

А. П. ШЕПЕЛЕВ
Р. Р. ИБАТУЛИН
А. Н. АЛЁШИН

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОКРЫТИЯ КУЛЬТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITION OF LARGE-SPAN COVERINGS OF RELIGIOUS BUILDINGS

Рассматриваются особенности расчета большепролетных конструкций покрытия культовых сооружений на примере покрытия средней части и трапезной храма в честь святых бессребреников Космы и Доминана Асийских, расположенного в селе Съезжее Богатовского района Самарской области. На момент проведения работ объект находился в стадии масштабной реконструкции. На основании данных проведенного детального обследования технического состояния строительных конструкций покрытия храма были выполнены расчеты в физически-нелинейной постановке, позволяющие в полной мере оценить напряженно-деформированное состояние монолитной железобетонной конструкции покрытия средней части и трапезной, которое представляет собой сложную единую неразрезную систему тонкостенных пространственных конструкций различных по очертанию срединных поверхностей.

Ключевые слова: покрытие храма, большепролетные конструкции, составная оболочка, техническое обследование, техническое состояние, напряженно-деформированное состояние

Введение

Изменение политических и общественных реалий в России в конце 1980-х гг. дали толчок к возрождению церковной жизни в стране. С ростом числа прихожан возникла необходимость в увеличении числа приходов. Этот период можно озаглавить как начало активного восстановления и строительства культовых сооружений Русской Православной Церкви (РПЦ). В 1988 г. в ведении РПЦ насчитывалось 6,5 тыс. храмов, в 2020 г. – около 40 тыс. За последние 10 лет количество приходов РПЦ увеличилось на 10 тыс. Большая часть зданий культового назначения не является объектами нового строительства, а объектами, переданными из государственной собственности назад в юрисдикцию РПЦ. Переданные здания, которые возводились в дореволюционную эпоху как культовые сооружения, в советский период были если не

The article examines the features of the calculation of large-span structures for covering religious buildings using the example of covering the middle part and the refectory of the church in honor of the holy unmercenaries Kosma and Domian of Asi, located in the village of Sezzhee, Bogatovsky district, Samara region. At the time of the work, the facility was undergoing a large-scale reconstruction. Based on the data of the detailed examination of the technical condition of the building structures of the church roofing, calculations were made in a physically nonlinear setting, allowing to fully assess the stress-strain state of the monolithic reinforced concrete structure of the cover of the middle part and the refectory, which is a complex single continuous system of thin-walled spatial structures of various along the outline of the median surfaces.

Keywords: covering of the temple, large-span covering constructions, composite shell, technical inspection, technical condition, stress-strain state

разрушены, то переустроены для различных нужд: в сельской местности – часто под зернохранилища, механические мастерские, клубы; в городской среде – преимущественно в здания общественного назначения, производственные цеха и, в редких случаях, под многоквартирные жилые дома. Конечно, при изменении функционального назначения культовых сооружений значительному изменению подвергались архитектурное, объемно-планировочное и конструктивные решения. В первую очередь демонтировались наиболее яркие «признаки» принадлежности к культовому сооружению: архитектурный декор, колокольня, четверики, восьмерики, барабаны, главы, главки и т. п.

При перепрофилировании здания обратно под нужды РПЦ возникает необходимость восстановительных работ. За период многолетней эксплуатации (часто без проведения своевре-

менных ремонтных работ), а нередко храмовые сооружения и вовсе десятилетиями не эксплуатировались и находились заброшенными без каких-либо консервирующих мероприятий, в конструкциях зданий накопился значительный объем повреждений и их техническое состояние ухудшилось вплоть до аварийного. Таким образом, восстановительные работы подразумевают целый комплекс мероприятий по реконструкции.

