

РАЗВИТИЕ НОРМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОКРЫТИЙ И ПЕРЕКРЫТИЙ В РОССИИ

DEVELOPMENT OF DESIGN STANDARDS OF REINFORCED CONCRETE SPATIAL STRUCTURES OF ROOFS AND FLOORS IN RUSSIA

Б.С. СОКОЛОВ, канд. техн. наук

Богатейший опыт экспериментальных исследований, проектирования и строительства накоплен в России за столетие применения железобетонных пространственных конструкций. Талантливыми российскими архитекторами и конструкторами создано значительное число уникальных зданий и сооружений, вошедших в историю мировой архитектуры. В советский период были достигнуты большие успехи в разработке типовых сборных большепролетных пространственных конструкций типа тонкостенных оболочек и складок из железобетона, армоцемента и сталефибробетона для массового применения в промышленном строительстве. Выдающиеся достижения были сделаны в области теории расчета пространственных железобетонных конструкций. Значительный вклад в развитие этого научного направления внесен проф. А.А. Гвоздевым. Накопленный опыт проектирования реализован в строительных нормах по расчету и конструированию железобетонных пространственных покрытий и перекрытий зданий. В статье прослежена история развития российских норм проектирования железобетонных пространственных конструкций и их современное состояние.

Wealth of experience of experimental researches, designing and construction is accumulated in Russia for past century of use of reinforced concrete spatial structures. The significant number of unique buildings and the constructions created by talented Russian architects and designers are gone down in history of world architecture. During the Soviet period the big successes in development of typical precast wide-span spatial structures such as thin-walled shells and folded plates of reinforced concrete, ferrocement and steel fibre reinforced concrete for mass use in industrial construction have been achieved. Outstanding progress has been made in the field of the theory of analysis of spatial reinforced concrete structures. The stored experience of designing is realized in design standards for calculation and designing of reinforced concrete spatial roofs and floors of buildings. The history of development of the Russian Design standards of reinforced concrete spatial structures and their current state is tracked in article. The detailed description of draft of the Russian Code of practice for designing of reinforced concrete spatial structures of roofs and floors is resulted.

Ключевые слова:

пространственная конструкция, железобетон, покрытие, перекрытие, свод, складка, пологая оболочка, купол, вантовая оболочка, шатровые складки, свод правил

Key words:

spatial structure, reinforced concrete, roof, floor, vault, folded plate, shallow shell, dome, hanging roof, hipped floor, Code of practice

Железобетонные тонкостенные пространственные конструкции в виде сводов, куполов, оболочек и складок своей экономичностью, разнообразием форм и архитектурной выразительностью привлекают к себе внимание российских инженеров с начала прошлого века. Бурное развитие промышленности, продолжавшееся до середины второго десятилетия, вызвало появление большепролетных сводчатых зданий в ряде промышленных центров России, в числе которых цеха фабрик, пакгаузы, доки и т.д. Известен целый ряд сводчатых и купольных покрытий общественных зданий, построенных в Санкт-Петербурге, Москве и других крупных городах.

Новая волна интереса к большепролетным железобетонным пространственным конструкциям возникла в 20-е годы и также была вызвана потребностью быстрого подъема промышленности в стране, истощенной мировой, а затем — и гражданской войнами. Тонкостенные железобетонные покрытия тех лет проектировались монолитными. Среди выдающихся инженерных достижений можно назвать построенный в 1927 г. в Москве по проекту А.А. Гвоздева железобетонный конический купол диаметром 30 м для покрытия здания Лаборатории высоких напряжений. Другим примером является железобетонный купол московского Планетария (1928 г.) диаметром 27 м и высотой 17 м. Эти задачи были решены на самом высоком теоретическом и конструктивном уровне того времени.

Указанный период отмечен бурным развитием строительной механики, в частности, теории расчета пространственных конструкций применительно к расчету железобетонных пространственных конструкций, развиваемой в работах В.З. Власова, П.Л. Пастернака, А.А. Гвоздева, А.Р. Ржаницына, А.Л. Гольденвейзера, Ю.Н. Работнова и других видных ученых.

В результате фундаментальных исследований железобетонных пространственных конструкций в Центральном институте промышленных сооружений (ЦНИПС) в 1937 г. были разработаны нормативные основы и Инструкция по проектированию и применению монолитных тонкостенных покрытий и перекрытий различных зданий и сооружений. Инструкция содержала рекомендации по расчету и конструированию некоторых видов монолитных пространственных покрытий и перекрытий (длинные и короткие цилиндрические оболочки, складки и шатры).

