



The article presents a study of the influence of the material of sheet skins on the parameters of resonant and inertial sound transmission through frame-sheathed partitions with sigma-shaped rack profiles. Three materials of sheet skins are considered. The ratios of the physical and mechanical parameters of the partitions are determined, which make it possible to use effectively reserves for increasing sound insulation. The frequency characteristics of the coefficients of resonant and inertial passage of sound through partitions with three sheeting materials are constructed and analyzed.

REFERENCES

1. Wang J., Lu T. J., Woodhouse J., Langley R. S., Evans J. Sound transmission through lightweight double-leaf partitions: theoretical modelling // J. Sound Vib., 2005. Vol. 286. P. 817–847.
2. Bogolepov I. I. Uvelichenie zvukoizolyatsii dvustennykh konstruktsey za schyot primeneniya zvukoizoliruyushikh mostikov [Increasing the sound insulation of double-walled structures through the use of soundproof bridges]. Inzhenerno-stroitelny zhurnal [Engineering and Construction Journal]. 2009, № 2. – P. 46–53.
3. Van den Wyngaert, Jan C. E. Shape optimization of studs in double-leaf plasterboard walls for maximal boardband sound insulation and minimal material use // Applied Acoustics. 2021. – Volume 183. – DOI:10.1016/J.APACOUST.2021.108307.
4. Dymchenko V. V. Zvukoizolyatsiya karkasno-obshivnykh peregorodok s odinarnym karkasom [Sound insulation of frame-sheathed partitions with a single frame]: dis... kand. tekhn. nauk. – Moscow, 2019. – 168 p.
5. Bobilyov V. N., Dymchenko V. V., Monich D. V., Khazov P. A. Chislennoe modelirovanie zvukoizoliruyushikh karkasno-obshivnykh peregorodok s razlichnymi tipami stoechnykh profily [Numerical simulation of sound-insulating framed partitions with various types of frame profiles]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2018. № 1. – P. 20–24.
6. Sedov M. S. Zvukoizolyatsiya. Tekhnicheskaya akustika transportnykh mashin [Sound insulation. Technical acoustics of vehicles]: spravochnik, pod red. N. I. Ivanova. Saint-Petersburg: Politehnika, 1992. Ch. 4. P. 68–106.

© В. В. Дымченко, Д. В. Монич, 2022

Получено: 28.06.2022 г.

УДК 624.074.24

В. Д. АНТОШКИН, д-р техн. наук, доц., зав. кафедрой зданий, сооружений и автомобильных дорог

СБОРНЫЕ СФЕРИЧЕСКИЕ ОБОЛОЧКИ С ШЕСТИУГОЛЬНЫМИ ПАНЕЛЯМИ НА ОСНОВЕ СЕТИ ЧЕБЫШЕВА

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева»

Россия, 430005, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68. Тел.: (8342) 24-37-32;

факс: (8342) 47-29-13; эл. почта: antovd@mail.ru

Ключевые слова: сборная пространственная структура, сферическая оболочка, конструктивно-технологическое решение, окружность, панель, шестиугольник, разрезка, пирамида.



Рассмотрены вопросы конструктивно-технологического формообразования одно- и двухоясных оболочек на основе пространственной сети Чебышева; предложены и исследованы несколько конструктивно-технологических методов образования треугольных сетей на сфере с шестиугольными монтажными панелями, которые названы системой «Чант». Критерием оптимальности является минимальное число типоразмеров конструктивных деталей и минимальное число монтажных элементов купола, возможности укрупнительной сборки и предварительного напряжения.

Во всех конструктивных решениях куполов просматривается тенденция применения уже на стадии разрезки и формообразования этих покрытий эффективных технологических решений изготовления отдельных элементов, стеновой укрупнительной сборки сегментов куполов, возведения их с обеспечением заданной точности монтажа покрытия в целом или основных его несущих конструкций. Учитывая, что не все возможности разбиения сферы на панели или стержни еще исчерпаны и что преобладающее количество сетчатых куполов построено на сфере, проанализируем решения сборных сферических куполов из шестиугольных панелей и треугольных панелей между ними исходя из построений на сфере треугольной сети [4].

Оптимизация треугольной геометрической сети на сфере по критерию минимума типоразмеров элементов может быть представлена и решена размещением правильных и неправильных шестиугольников, вписанных в окружности равных радиусов, например, в сферических секторах, показанных на рис. 1 и 2. Кроме перечисленных вариантов применения свойств симметрии главных линий-окружностей сферы, в подобных разрезках реализованы возможности центральной симметрии окружностей. Использование указанных окружностей для построения геометрической сети из треугольников и шестиугольников позволяет на 5–30 % снизить число типоразмеров монтажных элементов купола, получить при необходимости плоские шестиугольные панели, а также воспользоваться конструктивными преимуществами предварительного напряжения.

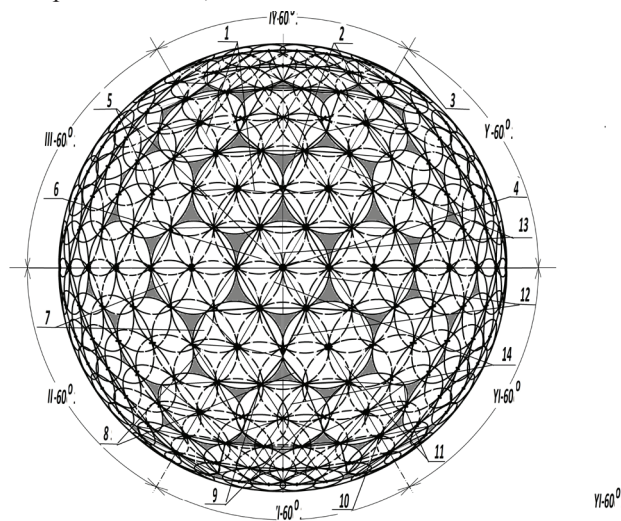
Инновационные конструктивно-технологические формы купольных покрытий в виде сферических оболочек должны обеспечивать реализацию всех вышеизложенных принципов и подходов уже на стадии геометрической разрезки сферы. Предлагаемые авторами геометрические схемы членения сферической оболочки разработаны путем использования в качестве исходной основы разрезки и распределения Чебышева в сферических секторах – 60°. Каждая разновидность разрезки как геометрическая основа имеет свои архитектурные, технологические и конструктивные возможности и будет оптимальна только для определенного вида куполов или оболочек. Отсюда следует, что должны быть предложены, рассчитаны и проработаны параметры нескольких типов разрезов, чтобы в конкретной проектной ситуации можно было выбирать тот вариант, который был бы оптимален для конкретного проектируемого здания или сооружения.

Нами предложены и исследованы несколько конструктивно-технологических методов образования треугольных сетей на сфере с шестиугольными монтажными панелями, которые названы системой «Чант». В каждом из них критерием оптимальности является минимальное число типоразмеров конструктивных деталей и минимальное число монтажных элементов купола, возможности укрупнительной сборки и предварительного напряжения.