В настоящее время сложилась практика, когда восстановление запущенных, полуразрушенных культовых сооружений осуществляется не организованно с разработкой необходимого объема проектно-сметной документации, а хозяйственным способом. Наиболее ярко это прослеживается в сельских приходах, когда все заботы по восстановлению храма ложатся на настоятеля. При этом в рамках реконструкции решаются весьма трудоемкие и технически сложные задачи, в том числе восстановление утраченных большепролетных покрытий (куполов, сводов, шатров, конх, апсид), многоярусных колоколен, глав. Следует отметить, что покрытие храма зачастую является наиболее важным элементом архитектурного, объемного и конструктивного решений здания. Конечно же при таком подходе очень сложно контролировать качество восстановительных работ, включая проектную стадию, и возникает необходимость определения фактического технического состояния и несущей способности уже возведенных либо усиленных конструкций. Учитывая специфику данных обстоятельств, зачастую наиболее распространенные инженерные методики не подходят для решения задач по выявлению фактической несущей способности конструкций. Необходимо использовать более трудоемкие, но и более точные методы с применением современных программно-вычис-

лительных комплексов. Это позволяет выявить неучтенные резервы несущей способности и таким образом минимизировать финансовые затраты на восстановление.

Сотрудники кафедры строительных конструкций СамГТУ неоднократно принимали участие в научно-техническом сопровождении реконструкций сооружений культового назначения РПЦ. В данной работе отражены результаты проведенного обследования технического состояния покрытия средней части и трапезной храма, расположенного в селе Съезжее Богатовского района Самарской области Российской Федерации. Целью комплекса мероприятий по техническому обследованию являлась оценка напряженно-деформированного состояния конструкции покрытия с последующей разработкой рекомендаций по завершению строительно-монтажных работ, связанных с устройством покрытия храма.

Здание храма возведено в 1827 г. Храм освящен в честь святых бессребреников Космы и Домиана. В 1880-х гг. была произведена реконструкция храма, целью которой являлось его расширение. До осени 1938 г. здание эксплуатировалось в соответствии со своим функциональным назначением, после чего его оборудовали под зернохранилище. В 1990-х гг. сводчатые каменные конструкции покрытия здания обрушились. До 2005 г. здание находилось в заброшенном состоянии (рис. 1). С 2005 г. начался длительный период восстановительных мероприятий. В настоящий момент здание восстановлено: утраченные фрагменты каменных стен доложены, выполнено монолитное железобетонное покрытие, устроен каменный барабан над средней частью, барабан и колокольня увенчались купольными покрытиями.

Рассматриваемое покрытие выполнено из монолитного железобетона и представ-



Рис. 1. Вид южного фасада и покрытия храма по состоянию на 2005 год

ляет собой сложную единую неразрезную систему тонкостенных пространственных конструкций различных по очертанию срединных поверхностей. Исследовательские работы проводились в соответствии с действующими нормативными документами (ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния»; ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и основания. Основные положения»; СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций»; СП 631.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции: актуализи-

рованная редакция СНиП 52-01-03. Основные положения») с учетом разработанных сотрудниками АСА СамГТУ методик, частично изложенных в [1-3].

Планировочная и конструктивная схема сооружения

Каменный крестово-купольный одноэтажный одноглавый храм в плане имеет форму креста с максимальными размерами в осях 31,2×19,7 м. Композиционное решение – осевое-симметричное. Схематичный план и общий вид здания представлены на рис. 2 и 3, план покрытия – на рис. 4.

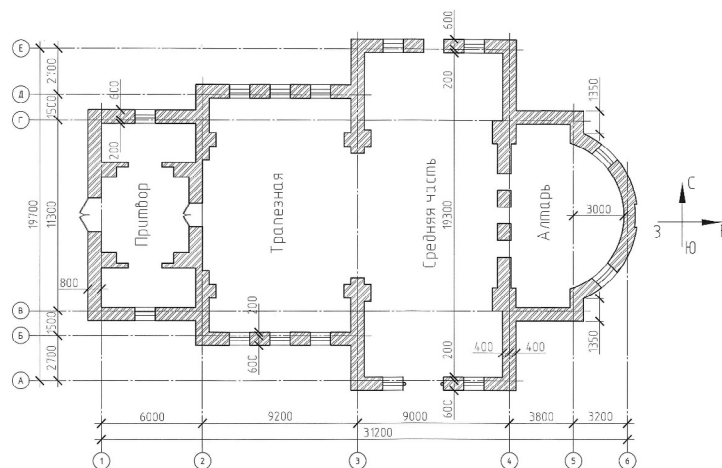


Рис. 2. Схематичный план здания храма



Рис. 3. Общий вид здания
(фото с сайта <http://kosma-i-damian.cerkov.ru/>)

Структура плана храма – четырехчастная – состоит из следующих соединенных «кораблем» частей: алтарь в осях 4-6, церковь (средняя часть) в осях 3-4, трапезная в осях 2-3, притвор с надстроенной колокольной в осях 1-2.

