

УДК 624.074.2.42.43

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-4\(27\)-97-106](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-4(27)-97-106)

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОКРЫТИЙ И ПЕРЕКРЫТИЙ В ПОСОБИИ К СП 387.1325800.2018

## REINFORCED CONCRETE SPATIAL STRUCTURES DESIGNING IN THE MANUAL TO THE SP 387.1325800.2018

Б. С. СОКОЛОВ, канд. техн. наук

В. А. ТИТАЕВ, канд. техн. наук

Д. В. ПАСХИН

*Введен в действие Свод правил СП 387.1325800.2018 «Железобетонные пространственные конструкции покрытий и перекрытий. Правила проектирования», в котором даны общие правила и требования к расчету и конструированию железобетонных оболочек, складок и других тонкостенных пространственных конструкций покрытий и перекрытий зданий и сооружений промышленного, гражданского и сельскохозяйственного строительства. Необходимость сопровождения теоретических положений практическими примерами расчета эффективных видов железобетонных пространственных конструкций обусловила разработку методических материалов по расчету и проектированию таких конструкций. Пособие содержит необходимые теоретические и практические рекомендации, а также примеры расчета основных типов железобетонных пространственных конструкций зданий и сооружений различного назначения.*

*The Code of Rules SP 387.1325800.2018 'Spatial reinforced concrete structures of roofs and floors. Design requirements', which gives general rules for the calculation and design of spatial reinforced concrete structures, enacted. The need to accompany theoretical provisions with practical examples of calculating effective types of spatial reinforced concrete structures required to develop methodological materials (manual) for the calculation and design of such structures. The manual contains the necessary theoretical and practical recommendations, as well as examples of the calculation of the main types of reinforced concrete structures of buildings and structures for various purposes. Among the examples presented are spherical dome, diverse shells, and folded plates. The Manual includes recommendations for physical modeling of reinforced concrete spatial structures.*

*Среди представленных примеров сферический купол, оболочки различных видов, складки. Пособие включает рекомендации по физическому моделированию железобетонных пространственных конструкций.*

**Ключевые слова:**

*Железобетонные пространственные конструкции, конструирование, купол, моделирование, несущая способность, оболочка, складка*

**Key words:**

*Carrying capacity, designing, dome, folded plate, modeling, reinforced concrete spatial structures, shell*

Современный подход к расчету железобетонных оболочек и складок базируется преимущественно на применении численных методов с использованием программных комплексов и компьютерной техники. Применение таких методов позволяет получить решение в случаях расчетов конструкций со сложной геометрической формой и нерегулярным характером граничных условий, при необходимости учета произвольной нагрузки, в том числе усилий предварительного обжатия оболочки, неравномерных снеговых и ветровых нагрузок.

При решении задач проектирования тонкостенных пространственных конструкций, в которых возможно существенно нелинейное изменение напряженного состояния вследствие изменения геометрической формы под нагрузкой, а также влияния ползучести бетона и других факторов, весьма важно правильно оценивать напряженно-деформированное состояние конструкции на всех стадиях ее работы. Для получения корректных результатов расчета таких конструкций методом конечных элементов следует предельно ответственно подходить к построению расчетных моделей, проверяя их адекватность моделируемой стадии работы конструкции. Такая проверка может быть выполнена путем сопоставления результатов расчета с непосредственными результатами экспериментальных исследований или результатами расчета по надежной методике, апробированной на результатах выполненных ранее экспериментальных исследований.

Для наиболее распространенных типов геометрических поверхностей, используемых в проектировании железобетонных пространственных покрытий, выполнен огромный объем теоретических и экспериментальных исследований. Накопленный обширный отечественный и зарубежный опыт исследований, проектирования и строительства пространственных железобетонных конструкций обобщен в СП 387.1325800.2018 «Железобетонные пространственные конструкции покрытий и перекрытий. Правила проектирования», в котором даны общие правила и требования к расчету и конструированию железобетонных оболочек, складок и других тонкостенных пространственных конструкций покрытий и перекрытий зданий и сооружений промышленного, гражданского и сельскохозяйственного строительства.

Расчеты тонкостенных пространственных конструкций по методикам, основанным на той или иной теории расчета оболочек, на основе метода предельного равновесия, достаточно сложны и требуют высокой квалификации и навыка. В связи с необходимостью сопровождения теоретических положений практическими примерами расчета эффективных видов

железобетонных пространственных конструкций потребовалась разработка методических материалов по расчету и проектированию таких конструкций. В 2019 г. специалистами лаборатории тонкостенных и пространственных конструкций НИИЖБ им. А. А. Гвоздева выполнена разработка «Методического пособия по проектированию железобетонных пространственных конструкций покрытий и перекрытий (к СП 387.1325800.2018)».

