

Academia. Архитектура и строительство, № 2, стр. 150–156.
Academia. Architecture and Construction, no. 2, pp. 150–156.

Исследования и теория
Научная статья
УДК 691.328.1, 693.557
DOI: 10.22337/2077-9038-2024-2-150-156

Система контроля сплошности бетона сталежелезобетонных конструкций на основе тепловизионного метода

Арленинов Пётр Дмитриевич (Москва). Кандидат технических наук. Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона НИЦ «Строительство» (Russia, 109428, Москва, 2-я Институтская ул., 6, корп. 5. НИИЖБ им. А.А. Гвоздева; кафедра железобетонных и каменных конструкций Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26. НИУ МГСУ). Эл. почта: niizhb_lab8@mail.ru

Крылов Сергей Борисович (Москва). Доктор технических наук, академик РААСН. Лаборатория механики железобетона Научно-исследовательского, проектно-конструкторского и технологического института бетона и железобетона НИЦ «Строительство» (Russia, 109428, Москва, 2-я Институтская ул., 6, корп. 5. НИИЖБ им. А.А. Гвоздева). Эл. почта: niizhb_lab8@mail.ru

Калмакова Полина Сергеевна (Москва). Лаборатория механики железобетона Научно-исследовательского, проектно-конструкторского и технологического института бетона и железобетона НИЦ «Строительство» (Russia, 109428, Москва, 2-я Институтская ул., 6, корп. 5. НИИЖБ им. А.А. Гвоздева). Эл. почта: niizhb_lab8@mail.ru

Аннотация. Для набирающих популярность сталежелезобетонных конструкций существует проблема контроля сплошности бетона после бетонирования, если внешняя стальная оболочка является несъемной опалубкой и отсутствует визуальный контроль затвердевшей бетонной поверхности – это в первую очередь трубобетонные конструкции и сталежелезобетонные конструкции с внешним листовым армированием. Целью выполненного исследования являлась разработка новой системы контроля сплошности бетона сталежелезобетонных конструкций на основе тепловизионного метода, используя которую будет возможно после бетонирования в конструкциях с закрытой для осмотра бетонной поверхностью без вскрытия металлической оболочки находить значительные дефекты в виде полостей и непробетонированных участков, которые могут являться критическими. Предлагаемая система контроля основана на тепловизионном исследовании металла поверхности сразу после бетонирования во время твердения бетона. Это возможно, поскольку при твердении и наборе прочности бетона происходит большое выделение тепла. На тех участках внутри конструкции, где имеется дефект – полость, непробетонированный участок, строительный мусор и т.д., то есть отсутствует плотный контакт бетона и внешнего стального листа, передача тепла будет осуществляться менее эффективно, и это можно зафиксировать с помощью тепловизора, при необходимости – с принудительным отводом тепла. Возможно получение аналогичных результатов при выполнении обратной задачи – нагрева конструкции снаружи. Полученные результаты экспериментов, а также законы теплотехники, описывающие перенос тепла между различными материалами, позволяют утверждать, что предложенная методика будет успешно работать. В настоящее время других неразрушающих методик определения и поиска внутренних дефектов в сталежелезобетонных конструкциях, позволяющих точно определить месторасположение и параметр дефекта, не существует. Предложенная новая методика была опробована на нескольких малых образцах, но уже сейчас можно сказать, что она будет пригодна для конструкций разных типов и конфигураций после проведения полномасштабных исследований, учитывающих толщину металла, объем конструкции и т.д.

Ключевые слова: бетон, железобетон, сталежелезобетон, тепловизор, дефект, контроль качества.

Для цитирования. 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.

© Арленинов П.Д., Крылов С.Б., Калмакова П.С., 2024.