Суть предложенного первого варианта разрезов «Чант» заключается в том, что сборная сферическая оболочка включает шестиугольные каркасные пирами-

дальние панели с центрами на соответствующих узлах Чебышева и между ними треугольные панели, разнотипные марки которых одинаковым образом расположены в пределах секторов 60° , имеющих общую вершину в центре панели, выполненной в виде правильной шестиугольной панели-пирамиды, каждая следующая пирамида неправильная, но с плоским основанием и состоит из шести состыкованных равнобедренных треугольников, соединяется с соседними через треугольные панели между ними. Оба типа панелей имеют узлы с узловыми элементами, которые образуют одинаковые ряды, позволяющие использовать оболочку для поясов двухпоясной структуры. В пределах секторов, составляющих 60° , все узлы основания шестиугольных панелей-пирамид описаны окружностями одного радиуса (равного боковой стороне равнобедренного треугольника), проведенного из существующих центров панелей-пирамид, благодаря этому внутри секторов плоские основания смежных шестиугольных панелей пирамид соединены между собой узлами в одной из двух точек пересечения указанных окружностей с соответствующими центрами, стороны треугольных панелей между шестиугольными панелями пирамидами не равны между собой.

Для первого варианта решений в пределах секторов, составляющих 60° в сборных сферических оболочках шестиугольные панели выполнены с углами, описанными окружностями с равными радиусами только из центров Чебышева, лежащих на сфере в шахматном порядке. Между шестиугольными панелями расположены треугольные панели (несущие или ненесущие), углы шестиугольных панелей описаны своими радиусами из центров панелей, смежные шестиугольные панели соединены между собой в точках пересечения и в точках касания окружностей, описывающих панели. Панель на вершине купола выполнена одного радиуса и также в виде правильного шестиугольника. Шестиугольные панели могут быть выполнены также, в свою очередь, из треугольных панелей с узлом соединения в центре шестиугольной панели (центре окружности, в которую они вписаны). На рис. 1а изображен вид сверху сборной сферической оболочки с шестью секторами в плане, составляющими 60° ; на рис. 1б – вид сбоку сборной сферической оболочки с шестью секторами в плане, составляющими 60° .



a

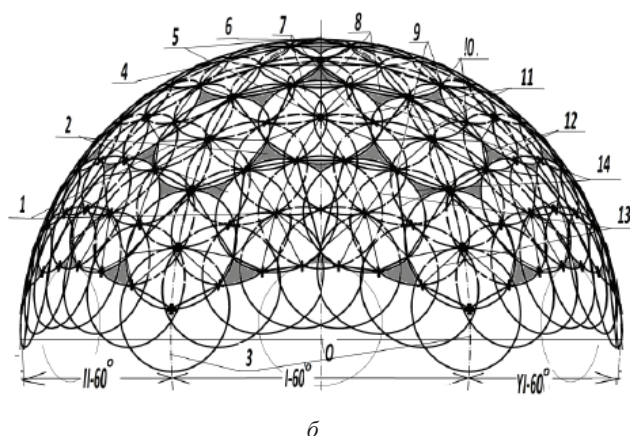


Рис. 1. Схема сборной сферической оболочки из 6 секторов с углами на вершине 60° с разрезкой из шестиугольных панелей одного радиуса с треугольными вставками между ними: *а* – вид сверху; *б* – вид сбоку; 1 – панели в виде плоских шестиугольников; 2 – треугольные панели (выделены серым цветом); 3 – сектора; 4 – общая вершина оболочки; 5 – центр панели; 6 – панель на вершине купола в виде правильного плоского шестиугольника; 7 – равнобедренные треугольники; 8 – стороны; 9 – узлы; 10 – узловые элементы; 11 – основание шестиугольных панелей-пирамид; 12 – окружности одного радиуса; 13 – боковая сторона равнобедренного треугольника; 14 – точки пересечения указанных окружностей

Сборная сферическая оболочка (рис. 1*а, б*) включает шестиугольные каркасные пирамидальные панели 1 и между ними треугольные панели 2, разнотипные марки которых одинаковым образом расположены в пределах секторов 3 в 60° , имеющих общую вершину 4 в центре панели 5, выполненной в виде правильной шестиугольной пирамиды 6, каждая следующая пирамида 6 неправильная, имеет неплоское основание и состоит из шести, состыкованных к вершине 4 всегда с помощью четырех оснований и восьми ребер, равнобедренных треугольников 7. Между панелями-пирамидами 6 находятся треугольные панели 2, стороны 8 которых имеют убывающие размеры от центральной панели-пирамиды 6 к периферии, причем оба типа панелей имеют узлы 9 с узловыми элементами 10, которые образуют одинаковые ряды, позволяющие использовать оболочку для двухпоясной структуры [1–2].

В пределах секторов 3, составляющих 60° , все узлы 9 основания 11 шестиугольных панелей-пирамид 1 и 6 описаны окружностями 12 одного радиуса (равного боковой стороне 13 равнобедренного треугольника), проведенного из существующих центров 5 панелей-пирамид 1 и 6, благодаря этому внутри секторов 3 плоские основания 11 смежных шестиугольных панелей-пирамид 1 и 6 соединены между собой узлами 9 в одной из двух точек 14 пересечения указанных окружностей с соответствующими центрами 5, стороны 8 треугольных панелей между шестиугольными пирамидами 1 и 6 не равны между собой и являются смежными сторонами 8 плоских оснований панелей-пирамид 1.

Во втором варианте для секторов, составляющих 60° , сферическая оболочка выполнена на основе разрезки Чебышева окружностями одного радиуса, равного половине дуги меридиональной стороны равнобедренного треугольника этой разрезки, проведенными вокруг каждого центра указанной разрезки. На рис. 2 показан фрагмент сектора, где выполнена двухпоясная оболочка с разреженным верхним

поясом, состоящая из каркасных шестиугольных панелей. Сборная сферическая оболочка выполнена на основе разрезки элементов одного из поясов – разрезки Чебышева. Узлы основания шестиугольных панелей-пирамид описаны окружностями одного радиуса, равного половине дуги боковой стороны равнобедренного треугольника крупной разрезки, проведенного из каждого центра указанной разрезки. Плоские основания смежных шестиугольных панелей соединены узлами между собой в точках касания указанных окружностей и могут быть выполнены не только в виде пирамидальных, но и образованных основанием пирамидальных панелей, плоских шестиугольных панелей (т. е. с разреженной разрезкой в поясе и с использованием радиусов-ребер в решетке), а вместе с другим поясом в виде сферической основы другого радиуса с указанной разрезкой из треугольных каркасных панелей могут образовывать двухпоясную структуру [4]. Сборная оболочка, показанная на фрагменте сектора 3 (рис. 2) выполнена на основе вдвое более частой разрезки 22 (чем по первому варианту) одного из поясов 23.