Пособие содержит необходимые теоретические и практические рекомендации, а также примеры расчета основных типов железобетонных пространственных конструкций зданий и сооружений различного назначения. Приведенные в Пособии примеры расчета оболочек и складок основаны на применении ручных методов расчета, достоверность которых обоснована результатами экспериментальных исследований и опытом проектирования. Такие методы могут с успехом использоваться при обосновании технических решений и для проверки результатов компьютерных расчетов при рабочем проектировании.

По сравнению с «Пособием по проектированию железобетонных пространственных конструкций покрытий и перекрытий (к СП 52-177-2008\*)», также разработанным в НИИЖБ и выпущенным АО «НИЦ «Строительство» в 2010 г., в настоящем издании пересмотрены и расширены общие разделы; в разделы по отдельным видам конструкций внесена в необходимом объеме теоретическая часть; даны некоторые уточнения в расчетные методики; сделаны необходимые пояснения и дополнения, в том числе справочного характера; расчетные примеры существенно скорректированы в соответствии с изменениями за истекший период в нормативных документах; введен раздел о моделировании железобетонных пространственных конструкций.

Структура Пособия в целом соответствует структуре СП 387.1325800.2018.

Раздел «Общие положения» устанавливает принципиальные положения: общие требования к проектированию железобетонных пространственных конструкций; общие требования к расчету таких конструкций; основные требования к применяемым материалам; общие требования к конструированию таких конструкций.

Раздел «Конструирование и расчет» включает 9 подразделов по отдельным типам пространственных конструкций. Подразделы содержат сведения об особенностях конструирования соответствующего типа конструкций, рекомендуемую методику расчета и примеры ее численной реализации. Остановимся подробнее на содержании подразделов.

### **1. Сборный сферический купол**

В теоретической части этого подраздела даны рекомендации по назначению рациональных значений соотношений основных геометрических параметров куполов (отношение стрелы подъема к диаметру опорного контура, отношение толщины оболочки к радиусу кривизны оболочки), общие сведения по конструированию гладких и ребристых куполов, принципам армирования оболочки и опорных колец.

Изложена методика расчета осесимметричных куполов по безмоментной теории с последующим наложением усилий краевого эффекта. Приведены формулы для определения мембранных усилий в сферических замкнутой и незамкнутой (с центральным отверстием) оболочках по безмоментной теории на отдельные виды нагрузок, расположенных осесимметрично, а также при действии односторонней равномерно распределенной нагрузки. Приведены формулы методики определения краевых изгибающих моментов и распора купола.

Методика расчета иллюстрируется подробным примером проектирования сборного железобетонного сферического купола диаметром 90 м с фонарным отверстием диаметром

12 м (Пример № 1). В этом примере выполнен расчет купола методами теории упругости в эксплуатационной стадии работы при действии собственного веса конструкций, веса покрытия и снеговой нагрузки. В табличной форме приведены результаты расчета напряженного состояния оболочки в заданных сечениях. Выполнена расчетная оценка прогиба купола. Даны расчет и конструирование предварительно напряженного опорного кольца. Выполнена проверка устойчивости оболочки при действии равномерно распределенной нагрузки. Определены усилия краевого эффекта в зоне сопряжения оболочки и опорного кольца; результаты расчета приведены в табличной форме и на эпюрах.

Расчет куполов по несущей способности рекомендуется выполнять кинематическим способом метода предельного равновесия. Приведены расчетные формулы методики и таблица корректирующих коэффициентов, зависящих от вида опирания купола и характера внешней нагрузки. Методика расчета иллюстрируется примером расчета несущей способности монолитного железобетонного купола с диаметром опорного кольца 36 м (Пример № 2).

Поскольку предельная стадия работы тонкостенных куполов характеризуется влиянием изменения их геометрии под нагрузкой на несущую способность конструкции, изложена методика расчета несущей способности купола по деформированной схеме. Приведен пример расчета несущей способности купола с данными предыдущего примера с учетом его деформированного состояния (Пример № 3).

## **2. Пологие оболочки положительной гауссовой кривизны на прямоугольном плане**

В теоретической части этого подраздела даны общие сведения по конструированию гладких и ребристых оболочек положительной гауссовой кривизны на прямоугольном плане, приведены рекомендации по армированию сборных и монолитных оболочек и опорных конструкций (контурных арок, диафрагм или криволинейных брусьев).