System for Control of Concrete Continuity of Steel Reinforced Concrete Structures Based on Thermal Imaging Method

Arleninov Petr D. (Moscow). Candidate of Sciences of Technology. Research, Design and Technological Institute of Concrete and Reinforced Concrete of the National Research Center "Construction" (6, build. 5, 2nd Institutuskaya, Moscow, 109428, Russia. NIIZHB named after A.A. Gvozdev); Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures of the National Research Moscow State University of Civil Engineering (Russia, 129337, 26, Yaroslavskoye Shosse, Moscow, Russia. NRU MGSU). E-mail: niizhb_lab8@mail.ru

Krylov Sergey B. (Moscow). Doctor of Sciences of Technology, Academician of RAACS. Laboratory of reinforced concrete mechanics of the Research, Design and Technological Institute of Concrete and Reinforced Concrete of the National Research Center "Construction" (6, build. 5, 2nd Institutuskaya, Moscow, 109428, Russia. NIIZHB named after A.A. Gvozdev). E-mail: niizhb_lab8@mail.ru

Kalmakova Polina S. (Moscow). Laboratory of reinforced concrete mechanics of the Research, Design and Technological Institute of Concrete and Reinforced Concrete of the National Research Center "Construction" (6, build. 5, 2nd Institutuskaya, Moscow, 109428, Russia. NIIZHB named after A.A. Gvozdev). E-mail: niizhb_lab8@mail.ru

Abstract. There is a problem of concrete continuity control after concreting in the increasingly popular steel-reinforced concrete structures where the outer steel shell is a fixed formwork and there is no visual inspection of the hardened concrete surface – these are mainly tubular concrete structures and steel-reinforced concrete structures with external plate reinforcement. The aim of the work is to develop a new system for concrete continuity control of reinforced concrete structures based on the thermal imaging method, which will make it possible to detect significant defects in the form of voids and unconcreted areas, which can be critical after concreting, in structures with a closed concrete surface for inspection without opening the metal shell. The proposed inspection system is based on thermal imaging of the surface metal immediately after concreting while the concrete is curing. This is possible because there is a large heat release during the curing and strength gain of the concrete. In areas within the structure where there is a defect – a void, unconcreted area, debris, etc., i.e. where there is no solid contact between the concrete and the external steel plate, the heat transfer will be less efficient and this can be detected with the thermal imager, if necessary, with forced heat removal. It is possible to obtain similar results when performing the reverse task of heating the structure from the outside. The experimental results obtained, together with the laws of thermal engineering describing the transfer of heat between different materials, allow us to state that the proposed method will work successfully. At present, there are no other non-destructive techniques for detecting and searching for internal defects in steel and reinforced concrete structures, which allow to determine the exact location and parameters of the defect. The proposed new technique has been tested on several small samples, but it can already be said that after full-scale studies, it will be suitable for structures of different types and configurations, taking into account the thickness of the metal, the volume of the structure, etc.

Keywords: concrete, reinforced concrete, steel-reinforced concrete, thermal imaging, defect, quality control.

For citation. Arleninov P.D., Krylov S.B., Kalmakova P. S. System for Control of Concrete Continuity of Steel Reinforced Concrete Structures Based on Thermal Imaging Method. In: *Academia. Architecture and Construction*, 2024, no. 2, pp. 150–156, doi: 10.22337/2077-9038-2024-2-150-156.

Введение

Сталежелезобетонные конструкции используются при необходимости улучшения отдельных характеристик обычных железобетонных конструкций со стержневой арматурой (прочность, жёсткость, повышение процента армирования и т.д.). В типовом гражданском и промышленном строительстве они в основном не используются, но находят применение на уникальных и специальных объектах [1–3]:

– в высотном строительстве, когда для обеспечения достаточной несущей способности вертикальных элементов приходится сильно развивать их сечение. Вместо этого внутри

колонны устанавливается мощный стальной профиль, что позволяет в разы сократить необходимую площадь сечения колонн. Такие элементы использовались в высотных зданиях Москва-Сити, Лахты Центра и др.;

– в подземном строительстве и в каркасах административных зданий используются так называемые трубобетонные элементы конструкций, когда бетон заливается внутри стальной трубы;

– в специальном строительстве – атомная отрасль, военная, нефтегазовая, энергетическая, когда вместо стандартной сборно-разборной опалубки используется стальной несъём-

ный лист, который необходим для различных специальных задач, таких как увеличение живучести конструкции, непроницаемости (жидкость, газ, радиация и т.д.) и других.