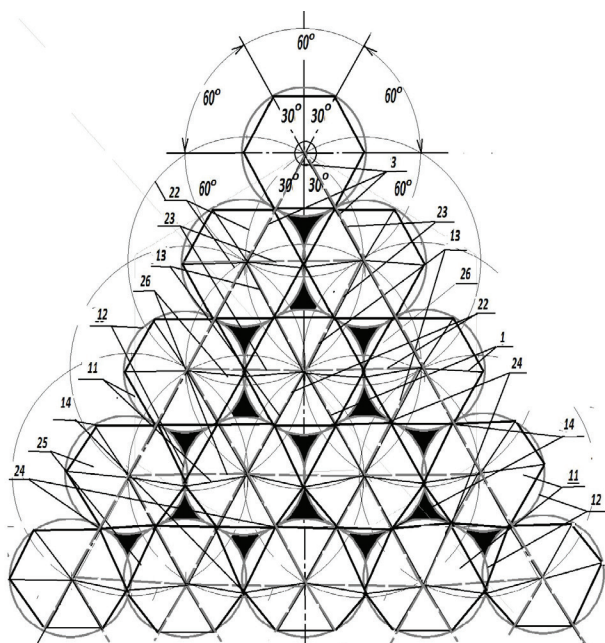


Рис. 2. Схема сборной сферической оболочки из 6 секторов с углами на вершине 60° с разрезкой из шестиугольных панелей одного радиуса с треугольными вставками между ними: 1 – панели в виде плоских шестиугольников; 2 – треугольные панели (выделены черным цветом); 3 – сектора; 4 – общая вершина оболочки; 5 – центр панели; 6 – панель на вершине купола в виде правильного плоского шестиугольника; пояснения п. п. 7–14 на рис. 1; 22 – вдвое более крупная разрезка; 23 – другой пояс; 24 – точка касания окружностей; 25 – плоские шестиугольные панели; 26 – треугольные каркасные панели

Узлы 9 основания 11 шестиугольных панелей-пирамид 1 описаны окружностями 12 одного радиуса (равного половине дуги боковой стороны 13 равнобедренного треугольника крупной разрезки), проведенного из каждого центра 5 указанной разрезки. Благодаря этому плоские основания 11 смежных шестиугольных панелей соединены между собой в точках касания 24 указанных окружностей 12 и могут быть выполнены из плоских шестиугольных панелей 25 (с разреженной



разрезкой), а вместе с другим поясом 23 с вдвое более крупной разрезкой 22 из треугольных каркасных панелей 26 образуют двухпоясную структуру.

Распределение Чебышева представляет теоретическую основу размещения максимального числа окружностей одного радиуса практически на половине сфере, с учетом двух касаний и одного пересечения трех смежных окружностей и образования между ними треугольника [2–16]. На схемах показано, как с помощью этих сегментов можно разместить окружности в секторе под наклоном 60° к экватору или под наклоном 30° к экватору. Для разработки алгоритма геометрического расчета разрезов предлагаемых конструктивно-технологических систем воспользуемся методикой расчета сети Чебышева, а для определения положения точки по половине дуги-радиусу – известным решением системы уравнений трех сфер с радиусом оболочки и радиусами, равными половине дуги-радиуса разрезки Чебышева. Для решения указанной проблемы предложены автоматизированные средства в системах *ArchiCAD*, *AvtoCAD* и *LIRA 9.4*, дополненных специальными программными элементами [2–19].

С учетом ограничений, которые дают разрезы на основе секторов 60° , получаем оптимальную для пролета 24 м по критерию минимума типоразмеров разрезу на сфере с пятью рядами окружностей (см. рис. 2), состоящую из монтажных только шестиугольных панелей 11 типоразмеров, т. е. из одной правильной шестиугольной панели, 12 неправильных шестиугольных панелей и 12 треугольных панелей-вставок (из стержней всего 16 типоразмеров, число типов стержней определяем из выражений в виде $2n$ для 5 рядов шестиугольников (где n – число рядов разрезки). Количество типоразмеров стержней сопоставимо с разрезкой подобной однопоясной оболочки Фуллера и на 25 % меньше, чем число типоразмеров с применением только разрезки Чебышева в обоих поясах. Число типоразмеров монтажных элементов или панелей на 25 % меньше, чем у Фуллера и на 45 % меньше, чем у Чебышева. При этом по сравнению с указанными разрезками, в наших разрезах все шестиугольные панели могут быть выполнены плоскими и все раскосы структур одной длины. Опорный контур сборной оболочки выполняется в виде шести арок радиусом 42,1645 м (рис. 2), выполненных по окружностям, проходящим через точку «надир» и углы опорных шестиугольных панелей.

На рис. 3 показан узел соединения шестиугольных панелей каркасной оболочки, который выполнен с переломом вне несущего узлового элемента. Сборная сферическая оболочка изготовлена каркасной из прямоугольных труб-стержней, которые сплюснены в торцах для присоединения на сварке торцевых парных фланцев. Фланцы обеспечивают переломы в узлах, приторцованы к узловым элементам, выполнены с резьбовым отверстием и присоединены с помощью болтов к узловым элементам, также имеющим отверстия, позволяющие изменения углов между трубами-стержнями каркаса покрытия в плоскости покрытия [4]. Сборная сферическая оболочка может быть выполнена каркасной из прямоугольных труб-стержней 15, узел 9 соединения которых показан на (рис. 3). Трубы 15 стержневых элементов сплюснены в торцах 16 для присоединения на сварке 17 торцевых парных фланцев 18, фланцы 18 обеспечивают переломы в узлах 9, приторцованы к узловым элементам 10, выполненным с резьбовым отверстием 19, и присоединены с помощью болтов 20 к узловым элементам 10, также имеющим отверстия 21, позволяющие изменения углов наклона прямоугольных труб-стержней 15 каркаса покрытия в плоскости покрытия.

Изготовление и сборка сборной сферической оболочки могут быть осуществлены в виде каркаса из прямоугольных труб-стержней 15, узел 9 соединения ко-

торых показан на рис. 3. Трубы 15 стержневых элементов сплющиваются в торцах 16, для присоединения на сварке 17 торцевых парных фланцев 18, фланцы 18 обеспечивают переломы в узлах 9, приторцовываются к узловым элементам 10, выполненным с резьбовым отверстием 19, и присоединены с помощью болтов 20 к узловым элементам 10, которые выполнены с отверстиями 21, позволяющими изменения углов наклона прямоугольных труб-стержней 15 каркаса покрытия в плоскости покрытия. Монтаж сборной строительной сферической оболочки покрытия зданий из шестиугольных 25 или плоских круговых панелей 26 (рис. 4) производится их укрупнением в панели с неполными узлами, но временным раскреплением панелей фасонками и болтами, и с узлами 9 с узловыми элементами 10 и установкой их в проектное положение и завершением крепления узловыми элементами. После этого устанавливаются светопрозрачные треугольные панели 2. Демонтаж оболочек для всех вариантов происходит в обратном порядке.