Покрытие трапезной – монолитная железобетонная на прямоугольном плане составная

гладкая оболочка, сформированная из двух пересекающихся во взаимно перпендикулярных направлениях оболочек нулевой гауссовой кривизны: в правом и левом нефках продольные оси сводов ориентированы в направлении север-юг; продольная ось среднего нефа – в направлении восток-запад.

Покрытие средней части образовано следующим образом: крайние нефы перекрыты цилиндрическими сводами (продольные оси ориентированы в направлении север-юг); в среднем нефе устроен конусный барабан; барабан, своды крайних нефов средней части и свод среднего нефа трапезной объединены монолитными оболочками в виде вогнутых сферических треугольников (парусов).

Толщина цилиндрических сводов и парусов составляет 100 мм, конусный барабан имеет толщину 500 мм. В осях В/3-4, Г/3-4 и Г-В/2* цилиндрические своды имеют утолщение (с развитием в нижнем направлении) до 300 мм, образуя ребра жесткости шириной 900 мм.

Составная оболочка горизонтальными опорными гранями опирается на стеновое ограждение храма через монолитный железобетонный пояс жесткости, с которым монолитно связана. Размеры поперечного сечения пояса составляют 500×200 мм. Изогнутыми линиями цилиндрические своды свободно опираются на закомары стенового ограждения, исключая заднюю стену трапезной.

Расчетная модель

Оценка несущей способности и деформативности конструкции покрытия произведена методом конечных элементов с использованием программного комплекса «Лира-САПР».

Расчетная модель представляет собой составную оболочку с различными очертаниями срединных поверхностей. Дискретизация континуальной системы достигнута посредством четырех- и треугольных конечных элементов оболочки и двухузловыми конечными элементами.

Конечно-элементная модель покрытия представлена на рис. 5.

Расчет системы произведен с учетом физической нелинейности материалов. При формировании конечно-элементной модели использованы физически нелинейные универсальные конечные элементы оболочек (№ 241, 242, 244).

Геометрическая неизменяемость системы достигнута наложением внешних связей: по глобальной оси Z во всех узлах при опирании на стены, исключая цилиндрический свод в осях Г-В/2; на один узел в осях Д-Г/2* наложены связи X, Y, Z; на один узел в осях Б-В/2* – связи Y, Z.

Модули упругости бетона в конечных элементах покрытия назначены в соответствии с классом бетона, определенным при натурном обследовании неразрушающими методами.

Закон нелинейного деформирования бетона – №35 экспоненциальный (расчетная прочность). Закон нелинейного деформирования армирующего материала – № 11 экспонен-

циальный. Теория прочности – Гениева (для железобетона). Тип арматурных включений – физический эквивалент сетки. Метод расчета физически нелинейной задачи – простой шаговый. Коэффициент к нагрузке по шагам составляет 0,05.

Расчет произведен на действие расчетной нагрузки от собственного веса, включая не введенные на момент обследования главы и барабан.

Анализ состояния материалов модели показывает, что на первом шаге нагружения в элементах образуются преимущественно нижние трещины по главным площадкам. Бетон части элементов разрушен при растяжении.

