

УДК 624.012.4:624.074.2

DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3\(617\)-25-31](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3(617)-25-31)Д.В. ПАСХИН^{1,✉}, Б.С. СОКОЛОВ¹, С.М. БАЕВ², А.С. БАЕВ²

¹ Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 5, г. Москва, 109428, Российская Федерация

² ЗАО «Служба защиты сооружений», Кольская ул., д. 7, оф. 8, г. Москва, 129329, Российская Федерация

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ВОЗВЕДЕНИЕ КУПОЛОВ ХРАМА ВОЗНЕСЕНИЯ ГОСПОДНЯ В ГОРОДЕ ЭЛЕКТРОСТАЛИ

Аннотация

Введение. В статье приведены методика и результаты проектных расчетов, особенности технологии возведения куполов.

Цель: разработка проектных решений двух основных центральных (верхнего и нижнего) и четырех малых куполов строящегося храма Вознесения Господня в городе Электростали Московской области.

Материалы и методы. Проектом предусматривалось изготовление куполов в монолитном железобетоне с использованием технологии торкретирования бетона в проектное положение. Согласно проекту полная сборка арматурных каркасов выполнялась на монтажных стапелях вблизи здания. Готовые армокаркасы краном устанавливались в проектное положение и обтягивались стальной мелкоячеистой сеткой. Бетонирование куполов выполнялось послойным нанесением мелкозернистого бетона способом торкретирования.

Результаты. Выполнен комплекс работ по проектированию и возведению двух основных центральных (верхнего и нижнего) и четырех малых куполов строящегося храма Вознесения Господня в городе Электростали Московской области.

Выводы. Опыт выполнения комплекса работ по проектированию и возведению купольных конструкций с использованием технологии торкретирования показал рациональность принятых проектных и технологических решений и может быть эффективно использован при строительстве объектов с купольными покрытиями из монолитного железобетона.

Ключевые слова: купол, пространственная конструкция, железобетон, строительное проектирование, торкретирование

Для цитирования: Пасхин Д.В., Соколов Б.С., Баев С.М., Баев А.С. Проектирование и возведение куполов храма Вознесения Господня в городе Электростали // *Бетон и железобетон*. 2023. № 3 (617). С. 25–31. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3\(617\)-25-31](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3(617)-25-31)

Вклад авторов

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 16.06.2023

Поступила после рецензирования 03.07.2023

Принята к публикации 06.07.2023

D.V. PASHKIN^{1,✉}, B.S. SOKOLOV¹, S.M. BAEV², A.S. BAEV²

¹ Research institute of concrete and reinforced concrete (NIIZHB) named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 5, Moscow, 109428, Russian Federation

² CJSC Structures Protection Service, Kolskaya str., 7, of. 8, Moscow, 129329, Russian Federation

DESIGN AND CONSTRUCTION OF DOMES OF THE CHURCH OF THE ASCENSION OF THE LORD IN THE CITY OF ELEKTROSTAL

Abstract

Introduction. The article presents the methodology and results of design calculations and features of the technology of the construction of domes.

Aim. Development of design solutions for two main central (upper and lower) and four small domes of the Church of the Ascension of the Lord under construction in the city of Elektrostal, Moscow region.

Materials and methods. The project provided for the execution of domes in monolithic reinforced concrete using the technology of shotcrete in the design position. According to the project, the complete assembly of the reinforcement frames was carried out on the assembly moulds near the building. The finished frameworks were installed in the design position by a crane and were covered with a steel fine mesh. Concreting of domes was carried out by layer-by-layer application of fine-grained concrete by the method of shotcrete.

Results. A complex of works was carried out on the design and construction of two main central (upper and lower) and four small domes of the Church of the Ascension of the Lord under construction in the city of Elektrostal, Moscow region.

Conclusion. The experience of performing a complex of works on the design and construction of dome structures using shotcrete technology has shown the rationality of the design and technological solutions adopted and can be effectively used in the construction of objects with dome coverings made of monolithic reinforced concrete.

