

УДК 624.01

**Шмуклер В.С., д.т.н., проф., ХНУГХ
им. А.Н. Бекетова, г. Харьков
Бугаевский С.А., к.т.н., доц., ХНУГХ
им. А.Н. Бекетова, г. Харьков**

**СОЗДАНИЕ НЕСЪЕМНОЙ ОПАЛУБКИ
ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
КОНСТРУКЦИЙ ПОЛУСФЕРИЧЕСКОЙ
ФОРМЫ**

Рассмотрены способы формирования полусферической поверхности с применением фахверковых систем. Сравнены различные варианты раскроя листа пенополистирола для изготовления неизвлекаемых вкладышей. Приведена технология изготовления вкладышей треугольной формы из пенополистирола, обеспечивающая уменьшение отходов при раскрое плоского прямоугольного листа пенополистирола. Получено минимальное количество элементов в сортаменте для изготовления несъемной опалубки.

Ключевые слова: неизвлекаемый вкладыш, полусферическая форма, несъемная опалубка, пенополистирол.

Введение. Для создания уникальных архитектурных форм применяются пространственные железобетонные конструкции со сложной геометрической формой [1-3]. При этом, перед проектировщиками и строителями возникают различные технические задачи, связанные с изготовлением и снижением стоимости опалубки, имеющей сложную геометрию, созданием арматурных каркасов, в том числе, и самонесущих, а также с процессом бетонирования и т.д.

Анализ публикаций. Проведем сравнительный анализ способов возведения куполообразных зданий и криволинейных конструкций из монолитного железобетона. Одним из способов возведения тонкостенных пространственных конструкций является использование пневматической опалубки [4-6], которая позволяет возводить железобетонные здания строго определенной формы.

Следующим способом возведения тонкостенных пространственных конструкций является использование самонесущих каркасов или остовов с частичным или полным отказом от применения опалубки [7-9]. Однако, имеются существенные ограничения в применении, связанные с недостаточной несущей способностью самонесущего каркаса или остова, из-за применения армирования проволоочными сетками, разделения на части арматурного каркаса теплоизоляционным слоем, что приводит к применению легких бетонов для бетонирования, а также с нерациональным расходом металла за счет применения прокатных элементов или очень сложной системой армирования.

В последнее время во всем мире проводятся исследования и опытно-промышленные внедрения технологий 3D-моделирования и 3D-печати для создания уникальных архитектурных форм для зданий сложной геометрической формы. Однако большинство технологий с применением 3D-принтеров в строительстве, пока требуют дальнейших исследований для промышленного запуска [10-13].

Авторами разработана архитектурно-строительная система «Монофант» [14], в которой для возведения зданий и сооружений криволинейной формы применен самонесущий остов, состоящий из пространственного криволинейного арматурного каркаса и неизвлекаемых вкладышей-пустотообразователей, выполненных из пенополистирола или минеральной ваты (внутренняя несъемная опалубка), формирующих заданную геометрию конструкции и являющихся экраном, на который с двух сторон набрызгивается мокрым способом торкрет-бетонная смесь [15]. Зазоры между вкладышами для создания сплошного экрана закрывают сетками типа «рабицы» или просечного листа.

За счет применения пространственной конструкции арматурного каркаса, представляющего собой внешние оболочки и систему плоских ребер, соединяющих их,

обеспечивается необходимая жесткость и несущая способность остова для набрызга торкрет-бетона.

Цель и постановка задачи. Целью данной работы является обоснование целесообразности применения несъемной опалубки из пенополистирола для возведения криволинейных железобетонных конструкций.

В основу разработки поставлена задача создания технологии изготовления вкладышей из пенополистирола для возведения полусферических оболочек.

Изготовление несъемной опалубки. Полусферическую оболочку можно создать с применением фахверковых систем [1]. Варианты конструкции пространственного криволинейного арматурного каркаса с системами плоских ребер представлены на рис. 1-4.

При этом если проектировать

полусферическую железобетонную конструкцию с прямолинейным планом в виде треугольника, прямоугольника, пятиугольника, шестиугольника и восьмиугольника, возможны варианты возведения зданий и сооружений, состоящих из нескольких полусфер, стыкуемых боковыми гранями, что расширяет диапазон формируемых архитектурных форм (рис. 5, 6).

Данная технология изготовления железобетонных конструкций криволинейной формы была опробована при возведении фрагмента сферической оболочки, имеющей в плане размеры 2,2х2,2 м (рис. 7). Толщина железобетонной оболочки составляла 26 см, из которых 16 см приходилось на толщину неизвлекаемых вкладышей-пустотообразователей из пенополистирола и по 5 см с внешней и внутренней стороны – на железобетонные обшивки.