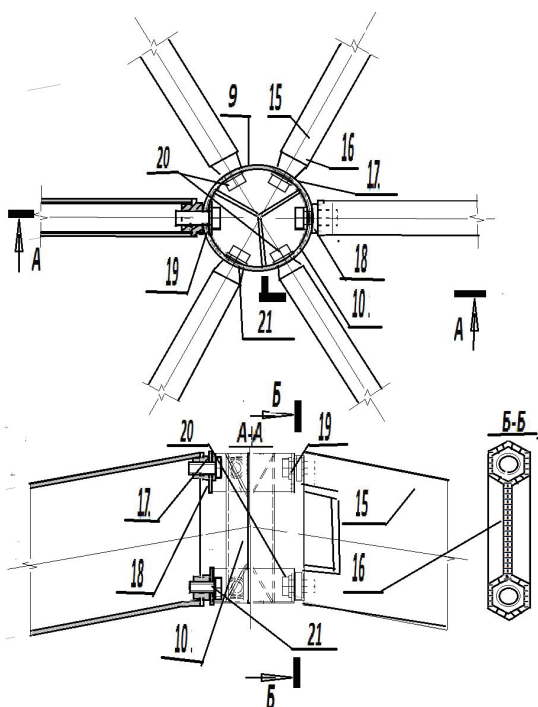


Рис. 3. Узел соединения однослойной или однопоясной сборной сферической оболочки диаметром 24 м (12 м между опорами) из 6 секторов с углами на вершине 60° с разрезкой из шестиугольных панелей с треугольными вставками между ними: 15 – прямоугольные трубы-стержни; 16 – сплюснутые торцы труб; 17 – соединения на сварке торцевых парных фланцев; 18 – фланцы; 19 – резьбовые отверстия; 20 – болты; 21 – отверстия узловых элементов (пояснения по остальным п. п. на рис. 1–2, так как нумерация на рисунках сквозная)

На основе секторов 60° на сфере для пролета 200 м получаем оптимальную по критерию минимума типоразмеров разрезку на сфере [10–25] с пятнадцатью рядами окружностей (см. рис. 4), состоящую из одной правильной шестиугольной панели, 72 неправильных шестиугольных панелей и 80 треугольных панелей-вставок (для стержней – всего 125 типоразмеров). Предлагаемое решение пирами-

дальних панелей с плоскими основаниями может быть даже ниже экватора сферы; вместе с решением узлов с эффективным переломом только за счет торцевых фланцев, а также решение, сочетающее расположение пирамидальных панелей по кратчайшим расстояниям радиусов в одном поясе, соединенным раскосами одной длины с другим поясом с разрезкой Чебышева, дают выдающиеся положительные качества конструкциям покрытия.

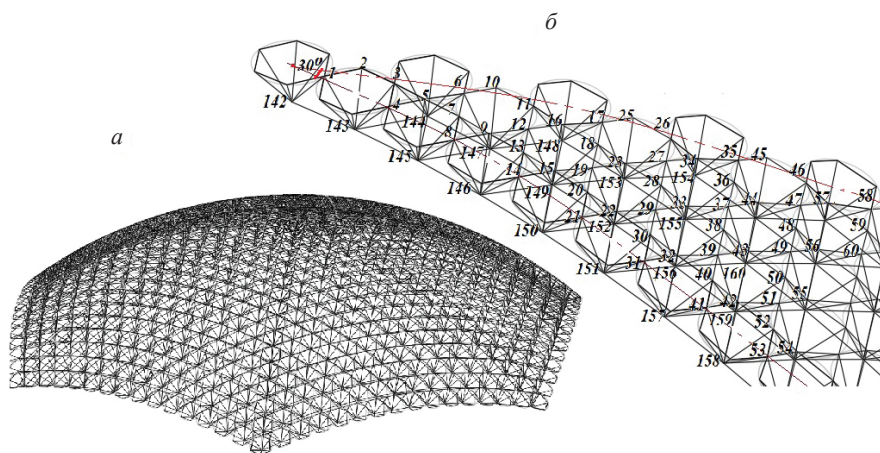


Рис. 4. Схема сборной сферической оболочки диаметром 200 м из 6 секторов с углами 60° с разрезкой из шестиугольных панелей с треугольными вставками между ними

По сравнению с подобными разрезками Фуллера, наша структура имеет сопоставимое число типоразмеров стержней, меньшее число панелей, но главное, имеет все панели – плоские или пирамидальные с плоским основанием; все раскосы одной длины, что значительно уменьшает число типоразмеров узлов, улучшает возможности укрупнительной сборки.

Координаты оболочки (рис. 4а, б) диаметром 200 м наиболее эффективной разрезки приведены в таблице.

На основе анализа систем разбиения сферы в пределах секторов составлены базовые сферические структуры, которые предоставляют следующие три системы разбивки оболочки:

- одноконтурная система из плоских или пространственных шестиугольников с треугольниками между ними (система «Ч60», рис. 1–2);
- двухконтурная система, состоящая из шестигранных ячеек перекрестно-ребристых структур (система «Ч60П», рис. 1);
- двухконтурная система, состоящая из шестигранных пирамид, вершины которых соединены стержнями нижнего пояса (система «Ч60ПС», рис. 2–5).

Системы разрезок показанного способа образования треугольных и шестиугольных сетей обозначены цифровыми и буквенными индексами. Системы «Ч60» и «Ч72» это такая разбивка, которая позволяет собирать купол из плоских (складчатых, сферических) треугольных и шестиугольных панелей на основе секторов с углом при вершине 60 и 72° (см. рис. 1–2). Разрезки способа «Ч60П» дают воз-



возможность собирать (двухуровневый) купол такой же разрезки, что и у однополюсных куполов «Ч60», но из шестиугольных перекрестно-ребристых каркасов, а разрезки «Ч60ПС» – в виде двухполюсных перекрестно-стержневых структур (см. рис. 2–5).