Keywords: dome, spatial structure, reinforcement concrete, structural design, shotcrete

For citation: Pashkin D.V., Sokolov B.S., Baev S.M., Baev A.S. Design and construction of domes of the Church of the Ascension of the Lord in the city of Elektrostal. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2023, no. 3 (617), pp. 25–31. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3\(617\)-25-31](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3(617)-25-31)

Author contribution statements

All authors have made an equal contribution to the preparation of the publication.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

Received 16.06.2023

Revised 03.07.2023

Accepted 06.07.2023

Каноны традиционной храмовой архитектуры предполагают широкое использование во внешнем и внутреннем обликах здания покрытий с криволинейными очертаниями в виде куполов и сводов. Большие и малые купола, паруса, своды различного очертания – сегментные, сомкнутые или крестовые – являются неизменным атрибутом интерьеров таких зданий. Воплощение этих элементов архитектурного облика может достигаться разными способами. Исторически купола и своды выполнялись каменной кладкой и являлись несущим элементом в составе остова здания. В современной практике нередко используются декоративные элементы, закрепляемые на несущих каменных, железобетонных или стальных конструкциях стен и покрытиях здания. Однако более рациональным конструктивным решением является применение тонкостенных железобетонных пространственных конструкций, совмещающих несущую и ограждающую функции. Такие конструкции проектируют в сборном или монолитном исполнении [1]. Каждый из этих способов имеет свои достоинства, и выбор зачастую диктуется условиями производства работ при возведении здания.

При возведении храма Вознесения Господня в городе Электростали Московской области представители православной церковной общины обратились к специалистам НИИЖБ им. А.А. Гвоздева с просьбой разработать проектные решения двух основных центральных (верхнего и нижнего) и четырех малых куполов строящегося храма.

Принципиальное решение предусматривало выполнение конструкций куполов из монолитного железобетона. В ходе проработки и согласования технического задания был выбран вариант изготовления конструкций с применением технологии торкретирования бетона. Для консультационно-эксперт-

ной поддержки по вопросам учета в проекте особенностей данной технологии были привлечены специалисты ЗАО «Служба защиты сооружений», имеющие большой практический опыт изготовления разнообразных конструкций способом торкретирования.

Ко времени проектирования купольных конструкций остов здания был полностью возведен, при этом высота здания до отметки основания центрального купола составила более 35 м.

Купола храма функционально предназначены для восприятия, помимо собственного веса, нагрузок от веса облицовки, веса конструкции креста, а также снеговой и ветровой нагрузок. Верхний центральный купол имеет форму полусферы радиусом 6,67 м с площадкой для крепления креста радиусом 1,40 м в верхней части (рис. 1). Толщина основной части купола составляет 80 мм. Ближе к опорной зоне происходит плавное увеличение толщины оболочки купола, переходящей в опорное кольцо.

Нижний центральный купол главным образом предназначен для создания внутреннего интерьера и в качестве несущей конструкции воспринимает незначительные нагрузки от отделочных штукатурных слоев, матов утепления и люстры. Конструктивно он отличается от верхнего купола меньшей стрелой подъема (более пологий), наличием технологического проема и отсутствием площадки на вершине.

Основанием для обоих центральных куполов являются кирпичные стены опорного барабана.

Малые купола над восьмигранниками имеют диаметр около 5 м. Их отличительной особенностью является криволинейное опорное кольцо, чья конфигурация определена архитектурным решением. Толщина основной части купола по технологическим соображениям составляет также 80 мм.

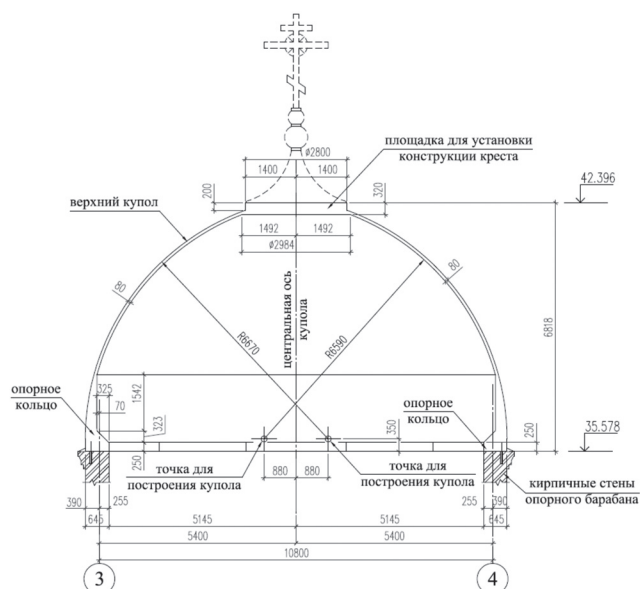


Рис. 1. Конструктивное решение верхнего центрального купола
Fig. 1. The design solution of the upper central dome