Проведенные экспериментальные исследования оболочек и складок, созданная моментная теория железобетонных оболочек, разработка сетчатых и облегченных оболочек (В.Н. Горнов, В.И. Мурашев. Инструкция по проектированию железобетонных сетчатых оболочек», ЦНИПС, 1936 г., создание конструкций длинных цилиндрических оболочек с продольным световым проемом в ключе и другие работы в этом направлении стали серьезным вкладом в развитие железобетонных конструкций.

Исследования, разработка и техническая помощь, необходимые для применения тонкостенных пространственных конструкций в отечественном промышленном строительстве, не прекращались и во время Великой Отечественной войны. Появились работы по расчету оболочек на динамические и ударные воздействия, по восстановлению железобетонных пространственных конструкций зданий и сооружений, поврежденных в результате военных действий, по применению железобетона в строительстве убежищ и многие другие.

В первые послевоенные годы в новом строительстве, а также при восстановлении и реконструкции промзданий нашли применение монолитные сводчатые конструкции покрытий – длинные цилиндрические оболочки, а также коноидальные (шедовые) покрытия.

С 50-х годов в ЦНИПСе проводились систематические теоретические и экспериментальные исследования, которые послужили основой для широкого применения тонкостенных железобетонных покрытий промышленных и общественных зданий. Отличительной чертой развития железобетонных пространственных конструкций покрытий в строительстве в эти годы являлось то, что особое внимание уделялось сборным конструкциям из элементов заводского изготовления для массового применения в промышленных, гражданских и сельскохозяйственных зданиях и сооружениях. Широкое экспериментальное строительство позволило проверить на практике различные конструктивные решения оболочек и складок, выявить их достоинства и недостатки.

В 1957 г. по инициативе А.А. Гвоздева была организована лаборатория пространственных конструкций, тематикой которой стали исследования и разработки различных типов пространственных конструкций из железобетона и армоцемента, а в последствии — и из сталефибробетона. Непосредственным организатором лаборатории и ее руководителем в течение более чем трех десятилетий был Г.К. Хайдуков.

В 1961 г. была выпущена Инструкция по проектированию железобетонных тонкостенных пространственных покрытий и перекрытий — первый комплексный нормативный документ, в котором пространственные конструкции были представлены как отдельный класс строительных конструкций, и был обобщен опыт проектирования основных типов железобетонных пространственных конструкций. Авторами этого нормативного документа выступили сотрудники НИИЖБа и ЦНИИСКА. Работа велась под руководством А.А. Гвоздева. Обобщение основных материалов и подготовка текста инструкции выполнены А.А. Гвоздевым и Ю.В. Чиненковым. А.А. Гвоздевым написана глава Инструкции «Устойчивость оболочек», в которой были предложены принципы и критерии оценки устойчивости гладких и ребристых цилиндрических оболочек и оболочек вращения с учетом ползучести бетона и возможности постепенного выключения из работы бетона растянутой зоны. Раздел Инструкции «Основные положения геометрии поверхностей тонкостенных оболочек, применяемых в покрытиях и перекрытиях», написан П.Л. Пастернаком.

В развитие этого документа в 1964 г. была выпущена Инструкция по проектированию железобетонных тонкостенных пространственных покрытий и перекрытий — методический документ, содержащий примеры расчета пяти конструкций: пологой оболочки, купола из плоских элементов, купола из криволинейных элементов, ступенчато-вспарушенной панели и волнистого свода из плоских плит. Эта работа выполнялась также под руководством А.А. Гвоздева.

60-70-е годы прошлого века – период интенсивного развития и массового применения сборных железобетонных пространственных конструкций в СССР. Благодаря поддержке государства, финансированию через целевые программы была выстроена цепь этапов научных и проектных работ от технической идеи до массового внедрения конструкции: экспериментально-теоретические исследования, разработка конструктивных решений, разработка головного образца, натурные испытания, экспериментальное строительство, разработка типового проекта, освоение массового производства. В этот период были созданы и широко внедрены типовые панели-оболочки КЖС на пролеты 12, 18 и 24 м, типовые сборные пологие оболочки покрытий 18 – 36 м и другие типовые конструкции. По объемам применения пространственных конструкций в промышленном строительстве СССР в те годы вышел на лидирующие позиции в мире.