Современная строительная отрасль нуждается в использовании сталежелезобетонных конструкций. Разрабатываются методики расчёта, в 2016 году в нашей стране был выпущен первый нормативный документ, регламентирующий правила проектирования таких конструкций – СП.266.1325800.2016. «Конструкции сталежелезобетонные, Правила проектирования»¹. При этом за рубежом исследование и внедрение таких композитных конструкций из металла и бетона началось значительно раньше. Но в настоящий момент как в нашей стране, так и за рубежом, существует общая проблема, заключающаяся в контроле качества бетонирования, если стальной элемент является внешней оболочкой и отсутствует визуальный контроль бетонной поверхности. Похожая проблема, решение которой возможно с помощью предлагаемой системы, – это «слепые» зоны бетонирования под закладываемыми в тело конструкции защитных реакторных оболочек стальными

трубами диаметром 20–30 см для предварительного напряжения стальных канатов. Под горизонтальными фрагментами внутренних каналов при бетонировании образуются воздушные мешки, и, как следствие, полости и непробетонированные участки [4–5].

Цель исследования, по результатам которого подготовлена данная статья, – разработка новой системы контроля сплошности бетона сталежелезобетонных конструкций на основе тепловизионного метода, который позволил бы неразрушающим способом находить критические дефекты после бетонирования в конструкциях с закрытой для осмотра бетонной поверхностью, которые будут влиять на прочность, жёсткость и долговечность таких конструкций.

Принцип предлагаемого метода

Предлагаемая система контроля сплошности бетона, поверхность которого невозможно осмотреть из-за отсутствия доступа, основана на тепловизионном исследовании металла поверхности сразу после бетонирования во время

¹ <https://docs.cntd.ru/document/456044285>

² Все иллюстрации в статье, кроме особо оговорённых, взяты из открытого доступа сети Интернет