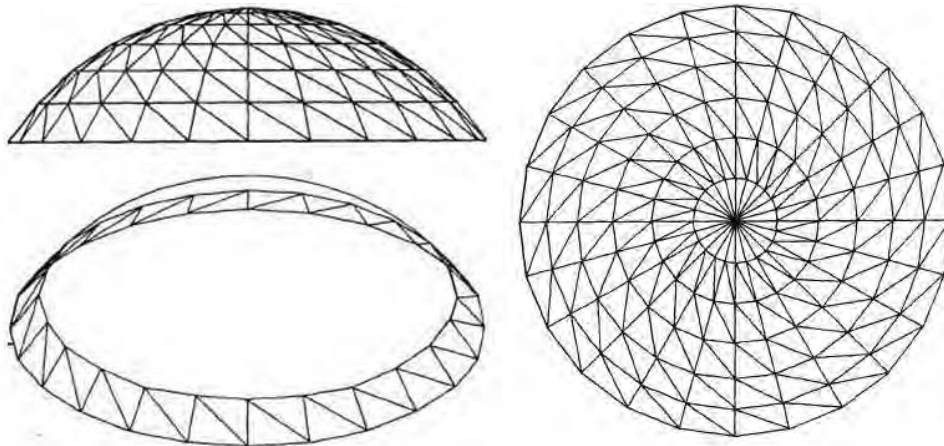


Рис. 1. Способ формирования полусферической поверхности сферическими кольцами с леводиagonalным делением решетки

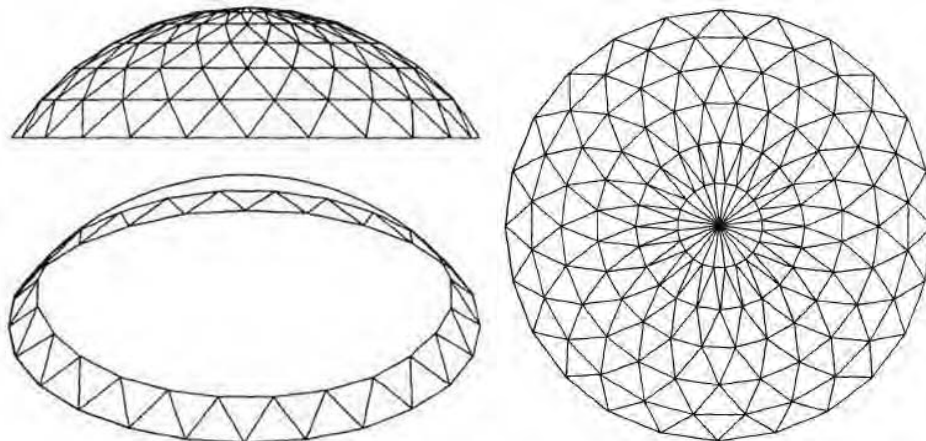


Рис. 2. Способ формирования полусферической поверхности сферическими кольцами с двухсторонним диагональным делением решетки

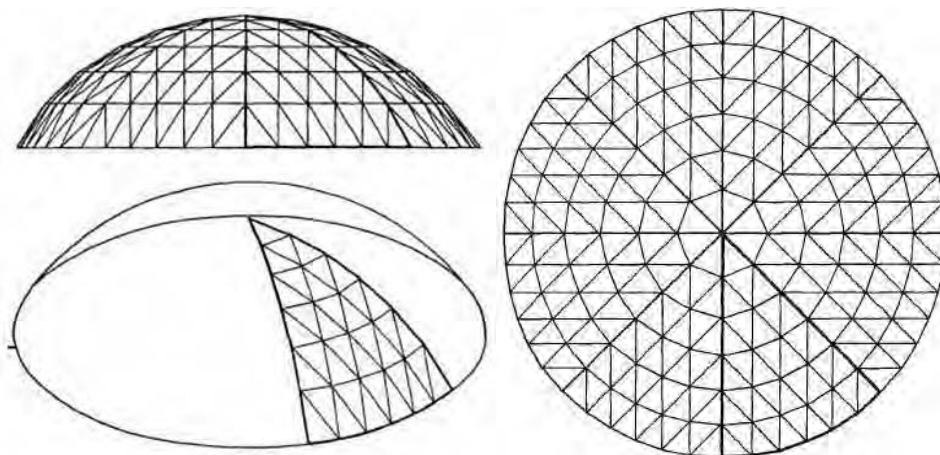


Рис. 3. Способ формирования полусферической поверхности сферическими сегментами с параллельным делением решетки