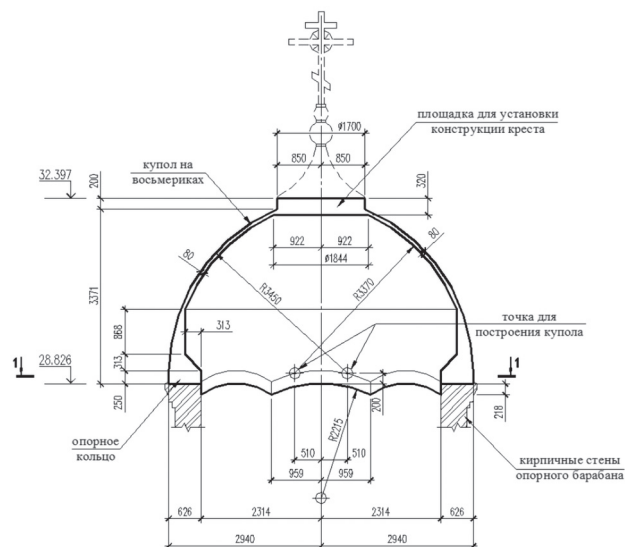


Рис. 2. Конструктивное решение малого купола над восьмигранником
Fig. 2. The constructive solution of the small dome over the octagon

При разработке проектных решений, с целью проверки предварительно назначенных параметров сечений и армирования оболочек и опорных колец куполов, были проведены серии расчетов, включающих в себя:

- проверку требований прочности, жесткости и устойчивости на стадии монтажа армокаркасов (проектом предусматривалась полная сборка армокаркаса на стапеле вблизи здания с последующим подъемом каркаса краном и установкой в проектное положение);

- проверку требований прочности, жесткости и устойчивости армокаркасов с поэтапной корректировкой расчетной модели при моделировании нескольких промежуточных стадий проведения работ по торкретированию;

- определение внутренних усилий и параметров армирования конструкций куполов в эксплуатационной стадии с учетом требований по прочности, устойчивости и трещиностойкости.