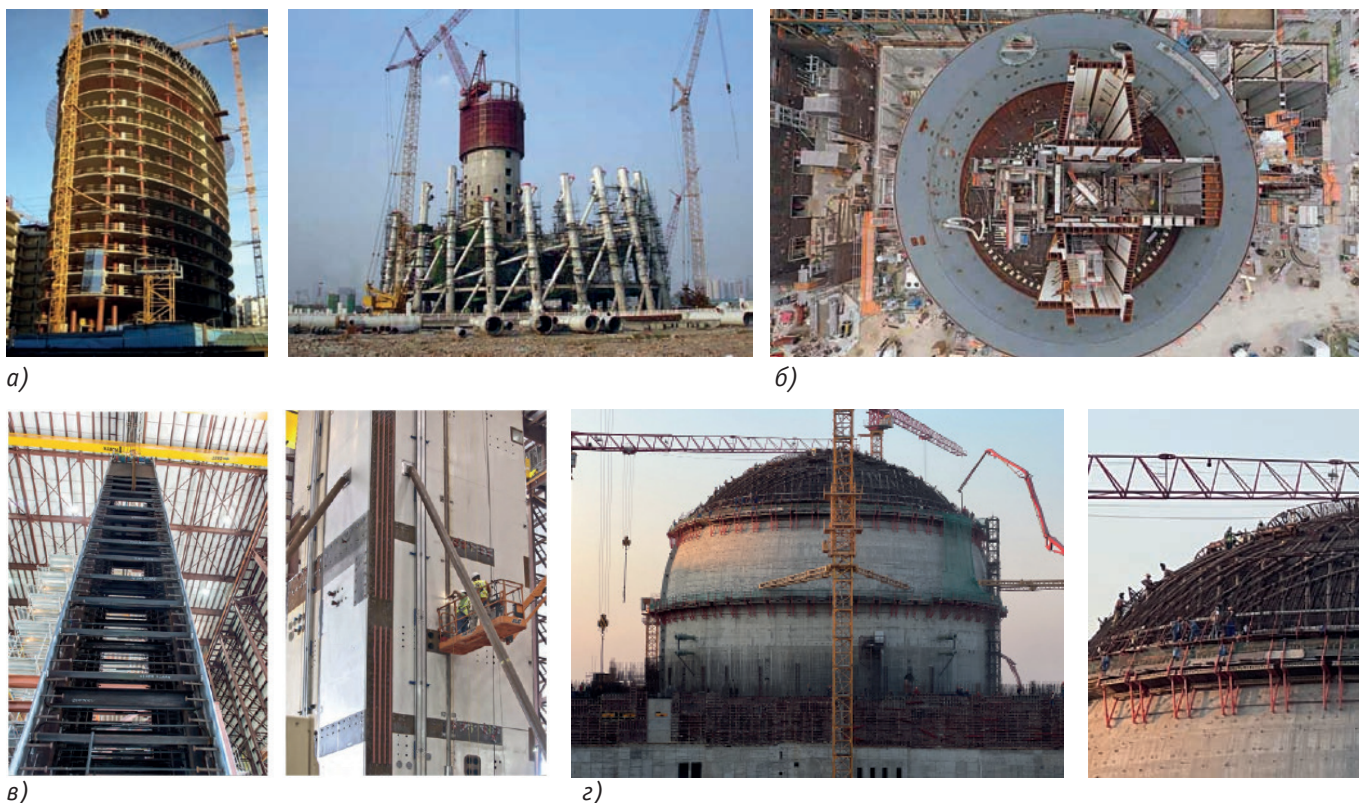


Рис. 1². Примеры, элементов конструкций с закрытой бетонной поверхностью для которых возможно использование разрабатываемого метода контроля сплошности бетона: а) использование трубобетонных конструкций в гражданском строительстве; б) стальной модуль стены с последующей заливкой бетоном. АЭС «Вогтль», блок № 3, 4. США. Дата окончания строительства – 2023 год; в) вид изнутри модуля сталежелезобетонной стены АЭС Саньмень. Китай. Дата постройки – 2018 год (источник: Design Guide 32: Modular Steel-Plate Composite Walls for Safety-Related Nuclear Facilities), г) устройство стальных труб системы предварительного напряжения в защитных атомных оболочках реакторного отделения. Фото авторов статьи

твердения бетона. Это возможно поскольку при твердении и наборе прочности бетона происходит большое выделение тепла – экзотермические процессы. Так, например, при твердении плитного фундамента толщиной 1,5 м и габаритными размерами 15×15 м (такая толщина плиты соответствует сечениям массивных сталежелезобетонных вертикальных конструкций) в первые дни после заливки при разогреве фундамента температура бетона может достигать 60 °С и более [6–8].

На рисунке 2 показана динамика разогрева такого фундамента (графики различных цветов показывают изменение температуры на участках по сечению фундамента, в которых производились контрольные замеры температуры). График иллюстрируют изменение температуры бетона в этих точках во времени – наибольший разогрев в центре фундамента (каналы пятый-седьмой по высоте сечения), к краям (каналы второй и третий) и углам фундамента максимальная температура прогрева уменьшается. При этом из графика видно (скачок в самом начале графика), что электрический прогрев был выключён в первые часы после заливки и использовался только, чтобы не заморозить смесь, и весь дальнейший разогрев на протяжении двух дней с последующим плавным остыванием на протяжении шести дней происходил только посредством экзотермии бетона [9–10].

Если бетонная или железобетонная конструкция имеет прямой контакт с металлом внешней обшивки (трубобетонные конструкции, сталежелезобетонные с внешним листовым армированием и т.д.), то, учитывая высокую теплопроводность металла, тепло с бетонной конструкции практически мгновенно распространяется по всей толщине металлической оболочки. На тех участках, где внутри конструкции имеется дефект – полости, непробетонированные участки, наличие строительного мусора и т.д., то есть отсутствует плотный контакт бетона и внешнего стального листа, передача тепла будет осуществляться медленнее и возможно не достигнет значений температуры на внешней стороне основной площади металла облицовки. При проведении тепловизионной

съёмки снаружи на участках с внутренним дефектом на внешнем листе будут зафиксированы локальные участки пониженной температуры.

Возможен случай (при небольших дефектах), когда область дефекта (полость, повреждённый участок и т.д.) сразу выявлена не будет из-за процесса теплопереноса по металлу оболочки, то есть разница на экране тепловизора не будет заметна. Тогда можно искусственно с наружной стороны конструкции охладить металл внешней облицовки или, наоборот, нагреть. Такую процедуру можно осуществить, например, при помощи вентилятора, воды или тепловой пушки в случае нагрева. После охлаждения/подачи части тепла с металла возобновятся процессы теплопереноса, но при этом передача тепла с разогретого бетона через контакт и через воздушную прослойку будет происходить медленнее, и тогда с помощью проведения тепловизионной съёмки сразу после принудительного изменения температуры поверхности конструкции внутренний дефект можно будет обнаружить.