Координаты узлов структуры части сектора для диаметра 200 м

Номер узла	X	Y	Z
Координаты верхнего пояса с шестиугольниками			
1	-2266.7314	1308.698	99954.3178
2	0	2617.3959	99954.3178
3	-2266.7314	-1308.698	99954.3178
4	2266.7314	1308.698	99954.3178
5	0	-2617.3959	99954.3178
6	2266.7314	-1308.698	99954.3178
7	4531.9095	-0.8968	99885.8259
8	2265.1781	3925.1971	99885.8259
9	4528.803	5232.1016	99748.8419
10	6795.5344	1306.0077	99748.8419
11	6793.9811	3922.5068	99680.35
12	6628.9138	6360.5167	99567.2523
13	8921.1058	2613.9666	99555.4994
14	6790.9466	9139.3061	99337.985
15	9042.0992	7837.8395	99269.9607
16	11308.8177	3911.7679	99269.9607
17	11302.6006	6525.5595	99133.1663
18	6620.9004	11467.7359	99079.7525
19	11207.1272	8979.9204	98951.8961
20	13380.4028	5215.6967	98951.8961
21	9029.6241	13043.8875	98722.0306
22	11290.1855	11726.2659	98654.6644
23	13527.4548	10427.4946	98518.9919
24	15794.2195	6501.3812	98518.9888
25	15780.2489	9110.731	98314.2649
26	11133.5468	14098.5173	98287.9817
27	17916.8874	7808.9881	98127.7963
28	15721.2257	11611.9856	98127.7963
29	13529.9601	15623.4848	97829.3509
30	11274.5685	16885.5597	97826.8494
31	15775.1143	14271.1691	97699.6986
32	17972.697	12993.9176	97497.9826
33	20239.4284	9067.8237	97497.9826
34	11058.2438	19153.44	97487.7119
35	15587.9049	16624.1148	97347.295
36	20214.6445	11670.9502	97225.8889
37	20106.9498	14088.4221	96994.8795
38	22254.4064	10368.9183	96994.8795
39	15726.4401	19467.9455	96885.7526
40	13456.2466	20763.2306	96878.5867
41	17941.7784	18163.6046	96674.0742
42	20179.3614	16820.0596	96475.596
43	15472.2777	21644.0665	96369.6293
44	24632.2688	11604.0314	96209.7411
45	22365.5375	15530.1253	96209.7411
46	19925.3448	19060.8397	96033.9396
47	24593.6503	14199.1309	95871.0251
48	15716.3413	24512.542	95639.7234

Номер узла	X	Y	Z
49	24443.5287	16548.194	95599.2642
50	26552.9207	12894.6198	95599.2642
51	17881.0546	23288.538	95580.6368
52	20113.4035	21931.7002	95376.5089
53	22318.4652	20675.9407	95247.5361
54	15383.3871	26644.808	95116.8912
55	24539.773	19315.9526	94986.7388
56	19822.6962	24090.6655	94980.2572
57	26693.952	18029.1761	94657.7954
58	28960.7005	14103.0525	94657.7954
59	24274.8632	21544.5959	94560.1769
60	28905.2296	16688.4224	94253.3855
61	17834.2093	28346.677	94213.0776
62	20080.9207	26999.4763	94172.6548
63	22217.092	25769.9406	94021.568
64	30804.7609	15381.2065	93940.8075
65	28722.896	18987.1022	93940.8075
66	24470.4394	24438.177	93901.7399
67	19706.9898	29051.8567	93603.2268
68	26624.2559	23147.291	93557.8629
69	24108.293	26504.8427	93329.905
70	28826.283	21769.0838	93235.2582
71	33212.8593	16558.0376	92846.3993
72	30946.128	20484.1315	92846.3993
73	28479.1927	23890.2001	92740.0914
74	20016.6989	31973.4887	92576.0431
75	22153.3675	30788.7045	92514.7868
76	24378.2527	29410.6018	92387.0031
77	33137.5811	19131.9914	92377.4003
78	26476.0442	28206.7396	92201.5278
79	34933.5133	17814.2491	92045.3867
80	32894.349	21346.1854	92045.3867
81	19601.383	33950.5912	91966.0802
82	28677.2365	26829.9243	91866.0718
83	23957.9412	31419.9525	91827.7079
84	30847.1914	25570.7358	91609.4489
85	28315.9665	28877.5637	91422.9496
86	33051.8262	24291.4232	91348.7247
87	35110.3421	22888.3811	90780.5176
88	37377.0735	18962.2872	90780.5176
89	32658.2429	26297.1667	90753.4634
90	22050.3327	35721.3413	90749.7121
91	24293.4632	34367.8212	90725.1857
92	26388.6136	33181.9551	90555.6496
93	28602.8526	31789.0364	90399.9085
94	37279.106	21523.0821	90248.2222
95	30646.202	30592.1909	90125.8472
96	23815.7083	36262.2568	90060.144
97	39032.6607	20201.7286	89879.3588



Номер узла	X	Y	Z
98	37011.5405	23702.4114	89879.3588
99	32874.9976	29238.9406	89870.3006
100	28125.3922	33743.8479	89796.8106
101	34975.703	27939.612	89407.967
102	32433.447	31200.9152	89264.4477
103	37131.8759	26520.9251	88969.2356
104	24219.2712	39137.9266	88685.6692
105	26237.5716	38063.6512	88659.2443
106	28456.4605	36676.9997	88531.7264
107	39175.22	25235.2432	88465.8367
108	41441.9803	21309.1228	88465.8129
109	36734.1475	28622.7171	88461.859
110	30527.9991	35519.5192	88340.925
111	32712.6807	34089.4503	88103.6669
112	23682.7462	41019.7198	88044.85
113	27942.9588	38530.6068	87904.1581
114	41318.4347	23855.2094	87871.6809
115	34715.9426	32919.569	87800.002
116	32197.0281	36015.4982	87515.9935
117	41034.3302	26010.6889	87461.7363
118	43043.0825	22531.4279	87461.7363
119	36877.0688	31508.8085	87349.9598
120	38998.3019	30247.2712	86959.4165
121	36449.1165	33467.7059	86860.0575
122	28379.3639	41459.2616	86539.9078
123	26147.378	42832.134	86483.8949
124	41128.2939	28806.5542	86466.4627
125	30322.5772	40346.3253	86315.9132
126	32540.6104	38960.4101	86175.2008
127	40681.3465	30864.6755	85943.2226
128	43129.6556	27518.2944	85908.6295
129	45396.3869	23592.2005	85908.6295
130	34629.7092	37779.5735	85856.8014
131	36769.8	36249.67	85540.8436
132	45242.8712	26120.9839	85244.4664
133	38668.1323	35186.177	85231.5663
134	40869.2584	33810.8246	84851.3191
135	46905.6243	24789.3219	84823.911
136	44920.9947	28226.8013	84823.911
137	42913.0015	32481.2374	84268.1751
138	45004.9856	31022.9559	83724.4683
139	49229.4546	25805.2627	83115.9765
140	46962.7233	29731.3566	83115.9765
141	49046.6265	28317.0633	82403.2085