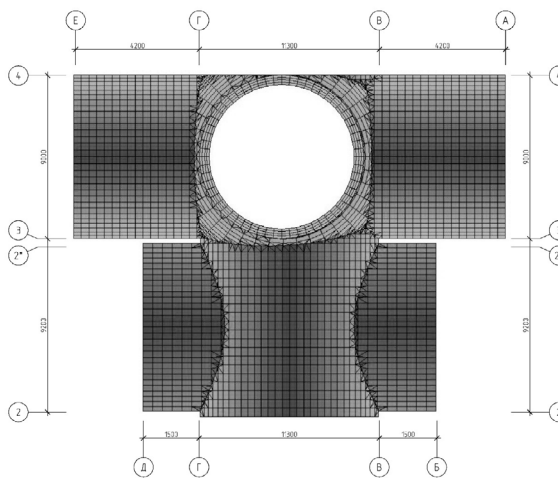


Рис. 4. План покрытия средней части и трапезной

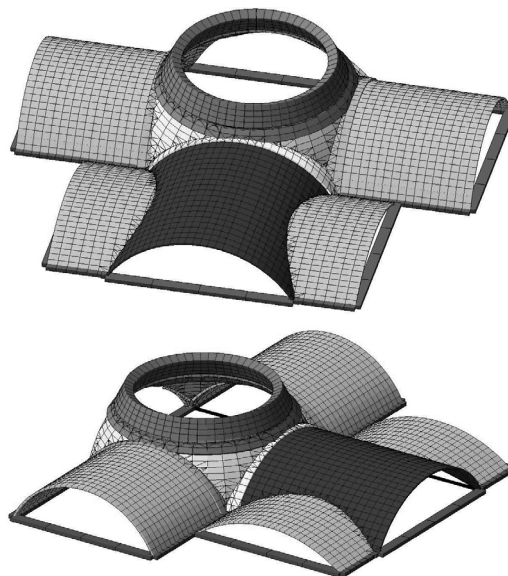


Рис. 5. Пространственная конечно-элементная модель покрытия

На втором шаге нагружения в элементах образуются нижние и верхние трещины по главным площадкам. Бетон части элементов разрушен при растяжении. В единичных элементах произошло разрушение основного материала (бетона) при сжатии и дробление сжатого бетона по верхней и нижней поверхностям. На четвертом шаге нагружения наряду с возрастанием количества элементов с нижними и верхними трещинами по главным площадкам и разрушением бетона элементов при растяжении и сжатии (в единичных элементах); дроблением сжатого бетона по верхней и нижней поверхностям (в единичных элементах), наблюдается образование пластических шарниров. Напряжения в армирующем материале достигли площадки текучести (в единичных элементах). При дальнейшем нагружении нагрузочный эффект характеризуется ростом количества элементов с напряженно-деформированным состоянием, описанным на четвертом шаге нагружения. При этом образование пластических шарниров наблюдается только в некоторых элементах. Это связано с тем, что в напряженном состоянии преобладают продольные усилия. Изгибающие моменты в элементах конструкции по сравнению с продольными усилиями являются

незначительными. Разрушение конструкции зафиксировано, когда система преобразовалась в геометрически изменяемую.

В конечных элементах цилиндрических сводов преобладают продольные усилия как растягивающие, так и сжимающие. Наибольшие продольные усилия (сжимающие) в сочетании с изгибающими моментами имеют место у опор ребер жесткости в направлении изогнутых линий. Наибольшие изгибающие моменты возникают в конечных элементах конического барабана. Паруса преимущественно сжаты в вертикальном направлении.

Анализ напряженно-деформированного состояния оболочки показывает, что конечные элементы цилиндрических сводов разрушаются от растягивающих напряжений (исключая опорные части ребер жесткости, единичные элементы у опор и мест стыкования частей конструкции покрытия); элементы парусов – от сжимающих; в элементах конического барабана разрушение происходит преимущественно от растягивающих напряжений, на некоторых участках – от сжимающих. Состояние материалов в модели при каждом шаге нагружения представлено на рис. 6.