В разработке различных видов железобетонных пространственных конструкций участвовало большое число научно-исследовательских и проектных организаций. Были созданы научные школы в Ленинграде, Киеве, Минске, Тбилиси, Алма-Ате, Красноярске, Челябинске, объединявшие великолепных специалистов по созданию и применению пространственных конструкций. Московскую школу возглавляли А.А. Гвоздев, Г.К. Хайдуков, И.Г. Людковский. Среди видных московских ученых в области пространственных конструкций следует отметить Э.З. Жуковского, Р.Н. Мацелинского, И.Е. Милейковского, Я.Ф. Хлебного, Ю.В. Чиненкова, В.В. Шугаева.

Всплеск интереса к созданию новых видов железобетонных пространственных конструкций вызвал необходимость разработки ряда методических документов НИИЖБа, среди которых Рекомендации по исследованию железобетонных пространственных конструкций на моделях и Рекомендации по испытанию железобетонных пространственных конструкций покрытий в натурных условиях (1972 г.).

Практика показала перспективу использования в пространственных конструкциях армоцемента и фибробетона. В 1977 г. была выпущена Инструкция по проектированию армоцементных конструкций (СН 366-77), в 1985 г. — СНиП 2.03.03-85 Армоцементные конструкции, а в 1987 г. — Рекомендации по проектированию и изготовлению сталефибробетонных конструкций, в которых большое внимание уделялось тонкостенным пространственным конструкциям, в основном складчатым.

В 1979 г. в НИИЖБе под руководством проф. Г.К. Хайдукова было подготовлено Руководство по проектированию железобетонных пространственных конструкций покрытий и перекрытий, в котором были отражены результаты основных работ НИИЖБа и ряда других научных организаций страны в этой области за период 1950-1980 гг. Следует отметить, что рукопись Руководства рецензировалась комиссией под председательством А.А. Гвоздева.

Этот документ включал как общие рекомендации по проектированию тонкостенных конструкций, так и детальные экспериментально и теоретически обоснованные рекомендации по расчету и конструированию отдельных видов пространственных покрытий и перекрытий. Документ обобщал результаты огромного комплекса исследований в области работы пространственных конструкций на различных стадиях нагружения, их прочности и устойчивости. Значительное развитие в Руководстве получили методы расчета пространственных конструкций на основе метода предельного равновесия с учетом деформированного состояния. Впервые в Руководстве появились нормативные положения по расчету и конструированию висячих оболочек и панелей-оболочек различных видов.

В течение более 30 лет Руководство было основным нормативным и научно-методическим документом в области проектирования пространственных железобетонных конструкций покрытий.

За истекшие годы значительные изменения произошли в принятой в России нормативной базе строительства, основным содержанием которых стало повышение надежности строительных конструкций. Значительным изменениям подверглись подходы к расчету железобетонных конструкций, к назначению нагрузок на конструкции. Существенно более высокой стала прочность массово применяемых арматурных сталей и бетонов. Появились и были изучены новые виды пространственных конструкций и новые, более совершенные модификации известных видов пространственных конструкций. Компьютерные расчеты, основанные на методе конечных элементов, позволяющие получать детальное напряженно-деформированное состояние конструкций на всех стадиях их работы вплоть до разрушения, вытесняют из практики проектирования упрощенные аналитические методики расчета.

Необходимость актуализации положений Руководства-79 стала очевидной после выхода СНиП 52-01-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» и развивающих его сводов правил СП 52-101-2003 Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры, СП-102-2004 Предварительно напряженные железобетонные конструкции, СП 52-104-2006 Сталефибробетонные конструкции. В 2008 г. в НИИЖБе им. А.А. Гвоздева под руководством В.В. Шугаева был разработан свод правил СП 52-117-2008 «Железобетонные пространственные конструкции покрытий и перекрытий. Методы расчета и конструирования», переизданный в 2010 г. как СП 52-117-2008* с внесением изменений и дополнений. В целом этот документ повторял структуру и основные положения Руководства-79, дополненного в некоторых разделах и приведенного в соответствие с отечественной базой нормативных документов 2010 г.

К настоящему времени в нормативной базе произошли радикальные изменения, связанные с проводимой в отрасли актуализацией действующих нормативных документов и совершенствованием структуры нормативной базы. Так, введены в действие основополагающие нормативные документы: СП 63.13330.2012 — актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 и ряд последующих изменений к нему; ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения»; СП 20.13330 «Нагрузки и воздействия» в редакциях 2011 и 2016 гг., СП 96.13330.2016 «СНиП 2.03.03-85 “Армоцементные конструкции”»; подготовлен принципиально новый СП «Конструкции сталефибробетонные. Правила проектирования».