Что касается тепловизионной оценки внутри каналобразователя, то такую задачу можно легко осуществить путём прокатки тепловизора, установленного на подвижную опору (это может быть любой компактный движущийся механизм) внутрь каналобразователя и протягиваемого с постоянной скоростью с помощью тросика электрической лебедкой. Потом при просмотре снятого тепловизором материала с учётом скорости и времени, определяется местонахождение обнаруженного дефекта. Охлаждение/подачу части тепла в данном случае возможно осуществить с помощью продувки канала вентилятором. Учитывая большую тягу, отвод или, наоборот, подача тепла будет происходить максимально эффективно и с большой скоростью.

Апробация методики

В настоящий момент подготавливается программа полномасштабных испытаний предложенного тепловизионного контроля на железобетонных конструкциях с заложенным дефектом с различной толщиной стенки и сечением элементов, а также проводятся патентные мероприятия, поскольку такая методика является уникальной и не имеет аналогов. Предварительно для проверки основных постулатов предложенной методики были выполнены несколько экспериментов на небольших образцах.

Перед заливкой бетонных образцов были проведены тестовые замеры тепловизором экспериментального фрагмента листовой опалубки с установленными внутри источниками тепла (на данном этапе эксперимент проводился без бетона) различающимися мощностью излучения (рис. 3) – чашка с кипятком (≈95 °С) и ладонь руки с (≈36 °С), температура в помещении при этом была около +25 °С. Несмотря на значительную разницу в тепловом излучении источников, на экране тепловизора наглядно был виден контур источника тепла как слабого, так и сильного излучения. Также на экране тепловизора видны характерные стальные элементы обо-

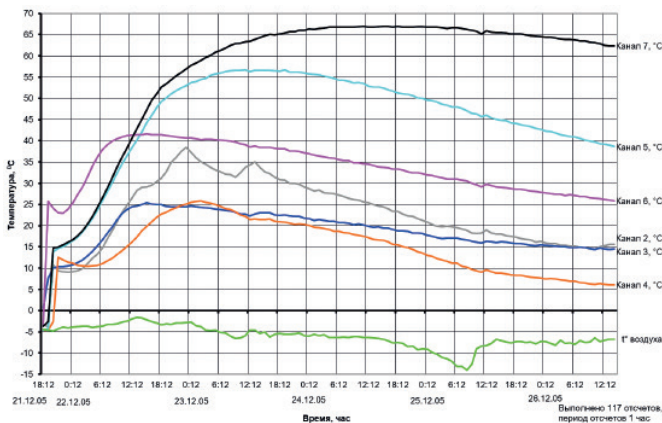


Рис. 2. Изменения во времени экзотермических процессов на различных участках железобетонного фундамента во время твердения. График авторов статьи

лочки – рёбра жёсткости и стэд-болты. Затем для проверки работы предложенного метода были специально изготовлены два бетонных блока размерами 40×25×35(h) см в стальной опалубке (при проведении эксперимента опалубка не снималась) с предварительно смоделированными дефектами. Было смоделировано четыре типа дефектов – воздушная полость, локальные полости (каверны, раковины), фрагменты деревянного бруска и листа пеноплекса. Эти дефекты закладывались по краям образца и имитировали нарушения сплошности бетонирования на участках, где это наиболее возможно, – в зонах максимально густого армирования. Образование похожих дефектов в центральной части конструкций имеет более низкую вероятность, поскольку в данных зонах армирование обычно только конструктивное и не мешает заливке и последующему вибрированию, если оно предполагается.

Наибольшие дефекты (фрагмент пеноплекса) удалось зафиксировать без специального отвода тепла, полости бетона, смоделированные пластиковыми шарами, удалось зафиксировать после водяного охлаждения опалубки снаружи (рис. 5).