Для определения деформаций покрытия и определения необходимости расчета мо-

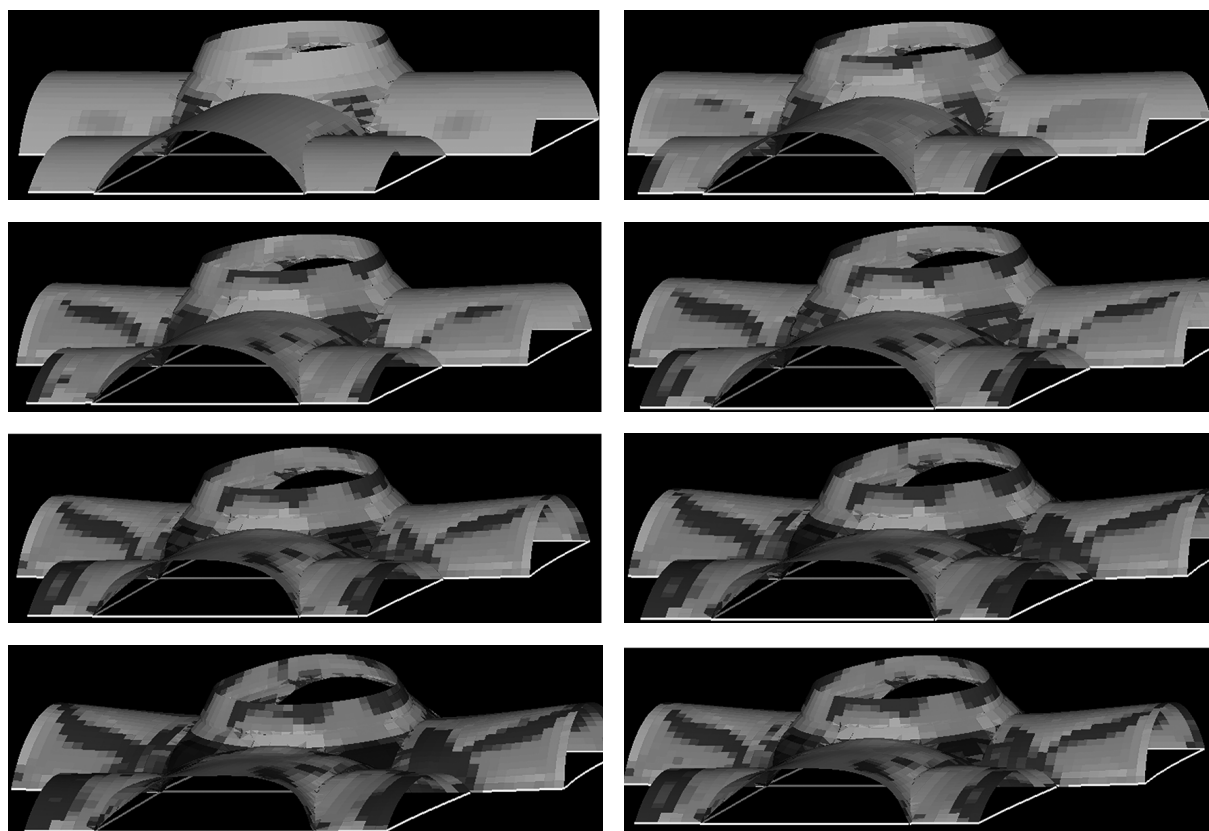


Рис. 6. Состояние материалов в модели при каждом шаге нагружения

дели с учетом геометрической нелинейности был произведен расчет конструкции с учетом физической нелинейности материалов при деформационных характеристиках, соответствующих продолжительному действию нагрузки. По результатам расчета установлено, что деформации (прогибы) имеют незначительные величины, а следовательно, нет необходимости в расчете конструкции покрытия с учетом геометрической нелинейности.

Выводы. Выполненные расчеты сложной пространственной системы в физически нелинейной постановке с учетом реальных деформативных свойств бетона и арматуры позволили наиболее точно определить напряженно-деформированное состояние и несущую способность конструкции покрытия. На основании результатов проведенных расчетов были разработаны рекомендации по окончательному устройству конструкции покрытия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ильин Н.А., Пищулев А. А., Славкин П. Н., Шепелев А. П., Ибатуллин Р. Р. Восстановление сжатых железобетонных конструкций здания // Градостроительство и архитектура. 2013. № 4 (12). С. 62-67.
2. Шепелев А. П., Ибатуллин Р. Р., Бузовская Я. А. Особенности обследования технического состояния зданий исторической застройки на примере усадьбы купчихи М.М. Дьяковой (общезитие № 3 АСА САМГТУ) // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство: сб. статей. Самара: САМГТУ, 2019. С. 206-214.
3. Шепелев А. П., Панфилов Д. А., Ибатуллин Р. Р. Эксплуатационные повреждения стен многоэтажных каменных зданий в результате разности их деформаций // Научное обозрение. 2017. № 11. с. 25-30.
4. Шумейко В. И., Левшеков С. С. Оптимальное проектирование элементов крестовокупольных систем // Вестник евразийской науки. М., 2018. С. 49-51.
5. Агапов В. П., Бардышева Ю. А., Минакова С. А. Учет физической и геометрической нелинейности в расчетах железобетонных плит и оболочек переменной толщины методом конечных элементов // Строительная механика и расчет сооружений. М., 2010. С. 62-66.
6. Эремадзе Н., Эремадзе Н. Методика нелинейного расчета тонкостенной железобетонной оболочки вида гиперболического параболоида // Строительная механика и расчет сооружений. М., 2009. С. 37-42.