Приведение СП 52-117 в соответствие с положениями этих документов потребовало его коренного пересмотра. Эта работа была выполнена коллективом специалистов НИИЖБf им. А.А. Гвоздева. В результате подготовлена новая редакция СП «Железобетонные пространственные конструкции покрытий и перекрытий. Правила проектирования».

Этот СП распространяется на проектирование железобетонных оболочек, складок и других тонкостенных пространственных конструкций покрытий и перекрытий зданий и сооружений промышленного, гражданского и сельскохозяйственного строительства для эксплуатации в климатических условиях России, в среде с неагрессивной степенью воздействия, при статическом действии нагрузок.

Свод правил опирается на систему национальных нормативных документов, в числе которых СП по проектированию железобетонных конструкций (СП 63.13330), стальных конструкций (СП 16.13330), армоцементных конструкций (СП 96.13330), по нагрузкам и воздействиям (СП 20.13330), по основаниям зданий и сооружений (СП.22.13330), по строительству в сейсмических районах (СП 14.13330) и др., а также ГОСТы, определяющие требования по надежности строительных конструкций (ГОСТ 27751) и требования к материалам и изделиям, применяемым в железобетонных пространственных конструкциях. Существенно учтен зарубежный опыт, в первую очередь — материалы Международной ассоциации по оболочкам и пространственным конструкциям (IASS), отдельные положения норм США ACI 318.2-14 по тонким оболочкам из бетона.

В общих разделах СП содержится перечень общих требований к расчету и проектированию пространственных железобетонных конструкций зданий и сооружений, выполнение которых обеспечивает их безопасность, эксплуатационную пригодность и долговечность; классификация тонкостенных пространственных конструкций по различным признакам; основные расчетные положения, требования к материалам и изделиям.

Раздел «Основные требования к конструированию» содержит указания по конструктивным решениям железобетонных пространственных покрытий и перекрытий. Изложены особенности конст-

руирования монолитных, сборно-монолитных и сборных пространственных конструкций. Даны указания по выбору очертания поверхности пространственных конструкций, типу и форме поперечного сечения их элементов. Приведены рекомендации по назначению геометрических параметров конструкций – стрелы подъема, высоты сечения, толщине плиты и др. Даны указания по размещению рабочей арматуры в элементах пространственных конструкций, по конструированию стыков сборных элементов, по правилам устройства отверстий и проемов в плитах конструкций, а также деформационных швов.

В дальнейших разделах даны положения по расчету и конструированию конкретных видов тонкостенных пространственных железобетонных конструкций покрытий и перекрытий.

Раздел «Своды» содержит указания по проектированию пространственных конструкций в виде сводов. Представлены особенности конструирования сводов, правила назначения стрелы подъема свода и геометрических размеров его элементов. Изложены указания по особенностям расчета сводов, приведены расчетные зависимости для определения расчетных усилий в его элементах, даны указания по расчету железобетонных элементов свода по первой и второй группам предельных состояний. Даны указания по конструированию сборных цилиндрических и призматических (полигональных) сводов, складчатых сводов с треугольным поперечным сечением складок, с трапециевидным и волнистым поперечным сечением складок.

Раздел «Треугольные и трапециевидные складки» содержит указания по проектированию треугольных и трапециевидных складок. Приведены особенности конструирования балочных и призматических складок, а также складчатых оболочек. Представлены конструктивные схемы треугольных и трапециевидных складок и складчатых систем из них. Изложены указания по расчету складок, приведены расчетные зависимости для расчета предварительно напряженных стыков складчатых элементов, выполняемых с применением вставок из стержневой арматуры. Даны указания по конструированию треугольных и трапециевидных складок.

Раздел «Цилиндрические и складчатые оболочки» содержит указания по проектированию цилиндрических и складчатых оболочек. Даны указания по расчету коротких и длинных цилиндрических оболочек, в том числе по упрощенному расчету по прочности, жесткости и раскрытию трещин коротких и длинных оболочек с трещинами в продольных сечениях на действие только изгибающих моментов с приведением последовательности выполнения такого расчета и расчетных зависимостей. Даны указания по конструированию коротких и длинных сборных, сборно-монолитных и монолитных цилиндрических и складчатых оболочек. Представлены правила выбора типа бортовых элементов и назначения размеров их сечений. Приведены рекомендации по выбору типа поперечных сечений оболочек и правила армирования элементов оболочек.