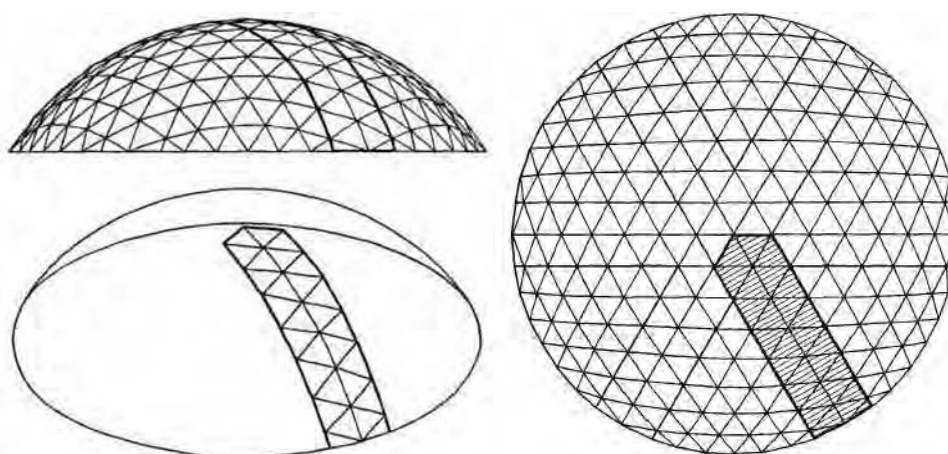


Рис. 4. Способы формирования полусферической поверхности сферическими полосами с шестиугольным делением решетки

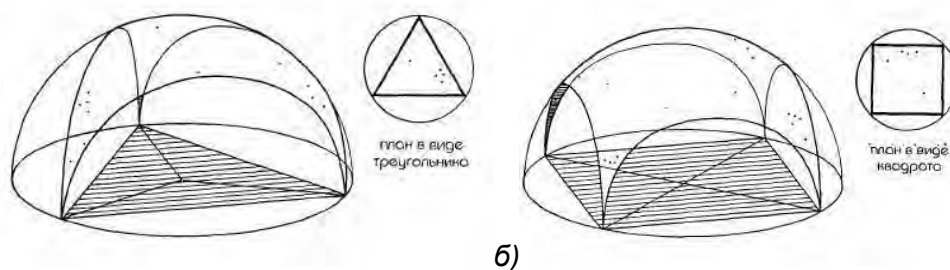


Рис. 5. Полусферические поверхности для геометрии прямолинейного плана [1]: а) план в виде треугольника; б) план в виде квадрата

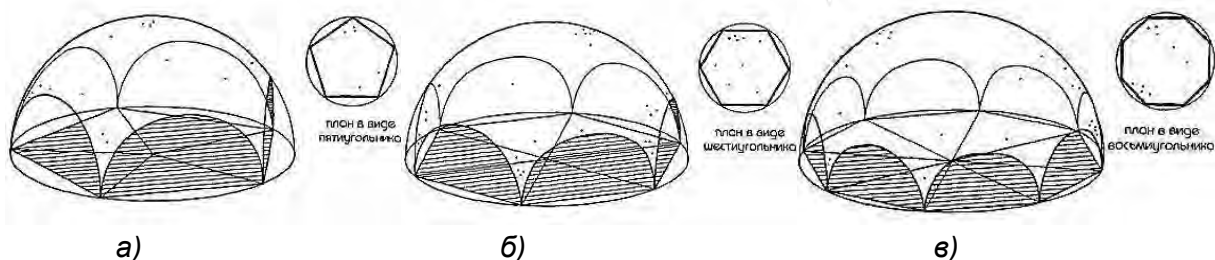


Рис. 6. Полусферические поверхности для геометрии прямолинейного плана [1]: а) план в виде пятиугольника; б) план в виде шестиугольника; в) план в виде восьмиугольника



а)



б)

Рис. 7. Изготовление вкладышей несъемной опалубки: а) станок для вырезания элементов вкладышей; б) вкладыши, установленные в самонесущий остов

Для изготовления вкладыша, повторяющего криволинейную форму конструкции, нами предложен метод его изготовления из отдельных плоских элементов, которые могут быть вырезаны из прямоугольного плоского листа пенополистирола с помощью станка (рис. 7, а).

При этом, основной задачей является уменьшение отхода при раскрое плоского прямоугольного листа пенополистирола и максимальное уменьшение количества элементов в сортаменте для изготовления вкладыша треугольной формы, являющегося несъемной опалубкой сферической формы.

При разбивке вкладыша по радиусу на отдельные элементы толщиной от 70 мм до 200 мм определялись геометрические характеристики, приведенные в табл. 1. Максимальное отклонение контура вкладыша от сферической поверхности составило 0,22-1,82 мм. За основу была принята разбивка на элементы толщиной 100 мм.

Разбивка позволила получить сортмент из десяти элементов одинакового трапециoidalного сечения, имеющих саблеобразную форму и различную длину от 2030 до 230 мм, а также одиннадцатого элемента с отличным от остальных

поперечным сечением (рис. 8).