По результатам съёмки видно, что разница в температурах небольшая – до трёх градусов, при этом образец разогревался всего до 30°C. В настоящей массивной конструкции температура будет выше. Также значимый для практики объём дефектов будет существенно превышать смоделированные дефекты. Поэтому при практическом применении данного метода разница между участками конструкции с плотным бетоном и дефектными участками будет выражена более сильно.

Выводы

Полученные результаты экспериментов, приведённые выше, а также законы теплопереноса позволяют утверждать, что предложенная методика будет успешно работать. В настоящее время других методов определения и поиска внутренних дефектов в сталежелезобетонных конструкциях, позволяющих точно определить месторасположение и параметр дефекта, не существует. Метод акустической эмиссии и ультразвуковые методы (например, используются в буронабивных сваях, когда в бетон сваи в специальный канал опускается ультразвуковой прибор) таких результатов дать



Рис. 3. Использование тепловизора для оценки нагрева фрагмента листовой опалубки с установленным внутри источником тепла. Фото авторов статьи

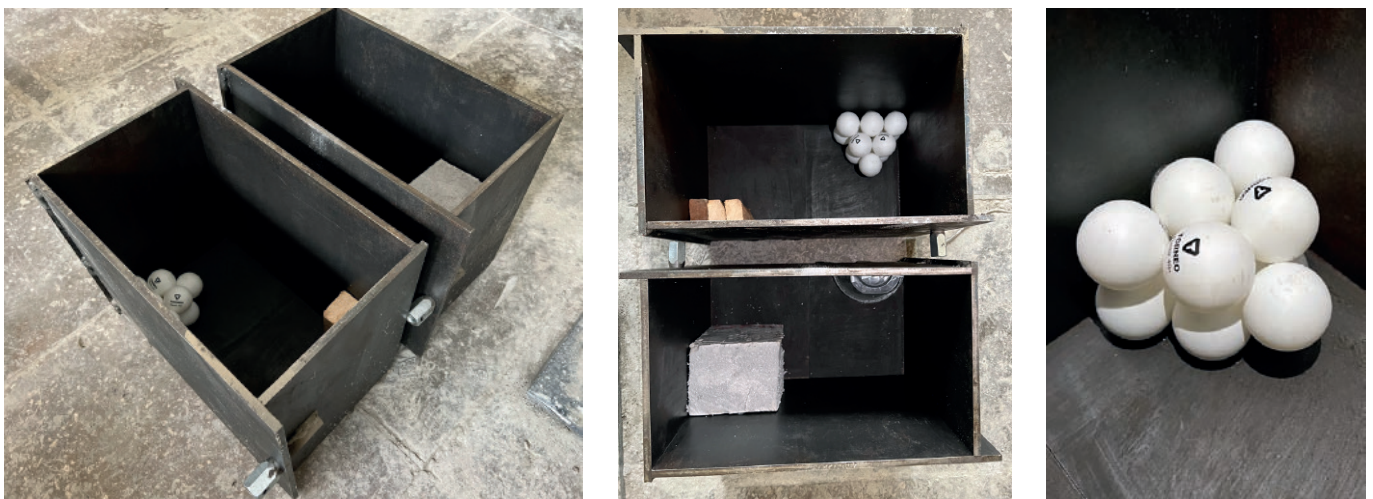


Рис. 4. Физическое моделирование дефектов в теле бетона образцов. Фото авторов статьи

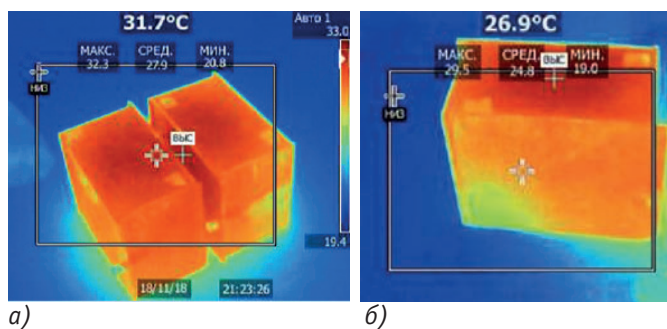


Рис. 5. Тепловизионная съёмка залитых образцов в процессе твердения бетона. Фото авторов статьи: а) фиксация дефекта без специального отвода тепла; б) фиксация дефекта после водяного охлаждения опалубки снаружи

не могут. Предложенная же методика применима ко всем типам конструкций любой сложности и конфигурации (но предварительно требует апробации на массивных образцах с различной толщиной металлической облицовки). Единственным ограничением является время активного твердения и набора прочности бетона, но учитывая, что данный промежуток времени составляет от нескольких дней до недели, то такие испытания легко можно провести. В противном случае придется создавать источник тепла вне конструкции, прогревая её снаружи, или источник холода, но принцип, заложенный в предлагаемую методику от этого, не поменяется.