Номер узла	X	Y	Z
Координаты нижнего пояса			
142	0	0	96954.3178
143	4394.3834	2537.0985	96821.4453
144	4391.3681	7606.0727	96555.7004
145	8776.7222	5067.2429	96423.1919
146	8764.6528	10127.5033	96024.7587
147	13135.0046	7583.4984	95760.6493
148	8754.1772	15162.6796	95360.3125
149	13111.1679	12631.5205	95229.5835
150	17457.2848	10078.9681	94835.6334
151	13088.1251	17647.3073	94432.0137
152	17418.2659	15111.1989	94172.1152
153	21731.7158	12546.812	93650.6796
154	13057.5587	22616.3551	93370.9395
155	17373.8282	20104.0047	93242.2157
156	21671.4264	17559.7079	92855.4657
157	25946.5817	14980.2659	92209.0358
158	17321.6173	25047.1157	92047.4621
159	21599.4397	22525.9338	91794.2167
160	25866.4204	19974.3635	91280.2528
161	17269.067	29910.9015	90593.8688
162	30090.3144	17372.6511	90514.6602
163	21519.3684	27430.5548	90468.8521
164	25753.2812	24906.3525	90092.0299
165	29969.3287	22336.3099	89459.8241
166	21438.4913	32256.9159	88882.0245
167	25813.9651	29728.2726	88862.2178
168	34151.6025	19717.4369	88572.1766
169	29823.8739	27238.6341	88140.3716
170	33991.251	24651.2279	87390.1786
171	21356.7849	36994.0478	87037.1185
172	25523.3387	34553.6302	86917.9939
173	29669.0678	32063.7257	86555.16
174	38113.4982	22004.8384	86390.5471
175	33799.9699	29516.2852	85944.6491
176	37913.6594	26908.6631	85080.0197
177	25406.3411	39233.9008	84943.2208
178	29512.112	36794.414	84707.3681
179	33598.3324	34296.8714	84231.8734
180	41982.4511	24238.5795	83964.9022
181	37670.5838	31732.9638	83510.9448
182	41633.2907	29043.8078	82603.1319
183	45864.5605	26479.9163	81531.009

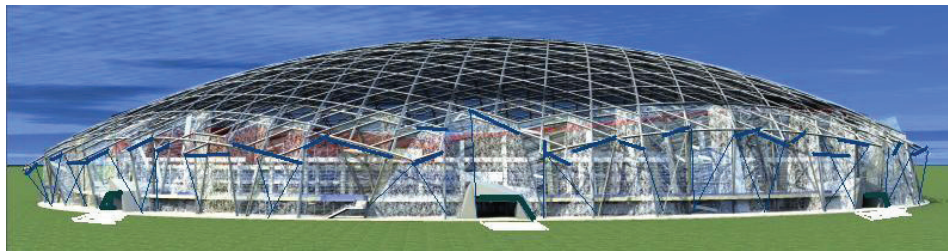


Рис. 5. Запроектированное сборное сферическое покрытие хоккейного стадиона «Айсберг» пролетом 200 м на основе секторной разрезки Ч60 ПС

На рис. 5 приведен пример спроектированного светопрозрачного купольного покрытия стадиона и продемонстрирована методика определения размеров сборных деталей и монтажных схем с помощью таблицы координат.

По приведенным рисункам и схемам можно получить визуальное представление о специфических композиционных и строительных различиях существующих геодезических оболочек и предлагаемых конструктивно-технологических форм сферических оболочек, имеющих эффективные геометрические основы.

Вывод. Разработанные сборные сферические оболочки системы «Чант» могут применяться для покрытий зданий различного назначения, а также для устройства сферических отражателей в зеркальных антеннах и концентраторах энергии. По сравнению с аналогами, эти оболочки имеют максимум однотипных монтажных элементов, возможности укрупнительной сборки и максимум эстетического качества при минимуме сборных деталей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антошкин, В. Д. К вопросу оптимизации треугольной геометрической сети на сфере / В. Д. Антошкин, В. И. Никонов. – Текст : непосредственный // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 11-8. – С. 1669–1673.
2. Перспективные конструктивно-технологические решения сборных сферических оболочек / В. Д. Антошкин, С. С. Гудожников, О. И. Перфильева, И. В. Ерофеева. – Текст : непосредственный // *Актуальные вопросы архитектуры и строительства : материалы тринадцатой Международной научно-технической конференции* / Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева. – Саранск, 2014. – С. 4–15. – ISBN 978-5-7103-3043-2.
3. Антошкин, В. Д. Эффективные конструктивно-технологические решения сборных сферических куполов / В. Д. Антошкин. – Текст : непосредственный // *Региональная архитектура и строительство*. – 2015. – № 3 (24). – С. 112–121.
4. Антошкин, В. Д. К задаче формирования треугольной сети на сфере с узлами на одном уровне / В. Д. Антошкин. – Текст : непосредственный // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. – 2017. – Том 13, № 2. – С. 154–160.
5. Антошкин, В. Д. Исследование расчетных моделей несущего каркаса с составным сферическим структурным покрытием / В. Д. Антошкин. – Текст : непосредственный // *Academia. Архитектура и строительство*. – 2017. – № 1. С. 133–138.
6. Коновалов, А. Г. К проблеме оптимизации сборных однослойных оболочек с шестиугольным контуром / А. Г. Коновалов, В. И. Травуш, В. Д. Антошкин. – Текст : непосредственный // *Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений (APCSCE 2018) : программа и тезисы докладов* (Новосибирск, 1-8 июля 2018 г.) / Российская академия архитектуры и строительных наук, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин). – Новосибирск, 2018. – С. 265.