Представлена методика расчета отдельно стоящих квадратных в плане оболочек по моментной теории в виде элементарных формул для определения внутренних усилий в сечениях оболочки при действии равномерно распределенной или кососимметричной нагрузок. Корректирующие коэффициенты в этих формулах, зависящие от относительных координат сечений и жесткостных параметров оболочки, приведены в таблицах. Представлена формула оценки (по безмоментной теории расчета оболочек) прогиба отдельно стоящих квадратных в плане оболочек, свободно опертых по контуру, при действии равномерно распределенной нагрузки.

В Примере № 4 рассмотрено проектирование пологой сборной железобетонной оболочки покрытия здания на квадратном плане с размерами сторон  $42 \times 42$  м. В примере выполнены сбор нагрузок на оболочку, проверка оболочки на устойчивость, расчет оболочки на равномерно распределенную симметричную нагрузку, расчет оболочки при неравномерном распределении снега на покрытии, расчет приконтурной зоны оболочки, расчет прогиба оболочки, расчет сборного элемента оболочки на монтажную нагрузку.

Несущая способность поля плиты сборной оболочки определяется методом предельного равновесия по приведенной в Пособии методике, основанной на конвертной схеме разрушения. Определение несущей способности поля панели оболочки из предыдущего примера рассмотрено в Примере № 5. Расчет, рекомендованный для определения несущей способности приконтурной зоны оболочки (с учетом изгибающего момента в криволинейной линии излома опорного сечения), рассмотрен в Примере № 6.

Расчет опорного контура проводится на действие краевых нагрузок от оболочки (сдвигающих и поперечных сил) и от массы контура в предположении, что оболочка шарнирно закреплена на абсолютно жестком в плоскости и гибком из плоскости контуре. В Примере № 7 рассмотрено проектирование опорного контура оболочки по примеру № 4, по результатам расчета которой рассчитаны вертикальные и горизонтальные силы, действующие на контур. Рассмотрен расчет контурного ригеля на монтажную нагрузку и в стадии эксплуатации. Представлен расчет стыка контурного ригеля.

В Примере № 8 выполнен подбор сечения элементов монтажной секции оболочки в виде пространственной шпренгельной фермы пролетом 18 м из трех плит  $3 \times 6$  м.

### 3. Длинная цилиндрическая оболочка

Подраздел посвящен цилиндрическим оболочкам – конструкциям, состоящим из тонкой оболочки, очерченной по цилиндрической поверхности, бортовых элементов вдоль крайних образующих и поперечных диафрагм по криволинейным краям, опирающихся на колонны или стены. Длинными цилиндрическими оболочками называются такие, у которых расстояния между осями опорных диафрагм не меньше расстояния между бортовыми элементами.

Даны рекомендации по выбору рациональной формы и конструированию длинных цилиндрических оболочек и их элементов, армированию и устройству стыков смежных элементов в сборном варианте конструкции.

Для оболочек, опертых по углам, при действии равномерно распределенной нагрузки рекомендован расчет оболочки как балки криволинейного поперечного сечения. Приведена методика такого расчета.

В многоволновых покрытиях из длинных цилиндрических оболочек, опертых по углам, крайние полуволны допускается рассчитывать по упрощенной схеме – как полуволны одноволновой оболочки. Средние волны многоволновых оболочек и складок допускается рассчитывать как оболочки, у которых продольные края закреплены от смещений в горизонтальной плоскости и от поворота в плоскости поперечного сечения. После определения усилий в оболочке расчет армирования оболочки, ее перемещений и ширины раскрытия трещин в бортовых элементах выполняется по СП 63.13330 [6]. Усилия в угловых зонах оболочек определяют из их расчета как упругих систем.

В Примере № 9 выполнено проектирование сборной цилиндрической оболочки для здания с сеткой колонн  $12 \times 30$  м из сборных ребристых панелей цилиндрической формы с размерами в плане  $3 \times 12$  м. Выполнен сбор нагрузок, определены геометрические параметры оболочки. Для продольного направления оболочки выполнен расчет по прочности на действие изгибающих моментов и подбор продольной арматуры бортовых балок, расчет по прочности на действие поперечных сил и подбор арматуры криволинейной плиты, расчет бортовых балок по образованию трещин, нормальных к продольной оси оболочки. Выполнен расчет оболочки по деформациям с учетом обратного выгиба бортового элемента от действия предварительного обжатия и вследствие усадки и ползучести бетона.