Раздел «Купола» содержит указания по проектированию железобетонных пространственных покрытий и перекрытий, выполненных в виде купола. Изложены особенности расчета конструкции купола. Представлена методика расчета купола по безмоментной теории и по приближенной моментной теории с приведением расчетных зависимостей для определения усилий в элементах купола. Приведены методика, расчетные схемы излома и расчетные зависимости для расчета купола по несущей способности методом предельного равновесия. Даны указания по конструированию гладких куполов.

Раздел «Пологие оболочки положительной гауссовой кривизны на прямоугольном плане» содержит указания по расчету и конструированию оболочек положительной гауссовой кривизны на прямоугольном плане, имеющих небольшой подъем. В разделе даны сведения по конструктивным

решениям одно- и многоволновых разрезных и неразрезных в одном или в двух направлениях оболочек. Даны указания по расчету отдельно стоящих (одноволновых) оболочек по безмоментной теории с учетом краевого эффекта и по моментной теории, приведены расчетные зависимости. Изложены методика, расчетные схемы излома и расчетные зависимости для расчета несущей способности гладких и ребристых оболочек методом предельного равновесия. Даны указания по особенностям конструирования сборных гладких и ребристых оболочек. Представлены правила выбора типа конструктивных элементов. Приведены указания по конструированию стыков сборных элементов оболочек.

Раздел «Оболочки отрицательной гауссовой кривизны на прямоугольном плане» содержит указания по расчету и конструктивным решениям оболочек отрицательной гауссовой кривизны на прямоугольном плане. В разделе представлены сведения по конструктивным решениям оболочек, в том числе одно- и многопестковых гипаров. Даны указания по расчету гипаров. Приведены методика, расчетные схемы излома и расчетные зависимости для расчета несущей способности гладких гипаров методом предельного равновесия. Даны указания по особенностям конструирования и армирования гипаров.

Раздел «Висячие оболочки» содержит указания по расчету и конструированию оболочек, в которой роль основной рабочей арматуры играют ванты. В разделе даны сведения по рекомендуемым конструктивным решениям висячих оболочек с параллельными, радиальными и перекрестными вантовыми системами, указания по назначению несущих элементов висячих покрытий, по конструкции анкерных устройств для вант из стержневой стали и из канатов. Приводятся указания по расчету оболочек с радиальной и перекрестной системами вант, оболочек с полигональной системой вант, в том числе по расчету жесткости, трещиностойкости и несущей способности. Изложена методика расчета несущей способности висячих оболочек и их опорного контура методом предельного равновесия. Даны указания по особенностям конструирования висячих оболочек.

Раздел «Панели-оболочки “на пролет здания” и сводчатые конструкции из них» содержит указания по расчету и конструированию панелей-оболочек КЖС, представляющих собой короткий цилиндрический пологий предварительно напряженный свод-оболочку с двумя ребрами-диафрагмами сегментного очертания, гиперболических панелей-оболочек и сегментных сводов из панелей-оболочек КЖС. В разделе содержатся сведения по конструктивным решениям панелей-оболочек КЖС, гиперболических панелей-оболочек и сегментных сводов из панелей-оболочек КЖС. Даны указания по расчету панелей-оболочек КЖС по несущей способности, по устойчивости и деформациям. Приведены расчетные зависимости для расчета по прочности нормальных и наклонных сечений, зависимости для расчета анкеров рабочей арматуры диафрагм и для расчета по образованию трещин и прогиба панели-оболочки КЖС. Даны указания по расчету сегментных сводов из панелей-оболочек КЖС и гиперболических панелей-оболочек. Указаны особенности конструирования панелей-оболочек КЖС, гиперболических панелей-оболочек и сегментных сводов из панелей-оболочек КЖС.

Раздел «Вспарушенные панели с плоской верхней поверхностью» содержит указания по расчету и конструированию вспарушенных панелей с плоской верхней поверхностью, применяемых для однопролетных (разрезных) и многопролетных (неразрезных) покрытий и перекрытий, а также в качестве средних распорных элементов сборных безбалочных перекрытий. В разделе даны сведения по конструктивным решениям вспарушенных панелей с плоской верхней поверхностью постоянной толщины или с нижней поверхностью, очерченной по поверхности положительной гауссовой кривизны. Помещены рекомендации по расчету по предельным состояниям. Приведена методика расчета несущей способности методом предельного равновесия вспарушенных панелей прямоугольной

и полигональной формы в плане при их опирании по контуру, по двум сторонам или по углам. Даны указания по особенностям конструирования вспарушенных панелей, в том числе армирования плиты и контурных ребер.