7. Антошкин, В. Д. Конструктивно-технологические решения сборных сферических оболочек : автореферат диссертации доктора технических наук / Антошкин Василий Дмитриевич ; Юго-Западный государственный университет. – Курск, 2018. – 36 с. – Текст : непосредственный.
8. Антошкин, В. Д. Сферические купола из парных арок одного радиуса / В. Д. Антошкин, М. В. Горина. – Текст : непосредственный // Строительство и застройка: жизненный цикл – 2020 : материалы V Международной (XI Всероссийской) конференции. – Чебоксары, 2020. – С. 84–92.
9. Антошкин, В. Д. Формирование треугольной сети на сфере с опорными узлами на одном уровне / В. Д. Антошкин, И. В. Ерофеева, М. В. Горина. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний, 2020. – № 4 (56). – С. 49–56.
10. Травуш, В. И. Геодезические купола из парных арок одного радиуса / В. И. Травуш, В. Д. Антошкин, А. Ю. Святкина. – Текст : непосредственный // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2018. – Том 20, № 6. – С. 98–106.
11. Авторское свидетельство № 1661316 (СССР). Стыковое соединение деревянных элементов : опубл. 09.11.1988 / Антошкин В. Д., Курганский В. Г. – Текст : непосредственный.
12. Патент RU № 2685602 Российская Федерация, С1. Сферическая оболочка с покрытием : № 2018125750 : заявл. 12.07.2018 : опубл. 22.04.2019 / Антошкин В. Д., Травуш В. И., Горина М. В., Антошкин Д. В., Коновалов А. Г., Сагайдак М. О. – Текст : непосредственный.
13. Патент RU № 2625582 Российская Федерация, С1. Составной блок сборного структурного покрытия : № 2016117202 : заявл. 29.04.2016 : опубл. 17.07.2017 / Антошкин В. Д., Травуш В. И., Коновалов А. Г., Ерофеева И. В. – Текст : непосредственный.
14. Патент RUS № 129534 Российская Федерация. Сборная сферическая оболочка : опубл. 27.07.2013 / Травуш В. И., Антошкин В. Д., Ерофеев В. Т. – Текст : непосредственный.
15. Патент RUS № 2520192 Российская Федерация. Сборная сферическая оболочка : опубл. 06.27.2013 / Травуш В. И., Антошкин В. Д., Ерофеев В. Т. – Текст : непосредственный.
16. Патент RUS № 2564545 Российская Федерация. Сборная сферическая оболочка : опубл. 28.07.2014 / Травуш В. И., Антошкин В. Д., Ерофеева И. В., Антошкин Д. В. – Текст : непосредственный.
17. Современные конструктивно-технологические решения сферических оболочек / В. И. Травуш, В. Д. Антошкин, В. Т. Ерофеев, С. С. Гудожников. – Текст : непосредственный // Строительство и реконструкция. – 2012. – № 6 (44). – С. 45–55.
18. Конструктивно-технологические возможности сборных сферических оболочек / В. И. Травуш, В. Д. Антошкин, В. Т. Ерофеев, С. С. Гудожников. – Текст : непосредственный // Строительство и реконструкция. – 2013. – № 6 (50). – С. 36–48.
19. Удлер, Е. М. Сеть Чебышева на поверхности сферы / Е. М. Удлер. – Текст : непосредственный // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 6. – С. 43–44.
20. Travush, V. I. The problem 7 forming triangular geometric line field / V. I. Travush, V. D. Antoshkin // MATEC Web of Conferences. – 2016. – V. 86, № 010 (2016). – DOI: 10.1051/mateconf/20168601032.
21. Travush, V. I. The problem 4 of placement triangular geometric line field / V. I. Travush, V. D. Antoshkin // MATEC Web of Conferences. – 2016. – V. 86, № 010 (2016) – DOI: 10.1051/mateconf/20168601031.
22. Travush, V. I. To the problem 5 of emplacement of triangular geometric net on the sphere / V. I. Travush, V. D. Antoshkin // MATEC Web of Conferences. – 2017. – V. 106, № 02003 (2017) – DOI: 10.1051/mateconf/201710602012.
23. Travush, V. I. To the problem 6 of emplacement of triangular geometric net on the sphere / V. I. Travush, V. D. Antoshkin // MATEC Web of Conferences. – 2017. – V. 106, № 02012 (2017). – DOI: 10.1051/mateconf/201710602012.
24. Travush, V. I. The task of forming a network on the sphere from the circles of the same radius / V. I. Travush, V. D. Antoshkin, A. Yu. Svyatkina // TPACEE 2018 : E3S Web of Conferences. – 2018. – V. 91, № 02011(2018).



25. The task 3 of forming a network on the sphere from the circles of the same radius / Travush V. I., Antoshkin V. D., Chorina M. V. [et al.] // TPACEE : E3S Web of Conferences. – 2020. – V. 175, № 11029 (2020). – DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017511029>.

ANTOSHKIN Vasily Dmitrievich, doctor of technical sciences, associate professor, holder of the chair of buildings, structures and highways

PREFABRICATED SPHERICAL SHELLS WITH HEXAGONAL PANELS BASED ON THE CHEBYSHEV NETWORK

N. P. Ogaryov Mordovian State University

68, Bolshevistskaya St., Saransk, 430005, Russia. Tel.: +7 (8342) 24-37-32;

fax: +7 (8342) 47-29-13; e-mail: antovd@mail.ru

Key words: prefabricated spatial structure, spherical shell, constructive-technological solution, circle, panel, hexagon, cutting, pyramid.

The article considers issues of constructive and technological formation of single- and two-band shells based on the Chebyshev spatial network; several constructive and technological methods for the formation of triangular networks on a sphere with hexagonal mounting panels, which are called the "Chant" system, are proposed and investigated. The criterion for optimality is the minimum number of sizes of structural parts and the minimum number of mounting elements of the dome, the possibility of enlarged assembly formation and prestress creation.

REFERENCES

1. Antoshkin V. D., Nikonov V. I. K voprosu optimizatsii treugolnoy geometricheskoy seti na sfere [On the optimization of a triangular geometric network on a sphere]. Fundamentalnyye issledovaniya [Fundamental research]. 2014. № 11-8. P. 1669–1673.

2.. Antoshkin V. D., Gudozhnikov S. S., Perfileva O. I., Erofeeva I. V. Perspektivnye konstruktivno-tehnologicheskie resheniya sbornykh sfericheskikh obolochek [Perspective constructive and technological solutions of prefabricated spherical shells]. Aktualnye voprosy arkhitektury i stroitelstva [Topical issues of architecture and construction]: materialy trinadtsatoy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnich. konf. / Mordov. gos. un-t im. N. P. Ogaryova. Saransk. 2014. – P. 4–15. – ISBN 978-5-7103-3043-2.

3. Antoshkin V. D. Effektivnye konstruktivno-tehnologicheskie resheniya sbornykh sfericheskikh kupolov [Effective constructive and technological solutions for prefabricated spherical domes]. Regionalnaya arkhitektura i stroitelstvo [Regional architecture and construction]. 2015. № 3 (24). P. 112–121.

4. Antoshkin V. D. K zadache formirovaniya treugolnoy seti na sfere s uzлами na odnom urovne [To the problem of forming a triangular network on a sphere with nodes at the same level]. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2017. – Vol. 13, № 2. – P. 154–160.

5. Antoshkin V. D. Issledovanie raschyotnykh modeley nesushchego karkasa s sostavnym sfericheskim strukturnym pokrytiem [Investigation of computational models of a supporting frame with a composite spherical structural coating]. Academia. Arkhitektura i stroitelstvo [Academia. Architecture and construction]. – 2017. – № 1. P. 133–138.

6. Kononov A. G., Travush V. I., Antoshkin V. D. K probleme optimizatsii sbornykh odnosloynnykh obolochek s shestiuголnym konturom [On the problem of optimization of prefabricated single-layer shells with a hexagonal contour] Aktualnye problemy komputernogo modelirovaniya konstruksiy i sooruzheniy (APCSCE 2018) [Actual problems of computer modeling of structures and structures (APCSCE 2018)]: programma i tezisy dokladov (Novosibirsk, 1-8 iyulya 2018 g.) / Rossiyskaya akademiya arkhitektury i stroitelnykh nauk, Novosibir. gos.



arkhitektur.-stroit. un-t (Sibstrin). Novosibirsk, 2018. – P. 265.

7. Antoshkin V. D. Konstruktivno-tekhnologicheskie resheniya sbornykh sfericheskikh obolochek [Constructive and technological solutions of prefabricated spherical shells]: avtoreferat diss. doktora tekhn. nauk; Yugo-Zapadny gos. un-t. – Kursk, 2018. – 36 p.

8. Antoshkin V. D., Gorina M. V. Sfericheskie kupola iz parnykh arok odnogo radiusa [Spherical domes from paired arches of the same radius] / Stroitelstvo i zastroyka: zhiznenny tsikl – 2020 [Construction and development: life cycle – 2020]: materialy V Mezhdunar. (XI Vserossisk.) konf. – Cheboksary, 2020. – P. 84–92.