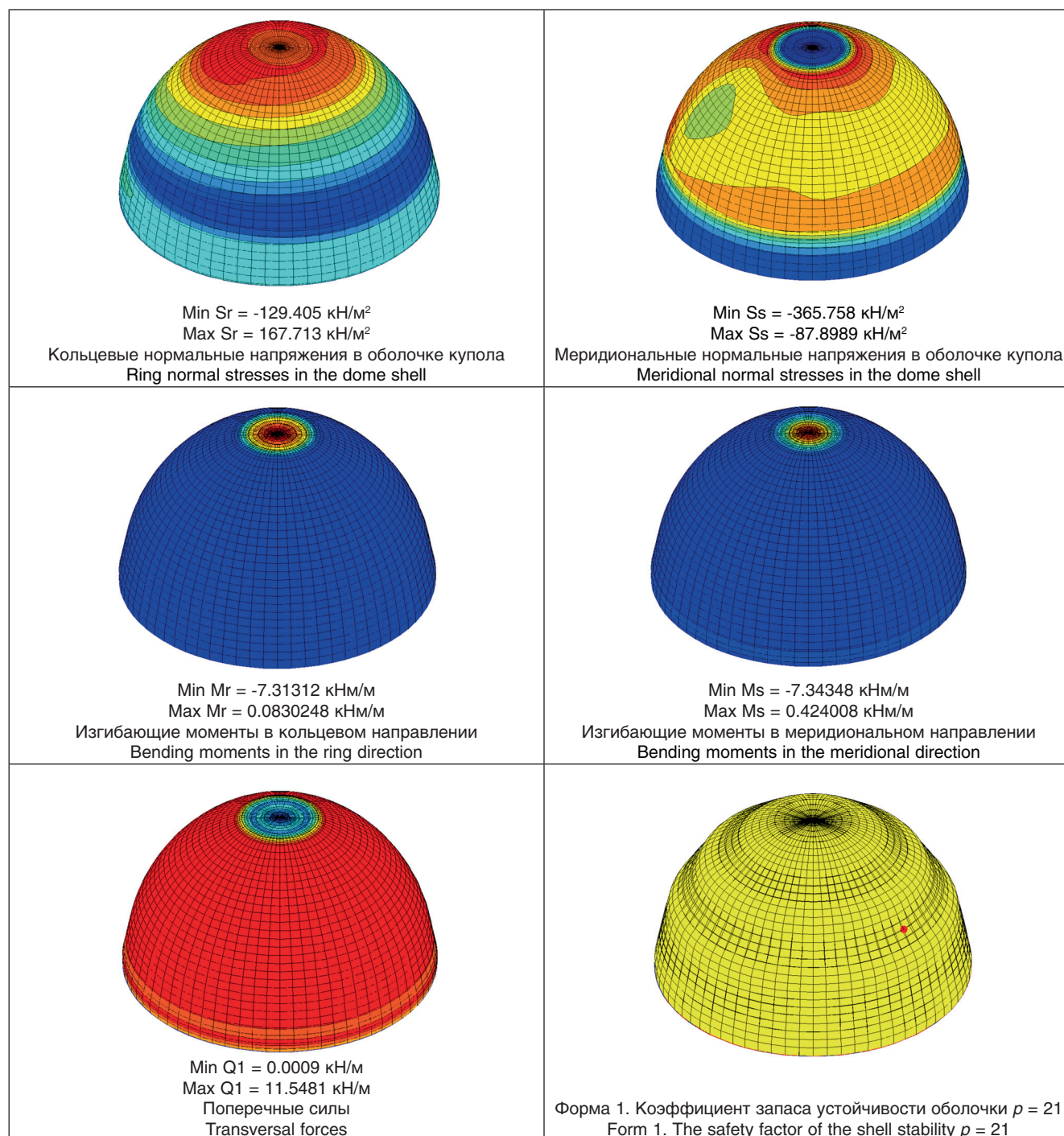


Рис. 3. Напряженное состояние оболочки верхнего центрального купола и 1-я форма потери устойчивости купола при полной расчетной нагрузке эксплуатационной стадии

Fig. 3. The stress state of the shell of the upper central dome and the 1st form of the loss of stability of the dome under full design load of the operational stage

Расчеты выполнены методом конечных элементов с использованием программного комплекса ING+. В расчетах устойчивости достаточно гибких армокаркасов в стадии монтажа учитывалась геометрическая нелинейность. Расчеты конструкций в эксплуатационной стадии работы выполнялись с учетом физической нелинейности. В ходе проектирования было выполнено исследование влияния на конструкции куполов температурного воздействия неравномерного нагрева вследствие солнечной радиации.

В соответствии с рекомендациями СП 387.1325800 [1] были выполнены расчетные проверки прочности куполов методом предельного равновесия.

По результатам комплекса расчетных проверок были сформулированы следующие выводы, послужившие основой для разработки проектной документации:

1. Напряженное состояние оболочек практически безмоментное, в связи с чем принято однослойное армирование оболочек куполов.

Растягивающие напряжения, возникающие в контурных зонах оболочек вследствие влияния краевого эффекта, не превышают нормативной прочности бетона на растяжение; таким образом, трещины не образуются, трещиностойкость оболочек обеспечена.

Касательные напряжения в опорных зонах свода незначительны и не требуют специального армирования.

Армирование оболочек назначается конструктивно, выше расчетных значений, по условиям обеспечения технологии изготовления методом торкретирования.

2. Требуемое по расчету армирование опорных элементов всех куполов и свода при действии эксплуатационных нагрузок незначительно, армирование опорных элементов назначается конструктивно.

3. Требования по обеспечению жесткости и устойчивости оболочек куполов при действии эксплуатационных нагрузок обеспечены.

4. Расчетное армирование утолщенных площадок в вершинах верхнего центрального купола и купола над восьмимериком незначительное, назначается конструктивно.

5. Прочность элементов и общая устойчивость арматурных каркасов всех куполов в процессе монтажа обеспечена.

Непосредственное изготовление куполов проводили специалисты ЗАО «Служба защиты сооружений».

Технология производства работ для всех трех типов конструкций отличалась незначительно и заключалась в следующем:

- на арматурном дворике площадки строительства выполнялась сборка пространственных каркасов куполов из арматуры класса А500 диаметром 16 мм (кроме армокаркаса верхнего центрального купола, изготовление которого проводилось непосредственно по месту);

- далее каркас устанавливался в проектное положение на опорный барабан и закреплялся с помощью стержней-анкеров;

- затем каркас обтягивался стальной плетеной сеткой из проволоки диаметром 0,4 мм с ячейкой 2 × 2 мм. Сетка закреплялась в каждом пересечении стержней армокаркаса с помощью вязальной проволоки;

- далее производилось послойное торкретирование смеси мелкозернистого бетона класса В30 сухим методом [2]. Нанесение смеси проводилось горизонтальными полосами высотой 1–1,5 м по всей ширине поверхности снизу вверх. Минимальная толщина слоя торкретного покрытия составляла 5–7 мм. Средняя толщина слоя составляла 20–40 мм;



Рис. 4. Монтаж арматурных каркасов куполов
Fig. 4. Installation of dome reinforcement frames

– в процессе набора проектной прочности торкрет-бетонное покрытие постоянно дополнительно увлажнялось. Режим увлажнения назначался индивидуально для каждого типа конструкций в зависимости от температуры окружающего воздуха, наличия/отсутствия непосредственного воздействия солнечных лучей или сильного ветра. Кроме этого, помимо регулярного увлажнения, в процессе твердения торкрет-бетона поверхности куполов укрывались полиэтиленовой пленкой.