Расчет в поперечном направлении оболочки при действии равномерно распределенной поверхностной нагрузки выполняется как для круговой бесшарнирной арки единичной ширины, что дает возможность получить функцию изменения сдвигающих усилий по сечению оболочки и определить поперечные изгибающие моменты и соответствующие им поперечные и нормальные усилия. Методика расчета изложена, необходимые для расчета коэф-

фициенты приведены в таблицах. Пример № 10 иллюстрирует расчет внутренних усилий, действующих в поперечном направлении, на примере длинной цилиндрической оболочки, рассматриваемой в Примере № 9.

Диафрагмы рассчитывают как плоские стержневые или балочные конструкции на действие нагрузки от собственного веса и опорного давления, передаваемого в виде сдвигающих сил, касательных к срединной поверхности оболочки или складки. В Примере № 11 для той же длинной цилиндрической оболочки рассчитаны по модели двухшарнирной арки изгибающие моменты, продольные и поперечные силы для проектирования торцевой диафрагмы.

#### **4. Панели-оболочки КЖС**

В этом подразделе представлены рекомендации по конструированию и расчету панели-оболочки КЖС – короткого цилиндрического пологого предварительно напряженного свода-оболочки с двумя ребрами-диафрагмами сегментного очертания. Даны рекомендации по выбору рациональных геометрических параметров и материалов. Представлены принципиальные решения по армированию оболочки и диафрагм, методика расчетного подбора продольной и поперечной арматуры. Приведены формулы для оценки прогибов.

Оболочку панели-оболочки КЖС рекомендуется рассчитывать на изгиб в направлении ее образующей как короткую цилиндрическую оболочку между диафрагмами. При этом необходимо учитывать изменения геометрической схемы конструкции вследствие роста прогибов, появления и развития трещин в диафрагмах и уменьшения кривизны оболочки в процессе ее нагружения.

Приведена методика расчета несущей способности оболочки на изгиб методом предельного равновесия.

В Примере № 12 представлено проектирование панели-оболочки размером  $3 \times 24$  м. Назначены основные размеры конструкции, выполнен сбор нагрузок, определены расчетные усилия. Выполнены расчет оболочки КЖС по общей несущей способности и устойчивости, расчет прочности сечений, наклонных к продольной оси панели, по поперечной силе, расчет поля оболочки на изгиб вдоль образующей. Выполнена проверка панели КЖС по второй группе предельных состояний.

#### **5. Оболочка из гиперболических панелей**

В подразделе даны общие сведения по проектированию покрытий в форме одно- и многолепестковых пологих гиперболических параболоидов (гипаров).

Усилия и перемещения в гипарах следует определять исходя из предположения упругой работы материала по моментной теории с учетом влияния жесткостей контурных элементов и коньковых балок. Несущую способность гладких гипаров на квадратном плане при действии равномерно распределенной нагрузки рекомендуется определять по методу предельного равновесия. Приведены методики расчета однолепестковых гипаров при различных условиях их опирания.

В Примере № 13 выполнено проектирование покрытия здания в виде сборной четырехлепестковой составной оболочки с горизонтальными коньками с размерами в плане  $6 \times 18$  м, с опиранием по углам и затяжками по контуру. Назначены основные размеры конструкции, проведен сбор нагрузок. Выполнены расчет конструкции по безмоментной теории, поверочный расчет оболочки как шпренгельной системы, расчет оболочки на действие односторонней снеговой нагрузки, расчет панели в стадии монтажа.

В Примере № 14 выполнена проверка несущей способности четырехлепестковой оболочки покрытия, рассмотренной в Примере № 13.

### **6. Короткая цилиндрическая призматическая складка**

Представленные в подразделе конструкции покрытий состоят из тонкой плиты, очерченной по призматической поверхности, вписанной в цилиндрическую (собственно складки), из бортовых элементов, окаймляющих складку вдоль крайних образующих, из поперечных диафрагм по криволинейным краям, опирающихся на колонны или стены. В коротких складках расстояние между бортовыми элементами (длина волны) больше расстояния между осями опорных диафрагм (пролета оболочки).

Даны рекомендации по выбору рациональной формы и конструированию коротких цилиндрических призматических складок и их элементов, по армированию и устройству стыков смежных элементов в сборном варианте конструкции.