REFERENCES

1. Ilyin N. A., Pischulev A.A., Slavkin P. N., Shepelev A. P., Ibatullin R. R. Restoration compressed reinforced concrete structures buildings. *Vestnik SGASU*:

Gradostroitel'stvo i arhitektura [Urban construction and architecture], 2013, no. 4 (12), pp. 62-67. (in Russian)

2. Shepelev A. P., Ibatullin R. R., Buzovskaya Ya. A. Osobennosti obsledovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya zdaniy istoricheskoy zastroyki na primere usad'by kupchikki M.M. Diakovoy (obshchezhitie № 3 ASA SAMGTU). *Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture. Stroitel'stvo. sbornik statej.* [Traditions and innovations in construction and architecture. Construction], 2019, pp. 206-214. (in Russian)

3. Shepelev A. P., Panfilov D. A., Ibatullin R. R. Operational damage of the walls of high-rise stone buildings due to the difference in their deformations. *Nauchnoe obozrenie* [Scientific review], 2017, no. 11, pp. 25-30. (in Russian)

4. Shumeyko V. I., Levshekov S. S. Optimal design of the elements of cross-domed systems. *Vestnik Evrazijskoj nauki* [Bulletin of eurasian science], 2018, Vol 10, no. 1, p. 49. (in Russian)

5. Agapov V. P., Bardisheva Yu. A., Minakov S. A. Consideration of physical and geometric non-linearity in calculations of reinforced concrete slabs and shells of variable thickness by the finite element method. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij* [Construction mechanics and calculation of structures], 2010, no. 5, pp. 62-66. (in Russian)

6. Eremadze N., Eremadze N. Method of nonlinear calculation of a thin-walled reinforced concrete shell of the hyperbolic paraboloid type. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij* [Construction mechanics and calculation of structures], 2010, no. 45, pp. 37-42. (in Russian)

Об авторах:

ШЕПЕЛЕВ Александр Петрович

старший преподаватель кафедры железобетонных конструкций
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: Shepelevap@mail.ru

SHEPELEV Alexandr P.

Senior Lecturer of the Reinforced Concrete Structures Chair
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya, 244
E-mail: Shepelevap@mail.ru

ИБАТУЛЛИН Рустам Рафаилович

ассистент кафедры железобетонных конструкций
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: Rustic2@yandex.ru

IBATULLIN Rustam R.

Assistant of the Reinforced Concrete Structures Chair
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya, 244
E-mail: Rustic2@yandex.ru

АЛЁШИН Андрей Николаевич

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой железобетонных конструкций
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: aleshin_andrei@list.ru

ALESHIN Andrey N.

PhD in Engineering Science, Associate Professor, Head of the Reinforced Concrete Structures Chair
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya, 244
E-mail: Shepelevap@mail.ru

Для цитирования: Шепелев А.П., Ибатуллин Р.Р., Алёшин А.Н. Оценка технического состояния большепролетных конструкций покрытия культовых сооружений // Градостроительство и архитектура. 2020. Т.10, № 4. С. 29–35. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.04.4.

For citation: Shepelev A.P., Ibatullin R.R., Aleshin A.N. Assessment of the Technical Condition of Large-span Coverings of Religious Buildings. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2020, vol. 10, no. 4, Pp. 29–35. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2020.04.4.

**ЦЕНТР ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РАЗРАБОТОК
«ЦИТР СамГТУ»**

Направления
деятельности



Выполнение полного цикла создания проектно-сметной документации для строительства объектов гражданского и промышленного назначения
выполнение работ по обследованию технического состояния объектов строительства, выполнение работ по строительству и реконструкции объектов, научно-методическое руководство проектными и строительными работами, разработка и апробация новых технологий и методов в архитектуре и проектировании и строительстве зданий и сооружений, координация разработки и продвижения новых образовательных программ в области архитектуры, проектирования и строительства

Руководитель



Вячеслав Викторович РОМАНЧИКОВ
кандидат технических наук

Контакты



443001, Самара, ул. Ново-Садовая, 18
8-937-070-19-02
romanchikoff@mail.ru