Помимо обеспечения специфических требований по поддержанию температурно-влажностного режима, сотрудники подрядной организации столкнулись еще с целым рядом сложных ситуаций при производстве работ.

Так, ввиду отсутствия возможности размещения технологического оборудования на кровле были задействованы мощные агрегаты, способные обеспечить подачу сухой смеси и воды на высоту более 40 м.

Повышенные требования предъявлялись не только к оборудованию, но и к качеству работ.

Основные специфичные сложности для подрядчика были связаны с обеспечением непростой геометрии конструкций переменной толщины и с постоянной необходимостью утилизации отходов при торкретировании с высоты 40 м без ущерба для ранее смонтированных конструкций.

Сложная работа на высоте в стесненных условиях при меняющихся погодных факторах потребовала обеспечения комплекса дополнительных мер безопасности и страховки персонала.

Работы по изготовлению куполов были выполнены в течение 30 рабочих дней (рис. 5, 6).

По причине недостатка финансовых средств возведение храма несколько раз приостанавливалось, но возобновлялось благодаря усилиям настоятелей и местной общины. В настоящее время основные строительные работы завершены, в храме ведутся работы по росписи внутренних помещений.

Опыт выполнения комплекса работ по проектированию и возведению купольных конструкций с использованием технологии торкретирования показал рациональность принятых проектных и технологических решений и может быть эффективно использован при строительстве объектов с купольными покрытиями из монолитного железобетона.

Список литературы

1. СП 387.1325800.2018. Железобетонные пространственные конструкции покрытий и перекрытий. Правила проектирования.
2. Руководство по применению торкрет-бетона при возведении, ремонте и восстановлении строительных конструкций зданий и сооружений. Шифр М10.1/06. Москва: ОАО «ЦНИИПромзданий»; 2007. 48 с.

References

1. SP 387.1325800.2018. Spatial reinforced concrete structures of roofs and floors. Design requirements. (In Russian).
2. Rukovodstvo po primeneniyu torkret-betona pri vozvedenii, remonte i vosstanovlenii stroitelnykh konstruktsiy zdaniy i sooruzheniy. Shifr M10.1/06. Moskva: ОАО «TSNIIPromzdaniy»; 2007. 48 s. [Guidelines for the use of shotcrete in the construction, repair and restoration of building structures of buildings and structures. Code M10.1/06. Moscow: OJSC «TsNIIPromzdaniy»; 2007. 48 p.]. (In Russian).



Рис. 5. Общий вид куполов по окончании работ по торкретированию
Fig. 5. General view of the domes after the completion of the shotcrete work



Рис. 6. Малый купол
Fig. 6. The small dome

**Информация об авторах /
Information about the authors**

Дмитрий Владимирович Пасхин✉, заместитель заведующего лабораторией тонкостенных и пространственных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: moo-shell@mail.ru
tel.: +7 (499) 174-74-45

Dmitry V. Pashkin✉, Deputy Head of the Laboratory for Thin-Walled and Spatial Structures, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: moo-shell@mail.ru
tel.: +7 (499) 174-74-45

Борис Сергеевич Соколов, канд. техн. наук, заведующий лабораторией тонкостенных и пространственных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: moo-shell@mail.ru
tel.: +7 (499) 174-74-80

Boris S. Sokolov, Cand. Sci. (Engineering), Head of the Laboratory for Thin-Walled and Spatial Structures, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: moo-shell@mail.ru
tel.: +7 (499) 174-74-80

Сергей Михайлович Баев, генеральный директор ЗАО «Служба защиты сооружений», Москва
e-mail: info@rostorkret.ru
tel.: +7 (499) 180-81-01

Sergei M. Baev, General Director, CJSC Structural Protection Service, Moscow
e-mail: info@rostorkret.ru
tel.: +7 (499) 180-81-01

Алексей Сергеевич Баев, главный инженер ЗАО «Служба защиты сооружений», Москва
e-mail: info@rostorkret.ru
tel.: +7 (499) 180-81-01

Aleksey S. Baev, Chief Engineer, CJSC Structural Protection Service, Moscow
e-mail: info@rostorkret.ru
tel.: +7 (499) 180-81-01

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



МИНСТРОЙ
РОССИИ



НИЦ строительство
научно-исследовательский центр



II Международный строительный конгресс

Наука. Цели. Инновации. Строительство (МСК-2024)

Сайт конгресса
forum-cstroy.ru



АПРЕЛЬ 2024