Расчет складчатых покрытий ведут для двух стадий работы конструкции – до и после омоноличивания швов между сборными элементами покрытия. До замоноличивания швов сборные элементы складок рассчитывают как разрезные конструкции на воздействие нагрузок, возникающих в стадиях изготовления, транспортирования и возведения. После замоноличивания швов (в стадии эксплуатации) складку рассчитывают на воздействие постоянных и временных нагрузок как пространственную конструкцию по схемам разрушения, охватывающим одну или две крайние грани складки.

Приведена методика расчета прочности складок и их элементов кинематическим способом метода предельного равновесия.

В Примере № 15 запроектирована сборно-монолитная призматическая складка с размерами в плане  $12 \times 24$  м из плоских ребристых панелей  $3 \times 12$  м и из железобетонных безраскосных ферм пролетом 24 м. Выполнены сбор нагрузок, расчет полки и поперечных ребер панели, подбор площади сечения арматуры полки панели, проверка сборной панели на общий излом полки панели, расчет прочности сечений, наклонных к продольной оси поперечных ребер, расчет продольных ребер панели в стадии возведения на воздействие собственного веса панели и снеговой нагрузки, расчет продольных ребер на кручение, расчеты разрезной однопролетной складки по различным схемам излома, расчеты на сдвигающие усилия у диафрагм и на поперечные силы по наклонным сечениям.

### **7. Длинная складка**

В подразделе представлены рекомендации по проектированию балочных складок призматического (треугольного или трапециевидного) поперечного очертания, у которых длина пролета больше ширины поперечного сечения.

Даны рекомендации по конструированию складок, по методам их расчета по балочной схеме в предположении линейного распределения продольных деформаций по высоте сечения и как пространственных систем с учетом депланации поперечного сечения.

В Примере № 16 выполнено проектирование складки размером  $3 \times 18$  м из железобетонных ребристых плит. Складка рассматривается как шарнирно-опертая балка постоянного сечения пролетом 18 м. Выполнены сбор нагрузок, статический расчет складки в продольном направлении, расчет поперечных ребер складки.

## 8. Ступенчато-вспарушенная панель

Подраздел 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. Представлены сведения по конструктивным решениям вспарушенных панелей с плитой переменной толщины, плавно или ступенчато увеличивающейся к контуру, указания по особенностям конструирования, в том числе армирования плиты и контурных ребер. Даны рекомендации по расчету по предельным состояниям. Приведена методика расчета несущей способности методом предельного равновесия вспарушенных панелей прямоугольной формы в плане при их опирании по контуру, по двум сторонам или по углам. Дана формула для оценки прогиба плиты вспарушенной панели.

В Примере № 17 выполнено проектирование сборной ступенчато-вспарушенной панели размером в осях  $3,3 \times 5,4$  м с опиранием по двум коротким сторонам. Проведен сбор нагрузок, выполнены расчет армирования и прогиба плиты, расчет продольных ребер по прочности на действие изгибающих моментов и поперечных сил, расчет продольных ребер по раскрытию трещин, расчет прогибов продольных ребер с учетом трещин.

## 9. Рамно-шатровое перекрытие

Подраздел содержит указания по расчету и конструктивным решениям рамно-шатровых конструкций для междуэтажных перекрытий зданий различного назначения, выполняемых в виде пространственных плитно-стержневых систем. Даны рекомендации по рациональному выбору типа и технических параметров рамно-шатровых конструкций в различных проектных ситуациях, приведены особенности конструирования и армирования плит и ребер сборных и монолитных рамно-шатровых конструкций. Изложена методика расчета несущей способности шатровой конструкции методом предельного равновесия с учетом их опирания по контуру, по нескольким сторонам или по углам; даны рекомендации по расчету угловых зон шатровых конструкций.

В Примере № 18 запроектировано междуэтажное перекрытие торгового здания с сеткой колонн  $12 \times 12$  м в виде сборных рамно-шатровых конструкций с опиранием по углам конструктивной ячейки здания на капители колонн. Приведены выбор геометрических параметров конструкции и сбор нагрузок. Выполнены расчет поля и ребер жесткости плит, расчеты несущей способности рамно-шатровой конструкции в целом и с учетом конструктивных особенностей сборного варианта исполнения.

Отдельным разделом Пособия даны рекомендации по физическому моделированию при проектировании и исследовании железобетонных пространственных конструкций.

Метод моделирования является эффективным средством исследования железобетонных пространственных конструкций. Проведение расчета таких конструкций с учетом всех их особенностей (сложных форм поверхности, сложных граничных условий, наличия ребер, опасности местной потери устойчивости тонкой плиты и т. д.) во многих случаях встречает серьезные затруднения. Метод моделирования позволяет провести качественное и количественное исследование напряженно-деформированного состояния конструкции; оценить достоверность методов ее расчета, распространить результаты единичных опытов на целый класс подобных конструкций.