Список источников

1. Бабалич, В.С. Сталежелезобетонные конструкции и перспектива их применения в строительной практике России / В.С. Бабалич, Е.Н. Андросов. – EDN YR00WX. – Текст : непосредственный // Успехи современной науки. – 2017. – Т. 4, № 4. – С. 205–208.
2. Модифицированные бетоны нового поколения в сооружениях ММЦД «Москва-Сити» / С.С., Каприелов В.И. Травуш, Н.И. Карпенко [и др.]. – Текст : электронный / Строительные материалы. – 2006. – № 10. – С. 13–18. – URL: http://rifsm.ru/u/f/sm_10_06.pdf (дата обращения 20.04.2024).
3. Отечественный и зарубежный опыт исследований работы сталежелезобетонных конструкций на внецентренное сжатие / В.И. Травуш, Д.В. Конин, Л.С. Рожкова, А.С. Крылов. – Текст : непосредственный // Строительство и реконструкция. – 2016. – № 5 (67). – С. 31–44
4. Тамразян, А.Г. Концептуальные подходы к оценке живучести строительных конструкций, зданий и сооружений / А.Г. Тамразян. – Текст : электронный // Железобетонные конструкции. – 2023. – № 3 (3). – С. 62–74. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_54203484_87883126.pdf (дата обращения 20.04.2024).
5. Тамразян, А.Г. Методология анализа и оценки надёжности состояния и прогнозирование срока службы железобетонных конструкций / А.Г. Тамразян. – Текст : электронный // Железобетонные конструкции. – 2023. – № 1 (1). – С. 5–18.

6. Travush, V.I. Strength of Composite Steel and Concrete Beams of High-Performance Concrete / V.I. Travush, D.V. Konin, A.S. Krylov. – Текст : непосредственный // Инженерно-строительный журнал. – 2018. – № 3 (79). – С. 36–44.

7. Экспериментальные исследования сталежелезобетонных конструкций, работающих на изгиб / В.И. Травуш, С.С. Каприелов, Д.В. Конин [и др.]. Строительство и реконструкция. – 2017. – № 4 (72). – С. 63–71.

8. Арленинов, П.Д. Расчётно-экспериментальные исследования STRENGTH изгибаемых трубобетонных конструкций / Арленинов П.Д., Крылов С.Б., Смирнов П.П. – Текст : непосредственный // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2017. – № 4. – С. 34–38.

9. Отечественный и зарубежный опыт исследований работы сталежелезобетонных конструкций на внецентренное сжатие / В.И. Травуш, Д.В. Конин, Л.С. Рожкова, А.С. Крылов. – Текст : непосредственный // Строительство и реконструкция. – 2016. – № 5 (67). – С. 31–44.

10. Определение несущей способности на сдвиг контактной поверхности «сталь-бетон» в сталежелезобетонных конструкциях для бетонов различной прочности на сжатие и фибробетона / В.И. Травуш, С.С. Каприелов, Д.В. Конин [и др.]. – Текст : непосредственный // Строительство и реконструкция. – 2016. – № 4 (66). – С. 45–55.

