masonry Structures by Using Radar and Ultrasonic Traveltime Tomography. *ECNDT*. 2006; Tu.3.2.5:11.
16. Kapustin V.V., Khmel'nitsky A.Yu., Bakaikin D.V. On the possibility of using inhomogeneous electromagnetic waves for studying foundation structures. *Bulletin of Moscow University. Series 4: Geology*. 2011; 4:52-55 (in Russian).
17. Shuvalov A.N., Lapshinov A.E., Zheletdinov R.R., Zerkal' E.O. Comparison of ultrasonic and GPR methods for investigation of reinforced concrete columns. *BIO Web Conf*. 2024; 107. DOI: 10.1051/bioconf/202410706016
18. Sagaydak A.I. Standard for the method of acoustic emission testing of concrete and reinforced concrete products and monolithic structures. *Concrete and reinforced concrete*. 2021; 3(605):19-24 (in Russian).
19. Arleninov P.D., Krylov S.B., Kalmakova P.S. System for monitoring the continuity of concrete in steel-reinforced concrete structures based on the thermal imaging method. *Academia. Architecture and Construction*. 2024; 2:150-156. DOI: 10.22337/2077-9038-2024-2-150-156 (in Russian).
20. Savin S.N., Popov V.M., Pukharensky Yu.V., Morozov V.I. Seismoacoustic methods for integrated assessment of physical and mechanical characteristics of building structures of buildings and structures. *Bulletin of Eurasian Science*. 2023; 15:6. URL: <https://esj.today/PDF/09SAVN623.pdf> (in Russian).

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

В журнале «Железобетонные конструкции» публикуются оригинальные, ранее не опубликованные статьи, содержащие полученные авторами новые научные результаты, представляющие международный интерес. Статьи публикуются для широкой международной читательской аудитории.

Статьи принимаются по следующим тематикам:

- Обоснование, исследование и разработка новых типов несущих и ограждающих железобетонных конструкций.
- Обоснование, разработка и оптимизация конструктивных решений зданий и сооружений с учетом протекающих в них процессов, природно-климатических условий, экономической и конструкционной безопасности на основе математического моделирования с использованием автоматизированных средств исследований и проектирования.
- Создание и развитие эффективных методов расчета и экспериментальных исследований вновь возводимых, восстанавливаемых и усиливаемых строительных конструкций, наиболее полно учитывающих специфику воздействий на них, свойства материалов, специфику конструктивных решений и другие особенности.
- Разработка и совершенствование методов и систем контроля качества строительных конструкций зданий и сооружений в период их строительства, эксплуатации, усиления и восстановления.
- Методы оценки, мониторинга и диагностики технического состояния, усиление и восстановление конструкций и элементов эксплуатируемых зданий и сооружений.
- Оптимальное проектирование железобетонных конструкций.
- Исследование конструктивной безопасности и живучести строительных систем при проектных и запроектных воздействиях.
- Разработка методов расчета железобетонных конструкций при различных силовых и средовых воздействиях, прогнозирование сроков их службы.
- Снижение рисков и обеспечение надежности и конструктивной безопасности зданий и сооружений при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера (огневых, различных динамических, аварийных ударных) и запроектных воздействиях.
- Развитие теории расчета железобетонных конструкций.
- Сейсмостойкость зданий и сооружений.
- Компьютерное моделирование в строительстве.

К рассмотрению принимаются статьи со структурой, соответствующей международному стандарту **IMRAD**.

1. **Введение (Introduction).** Раздел, который начинается с описания объекта исследования, затем формулируется актуальность исследования. Приводится обзор мировой литературы, подтверждающий отсутствие в литературных источниках решения данной задачи и указывающий предшественников, на исследованиях которых базируется работа. Формулируется постановка цели исследования, вытекающая из результатов обзора литературы и содержащая перечень намеченных к решению задач.

2. **Метод (Methods).** В данном разделе подробно описывается выбранный метод исследования. Метод должен быть описан таким образом, чтобы другой исследователь был способен его воспроизвести.

3. **Результаты и обсуждение (Results and Discussion).** Результаты рекомендуется представлять преимущественно в виде таблиц, графиков и других иллюстраций. Этот раздел включает анализ полученных результатов, их интерпретацию, сравнение с результатами других авторов.