ГОСТ 27751-2014 [1] в пп. 3.6 и 3.7 устанавливает необходимость использования данных экспериментальных исследований на моделях или натуральных конструкциях в некоторых случаях, например, для конструкций зданий и сооружений повышенного уровня ответственности класса КС-3, для которых не разработаны надежные методы расчета. К таким конструкциям нередко относятся большепролетные пространственные конструкции покрытий.

В этом разделе Пособия приведены некоторые сведения по теоретическим основам моделирования, описаны применяемые виды моделей для получения требуемых результатов исследований, даны рекомендации по выбору материалов для физических моделей на основе критериев подобия материалов модели и натуре, приведены сведения по изготовлению моделей, испытательных стендов и нагрузочных устройств, по средствам измерения деформаций и перемещений в ходе испытаний, по методике проведения испытаний и обработке полученных результатов.

Пособие предназначено для широкого круга специалистов, чья деятельность связана с проектированием пространственных железобетонных конструкций и экспертизой проектных решений, для инженерно-технических работников научных организаций. Представляется, что описанный методический материал будет востребован в учебном процессе преподавателями и студентами строительных учебных заведений.

## Библиографический список

1. ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения.
2. СП 387.1325800.2018 Железобетонные пространственные конструкции покрытий и перекрытий. Правила проектирования.
3. Методическое пособие по проектированию железобетонных пространственных конструкций покрытий и перекрытий (к СП 387.1325800.2018).
4. СП 52-177-2008\* Железобетонные пространственные конструкции покрытий и перекрытий. Методы расчета и конструирование. ОАО «НИЦ «Строительство», М., 2010.
5. Пособие по проектированию железобетонных пространственных конструкций покрытий и перекрытий (к СП 52-177-2008\*). НИИЖБ им. А.А. Гвоздева – институт ОАО «НИЦ «Строительство». М., 2010. – 159 с.
6. СП 63.13330.2018 СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения.
7. Соколов Б.С. Развитие норм проектирования железобетонных пространственных конструкций покрытий и перекрытий в России / Сборник: I международные научно-технические Гвоздевские чтения, приуроченные к 120-летию со дня рождения А.А. Гвоздева и 90-летию НИИЖБ им. А.А. Гвоздева. 2017. С. 41-51.
8. 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). 2017. С. 16-27.
9. Шугаев В.В., Соколов Б.С., Пшеничников А.В. Расчет сборных железобетонных пространственных конструкций покрытий / «Бетон и железобетон – взгляд в будущее»: Научные труды III Всероссийской (II Международной) конференции по бетону и железобетону (Москва, 12-16 мая 2014 г.) в 7 т. Т. 1. Теория железобетона. Железобетонные конструкции. Расчет и конструирование. Москва: МГСУ, 2014. С. 414-425.

10. *Шугаев В.В.* Инженерные методы в нелинейной теории предельного равновесия оболочек. М.: Готика, 2001. 368 с.

11. *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.

12. *Шугаев В.В., Соколов Б.С.* Расчет несущей способности гладких и ребристых железобетонных оболочек методом предельного равновесия в нелинейной постановке // *Строительная механика и расчет сооружений*, 2005. №1. С. 8-13.

13. *Стельмах С.И., Хайдуков Г.К.* Рекомендации по исследованию железобетонных пространственных конструкций на моделях / В кн.: *Пространственные конструкции зданий и сооружений (исследование, проектирование, возведение)*. Вып. № 1. М.: Стройиздат, 1972. С. 164-181.

14. *Хайдуков Г.К., Шугаев В.В., Краковский М.Б.* Моделирование при исследовании железобетонных пространственных конструкций / В кн.: *Расчет и конструирование железобетонных конструкций*. Тр. VII конф. по бетону и железобетону. М., Стройиздат, 1972. С. 10-20.

## Авторы:

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. (Engineering), Head of the Laboratory for 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

Виталий Александрович ТИТАЕВ, канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории тонкостенных и пространственных конструкций НИИЖБ им. А. А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Vitaly TITAEV, Ph. D. (Engineering), assistant professor, leading researcher of the Laboratory for 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

Дмитрий Владимирович ПАСХИН, заместитель заведующего лабораторией тонкостенных и пространственных конструкций НИИЖБ им. А. А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Dmitry PASKHIN, Deputy Head of the Laboratory for 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