References

1. Babalich V.S. Stalezhelezobetonnyye konstruksii i perspektiva ikh primeneniya v stroitel'noi praktike Rossii [Composite Steel and Concrete Structures and Perspective of Their Application in Construction Practice of Russia]. In: *Uspekhi sovremennoi nauki [Modern Science Success]*, 2017, Vol. 4, no. 4, pp 205–208, EDN: YR00WX. (In Russ.)
2. Kaprielov S.S., Travush V.I., Sheinfel'd A.V., Karpenko N.I., Kardumyan G.S., Kiseleva Yu.A., Prigozhenko O.V. Modifitsirovannyye betony novogo pokoleniya v sooruzheniyakh MMTsD «Moskva-Siti» [New Generation Modified Concretes in the Moscow City IICC Buildings]. In: *Stroitel'nye materialy [Construction Materials]*, 2006, no. 10, pp. 13–17. URL: http://rifsm.ru/u/f/sm_10_06.pdf Accessed 04/20/2024). (In Russ.)
3. Travush V.I., Konin D.V., Rozhkova L.S., Krylov A.S. Otechestvennyi i zarubezhnyi opyt issledovaniy raboty stalezhelezobetonnykh konstruksii na vnentsentrennoe szhatie [Mestic and Foreign Experience in Research of Composite Structures for Eccentric Compression]. In: *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya [Building and Reconstruction]*, 2016, no. 5 (67), pp. 31–44. (In Russ., abstr. in Engl.)
4. Tamrazyan A.G. Kontseptual'nye podkhody k otsenke zhivuchesti stroitel'nykh konstruksii, zdaniy i sooruzhenii [Conceptual Approaches to Robustness Assessment of Building Structures, Buildings and Facilities]. In: *Zhelezobetonnyye konstruksii [Reinforced Concrete Structures]*, 2023, no. 3 (3), pp. 62–74. URL: <https://www.elibrary.ru/download/>

elibrary_54203484_87883126.pdf (Accessed 04/20/2024). (In Russ., abstr. in Engl.)

5. Tamrazyan A.G. Metodologiya analiza i otsenki nadezhnosti sostoyaniya i prognozirovaniye sroka sluzhby zhelezobetonnykh konstruktsii [Reinforced Concrete Construction Durability Estimation of Transport Constructions]. In: *Zhelezobetonnye konstruktsii [Reinforced Concrete Structures]*, 2023, no. 1 (1), pp. 5–18. (In Russ., abstr. in Engl.)

6. Travush V.I., Konin D.V., Krylov A.S. Strength of Composite Steel and Concrete Beams of High-Performance Concrete. In: *Inzhenerno-Stroitel'nyi Zhurnal [Magazine of Civil Engineering]*, 2018, no. 3 (79), pp. 36–44. (In Engl., abstr. in Russ.)

7. Travush V.I., Kapriyelov S.S., Konin D.V., Krylov A.S., Chilin I.A. Eksperimental'nye issledovaniya stalezhelezobetonnykh konstruktsii, rabotayushchikh na izgib [Experimental Study of Composite Structures for Bending Elements]. In: *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya [Building and Reconstruction]*, 2017, no. 4 (72), pp. 63–71. (In Russ., abstr. in Engl.)

8. Arleninov P.D., Krylov S.B., Smirnov P.P. Raschetno-eksperimental'nye issledovaniya izgibaemykh trubobetonnykh konstruktsii [Calculation of the Central and Eccentrically

Compressed Pipe-Concrete Structures]. In: *Seismostoikoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake Engineering. Constructions Safety]*, 2017, no. 4, pp. 34–38. (In Russ., abstr. in Engl.)

9. Travush V.I., Konin D.V., Rozhkova L.S., Krylov A.S. Otechestvennyi i zarubezhnyi opyt issledovaniya raboty stalezhelezobetonnykh konstruktsii na vnetsentrennoe szhatie [Domestic and Foreign Experience in Research of Composite Structures for Eccentric Compression]. In: *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya [Building and Reconstruction]*, 2016, no. 5 (67), pp. 31–44 (In Russ., abstr.in.Engl.)

10. Travush V.I., Kapriyelov S.S., Konin D.V., Krylov A.S., Kashevarova G.G., Chilin I.A. Opredelenie nesushchei sposobnosti na sdvig kontaktnoi poverkhnosti «stal'-beton» v stalezhelezobetonnykh konstruktsiyakh dlya betonov razlichnoi prochnosti na szhatie i fibrobeta [Determination of the Bearing Capacity in Shear on the Contact Surface "Steel-Concrete" of Steel-Concrete Structures For Concretes Of Different Compressive Strength And Fiber Reinforced Concrete]. In: *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya [Building and Reconstruction]*, 2016, no. 4 (66), pp. 45–55. (In Russ., abstr. in Engl.)