Раздел «Шатровые конструкции» содержит указания по расчету и конструктивным решениям шатровых пространственных конструкций для покрытий или междуэтажных перекрытий зданий различного назначения, выполняемых в виде тонкостенных складок и пространственных плитно-стержневых систем (рамно-шатровые конструкции). Рассмотрены многопролетные (многоволновые) и однопролетные отдельно стоящие шатровые конструкции с опиранием по углам на колонны, по нескольким сторонам или по контуру и выполняемые сборными, сборно-монолитными, монолитными или комбинированными сталежелезобетонными. В разделе приведена методика расчета несущей способности шатровой конструкции методом предельного равновесия с учетом их опирания по контуру, по нескольким сторонам или по углам. Даны указания по особенностям конструирования и армирования плит и ребер сборных и монолитных шатровых конструкций.

В целом проект СП охватывает вопросы проектирования всех видов освоенных в строительстве железобетонных пространственных конструкций и дает важные рекомендации, которые следует учитывать при разработке новых видов пространственных железобетонных конструкций.

В настоящее время в применении пространственных конструкций из железобетона в отечественном строительстве наступил сложный период, вызванный экономическими причинами. Тем не менее, целесообразность применения пространственных конструкций как наиболее эффективных по своей природе в сопротивлении механическим воздействиям не может быть утрачена и лишь возрастет в перспективе с появлением новых бетонов и других материалов нового поколения, развитием технологии заводского производства и совершенствованием технологии строительно-монтажных работ. Важность развития этого направления и необходимость расширения исследований в этой области хорошо понимал А.А. Гвоздев. Этой теме был посвящен генеральный доклад А.А. Гвоздева на симпозиуме IASS в Ленинграде в 1966 г., в котором очень емко были обозначены направления, в которых необходимо развивать научные исследования – теория расчета пространственных конструкций и систем и практические рекомендации для их проектирования. Постоянное совершенствование норм по проектированию пространственных железобетонных конструкций на основе достижений современной науки – необходимое условие прогресса в строительстве.

Библиографический список

1. *Шугаев В.В.* Инженерные методы в нелинейной теории предельного равновесия оболочек. – М.: Готика, 2001.
2. *Шугаев В.В., Соколов Б.С., Пасхин Д.В.* Экспериментально-теоретические исследования сводчатого покрытия из панелей оболочек КЖС. // Строительная механика и расчет сооружений. — 2007. — №5. — С. 67-72.
3. *Шугаев В.В., Соколов Б.С.* Сборные большепролетные пространственные покрытия с большими световыми проемами. // Промышленное и гражданское строительство. — 2013. — №1. — С. 11-12.
4. *Дехтярь А.С.* Несущая способность пологих оболочек с нерегулярной срединной поверхностью. // Строительная механика и расчет сооружений. — 2014. — №4. — С. 6-9.

5. Панин А.Н., Семенов А.А. Исследование прочности пологих оболочек из бетона на основе различных критериев прочности. // Строительная механика и расчет сооружений. — 2015. — №3. — С. 17-23.

6. Соколов Б.С., Пасхин Д.В., Пиеничников А.В. Сборные большепролетные сводчатые покрытия с применением линейных элементов из высокопрочного бетона. // Вестник НИЦ «Строительство». Бетон и железобетон – проблемы и перспективы: Сб. статей. — Вып. 1 (12) / Под ред. А.И. Звездова – М.: АО «НИЦ «Строительство», 2017. – С. 23-35.

7. Соколов Б.С., Пасхин Д.В., Титаев В.А. Исследование конструктивных параметров пространственных перекрытий рамно-шатрового типа. // Вестник НИЦ «Строительство». Бетон и железобетон – проблемы и перспективы: Сб. статей. — Вып. 4 (15) / Под ред. А.И. Звездова – М.: АО «НИЦ «Строительство», 2017. – С. 16-27.

Автор:

Борис Сергеевич СОКОЛОВ, канд. техн. наук, заведующий лабораторией тонкостенных и пространственных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Boris SOKOLOV, Ph.D. in Engineering, Head of the Laboratory of thin-walled and spatial structures of NIIZHB named after A. A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: moo-shell@mail.ru

тел.: +7 (499) 174-74-80