9. Antoshkin V. D., Erofeeva I. V., Gorina M. V. Formirovanie treugolnoy seti na sfere s opornymi uzlami na odnom urovne [Emplacement of a triangular geometric net on a sphere with nodes on the same level]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal] Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. – 2020. – № 4 (56). – P. 49–56.

10. Travush V. I., Antoshkin V. D., Svyatkina A. Yu. Geodezicheskie kupola iz parnykh arok odnogo radiusa [Geodesic domes of paired arches of the same radius]. Vestnik Tomskogo gos. arkhitektur.-stroit. un-ta [Bulletin of the Tomsk State Architectural and Civil Engineering University]. – 2018. – Vol. 20, № 6. P. 98–106.

11. Abtorskoe svidetelstvo [Copyright certificate] № 1661316 (USSR). Stykovoie soedinenie derevyannykh soedineniy [Butt joint of wooden elements]: opubl. 09/11/1988/ Antoshkin V. D., Kurgan V. G.

12. Patent RU № 2685602 Russian Federation, C1. Sfericheskaya obolochka s pokrytiem [Coated spherical shell]: № 2018125750: zayavl. 12.07.2018: opubl. 22/04/2019 / Antoshkin V. D., Travush V. I., Gorina M. V., Antoshkin D. V., Konovalov A. G., Sagaydak M. O.

13. Patent RU № 2625582 Russian Federation, C1. Sostavnoy blok sbornogo strukturnogo pokrytiya [Composite block of prefabricated structural coating]: № 2016117202: zayavl. 29/04/2016: opubl. 17/07/2017 / Antoshkin V. D., Travush V. I., Konovalov A. G., Erofeeva I. V.

14. Patent RUS № 129534 Russian Federation. Sbornaya sfericheskaya obolochka [Prefabricated spherical shell]: opubl. 27/07/2013 / Travush V. I., Antoshkin V. D., Erofeev V. T.

15. Patent RUS № 2520192 Russian Federation. Sbornaya sfericheskaya obolochka [Prefabricated spherical shell]: opubl. 06.27.2013 / Travush V. I., Antoshkin V. D., Erofeev V. T.

16. Patent RUS 2564545 Russian Federation. Sbornaya sfericheskaya obolochka [Prefabricated spherical shell]: opubl. 28/07/2014 / Travush V. I., Antoshkin V. D., Erofeeva I. V., Antoshkin D. V.

17. Travush V. I., Antoshkin V. D., Erofeev V. T., Gudozhnikov S. S. Sovremennye konstruktivno-tekhnologicheskie resheniya sfericheskikh obolochek [Modern constructive and technological solutions for spherical shells]. Stroitelstvo i rekonstruktsiya [Construction and reconstruction]. 2012. – № 6 (44). – P. 45–55.

18. Travush V. I., Antoshkin V. D., Erofeev V. T., Gudozhnikov S. S. Konstruktivno-tekhnologicheskie vozmozhnosti sbornykh sfericheskikh obolochek [Design and technological capabilities of prefabricated spherical shells]. Stroitelstvo i rekonstruktsiya [Construction and reconstruction]. – 2013. – № 6 (50). – P. 36–48.

19. Udler E. M. Set Chebysheva na poverkhnosti sfery [Chebyshev's network on the surface of a sphere]. Mezhdunarodny zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovaniy [International Journal of Applied and Fundamental Research]. – 2014. – № 6. – P. 43–44.

20. Travush V. I., Antoshkin V. D. The problem 7 forming triangular geometric line field / MATEC Web of Conferences. – 2016. – V. 86, № 010 (2016). – DOI: 10.1051/mateconf/20168601032.

21. Travush V. I., Antoshkin V. D. The problem 4 of placement triangular geometric line field. MATEC Web of Conferences. – 2016. – V. 86, № 010 (2016) – DOI: 10.1051/mateconf/20168601031.

22. Travush V. I., Antoshkin V. D. To the problem 5 of emplacement of triangular geometric net on the sphere. MATEC Web of Conferences. – 2017. – V. 106, № 02003 (2017) – DOI: 10.1051/mateconf/201710602012.

23. Travush V. I., Antoshkin V. D. To the problem 6 of emplacement of triangular geometric net on the sphere // MATEC Web of Conferences. – 2017. – V. 106, № 02012 (2017). – DOI:



10.1051/mateconf/201710602012.

24. Travush V. I., Antoshkin V. D., Svyatkina A. Yu. The task of forming a network on the sphere from the circles of the same radius. TPACEE 2018 : E3S Web of Conferences. – 2018. – V. 91, № 02011(2018).

25. Travush V. I., Antoshkin V. D., Chorina M. V. The task 3 of forming a network on the sphere from the circles of the same radius. TPACEE : E3S Web of Conferences. – 2020. – V. 175, № 11029 (2020). – DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017511029>.

© В. Д. Антошкин, 2022

Получено: 28.06.2022 г.

УДК 624.046

П. А. ХАЗОВ¹, канд. техн. наук, доц. кафедры теории сооружений и технической механики, зав. лабораторией непрерывного контроля технического состояния зданий и сооружений; **В. И. ЕРОФЕЕВ²**, д-р физ.-мат. наук, директор; **Д. М. ЛОБОВ¹**, ст. преп. кафедры строительных конструкций; **А. К. СИТНИКОВА¹**, студент; **А. П. ПОМАЗОВ¹**, студент

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ КОМПОЗИТНЫХ ТРУБОБЕТОННЫХ ОБРАЗЦОВ МАЛОГАБАРИТНЫХ СЕЧЕНИЙ

¹ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-96, +7 (951) 919-0-919; эл. почта: khazov.nngasu@mail.ru

²Институт проблем машиностроения РАН – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» Россия, 603024, г. Н. Новгород, ул. Белинского, д. 85. Тел.: (831) 432-05-76; эл. почта: erogof.vi@yandex.ru

Ключевые слова: трубобетон, напряженно-деформированное состояние, малогабаритные сечения, эффективность трубобетона, несущая способность.

Рассматриваются достоинства и проблемы применения трубобетонных конструкций в надземном строительстве. Анализируется современное состояние и недостатки методик расчета трубобетонных элементов. Приводятся результаты испытаний на прочность малогабаритных трубобетонных образцов и их сравнение с образцами классических типов конструкций. Производится обоснование эффективности трубобетонных конструкций.

В условиях современной рыночной экономики в строительной отрасли регулярно появляются новые технологичные конструкционные материалы, сводящие к минимуму материальные и трудовые затраты. Поиск новых решений для различных зданий и сооружений ведется из соображений увеличения технологической, конструктивной и экономической эффективности строительства. Для достижения этих целей могут быть использованы трубобетонные конструкции, обеспечивающие усталостную долговечность и надежность возводимых объектов.

Трубобетонный стержень является разновидностью монолитных железобетонных элементов и представляет собой комплексную конструкцию, состоящую