4. **Заключение (Conclusions),** в котором кратко подводятся итоги научного исследования. Заключение содержит нумерованные выводы, кратко формулирующие основные научные результаты статьи как установленные авторами зависимости (связи) между параметрами объекта исследования. Выводы должны логически соответствовать поставленным в начале статьи задачам.

5. **Благодарности (Acknowledgement).** Данный раздел не является обязательным, в нем выражается благодарность за финансовую, информационную и другую поддержку, оказанную в ходе написания статьи.

Представительный список литературы к обзору состояния исследований в мировой научной литературе по рассматриваемой в статье проблеме (раздел **Введение**) характеризует актуальность и качественный уровень проведенных автором исследований. Данные рекомендации составлены согласно общемировым тенденциям и способствуют большей открытости научных публикаций, а также улучшают показатели статей и их авторов в базах данных.

Рекомендации по полноте и представительности:

1. **Объем.** В список литературы рекомендуется включать ссылки на научные статьи, монографии, сборники статей, сборники конференций, электронные ресурсы с указанием даты обращения, патенты. Рекомендуемый объем списка литературы — 20–40 источников, не считая труднодоступных и нормативных источников, а также ссылок на интернет-ресурсы, не являющиеся научными периодическими изданиями. Под труднодоступными источниками понимаются отчеты, альбомы типовых решений и другие подобные источники, отсутствующие в

каталогах ведущих российских библиотек-депозитариев (ГПНТБ, РНБ, РГБ). Под нормативными источниками понимаются законы, ГОСТы, СНиПы, СП, а также их иностранные аналоги. Под интернет-ресурсами понимаются сайты в сети Интернет, публикующие информацию без осуществления научного рецензирования. Труднодоступные и нормативные источники рекомендуется упоминать в тексте статьи. Настоятельно не рекомендуем включать в список литературы ссылки на диссертации, авторефераты диссертаций, учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций и другую учебную литературу.

2. Актуальность. Для представительного обзора литературы необходимо, чтобы источники были актуальными. Рекомендуем иметь в списке литературы не менее 8 публикаций, опубликованных за последние 10 лет, 5 из них — не старше 3 лет.

3. География. Согласно требованиям журнала, обзор литературы должен подтверждать отсутствие решения поставленной цели в мировой литературе, в связи с чем рекомендуем иметь в списке литературы не только российские, но и иностранные публикации. Рекомендуемый объем — не менее половины от общего числа источников в списке литературы. Под иностранными источниками понимаются публикации, опубликованные в иностранном журнале (не российском). Язык публикации в данном случае не имеет значения.

4. Уровень публикаций. Рекомендуется, чтобы не менее 6 из иностранных и не менее 6 из российских источников были включены в один из ведущих индексов цитирования:

- Web of Science;
- Scopus;
- Российский индекс научного цитирования.

5. Самоцитирование. В рамках ограничения самоцитирования **не рекомендуется включать более 5 источников, автором или соавтором которых являются авторы статьи.**

Цитируемая литература приводится общим списком в конце статьи в порядке упоминания источников в тексте. Порядковый номер в тексте заключается в квадратные скобки (например, [9], [11, 12], [16–20]). Текст статьи должен содержать ссылки на все источники из списка литературы.

Просим Вас при ссылке на источник использовать его официальные метаданные как на русском, так и на английском языке, указанные в источнике. Приветствуется указывать DOI в случае его наличия.

Список литературы на русском языке должен быть оформлен в соответствии с ГОСТ 7.0.5–2008.

Рекомендуется при оформлении списка литературы использовать приложение Mendeley для Windows или Mac — <https://www.mendeley.com> Стиль оформления русскоязычного списка литературы — Russian GOST R 7.0.5–2008 (numeric).

В списке литературы на английском языке русскоязычные источники, не имеющие перевода на английский язык, указываются в транслитерации и с приблизительным переводом на английский язык в квадратных скобках. Транслитерация осуществляется по системе Библиотеки Конгресса США (ALA-LC).

Рекомендуемый объем статей: от 15 000 до 30 000 знаков с пробелами.

Гарнитура шрифта — Times New Roman. Размер шрифта основного текста — 12; заглавия — 14; аннотации, подрисуночных надписей, содержания таблиц, списка литературы — 10, междустрочный интервал — одинарный, абзацный отступ — 0,75 см.

**С полной версией требований к оформлению научных статей можно ознакомиться на сайте:**

**<https://g-b-k.ru>**