Такой вариант раскроя позволяет при изготовлении вкладыша из отдельных элементов не перепутать последовательность их сборки и, в случае разрушения одного из элементов, заменить его на другие из более мелких деталей такого же поперечного сечения.

В связи с чем, рассмотрено два варианта раскроя: на четыре вкладыша и на один вкладыш. При раскрое было введено ограничение: один из размеров в плане прямоугольного листа пенополистирола зависит от максимального размера по длине составного элемента вкладыша (номер 1 и 11). Полученные результаты свидетельствуют о том, что применение программного обеспечения для раскроя плоского листа пенополистирола более рационально при раскладке на нем большого количества вкладышей, а ручная раскладка может быть применена только при раскрое одного вкладыша на прямоугольном листе пенополистирола. Результаты ручного и с применением программного обеспечения раскроя плоского листа пенополистирола на отдельные элементы приведена на рис. 9, 10 и табл. 2.

Таблица 1

Размеры разбивки вкладыша (по радиусу)

Длина горизонтальной проекции при разбивке на отдельные элементы, мм	Длина хорды при разбивке на элементы, мм	Длина дуги окружности, мм	Высота сегмента круга, мм	Центральный угол, град
1015	1033,41	1039,58	48,98	21,66
200	200,13	200,18	1,82	4,17
150	150,06	150,07	1,02	3,13
100	100,02	100,02	0,46	2,08
70	70,00	70,00	0,22	1,46

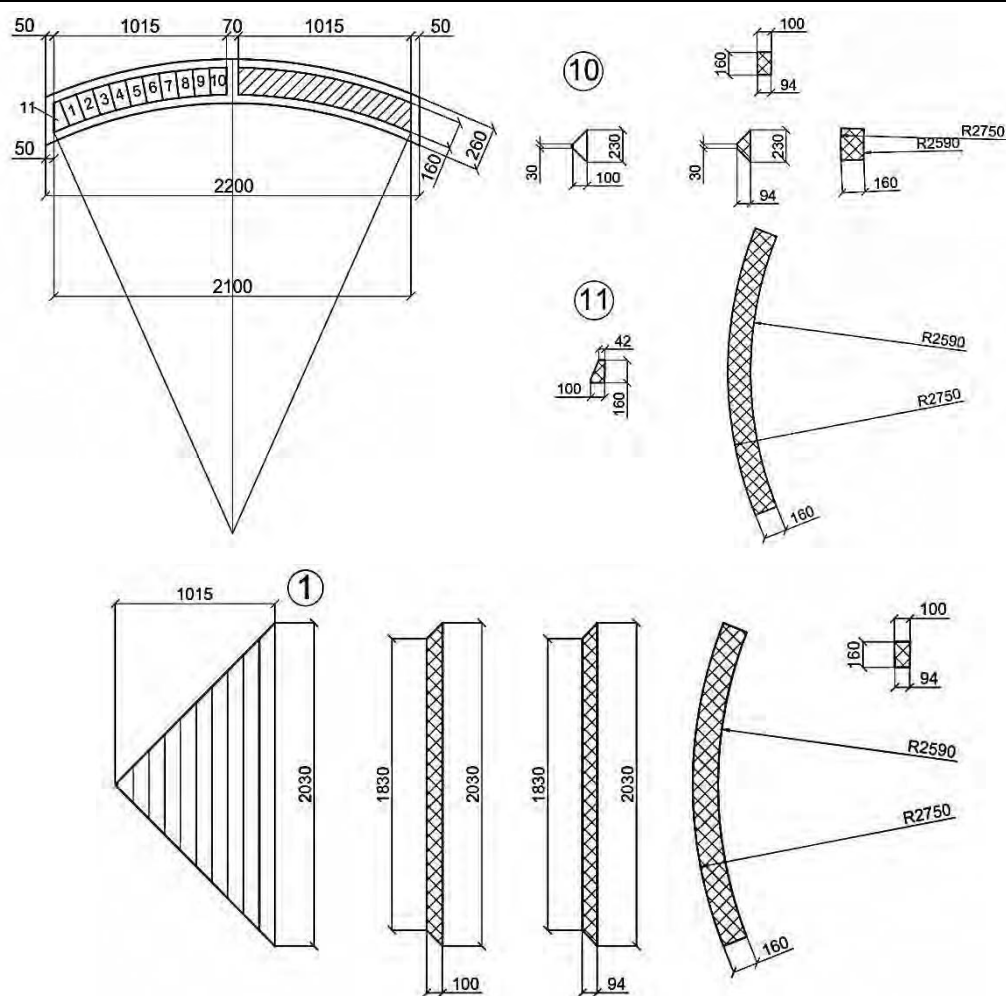


Рис. 8. Раскрой вкладыша по радиусу

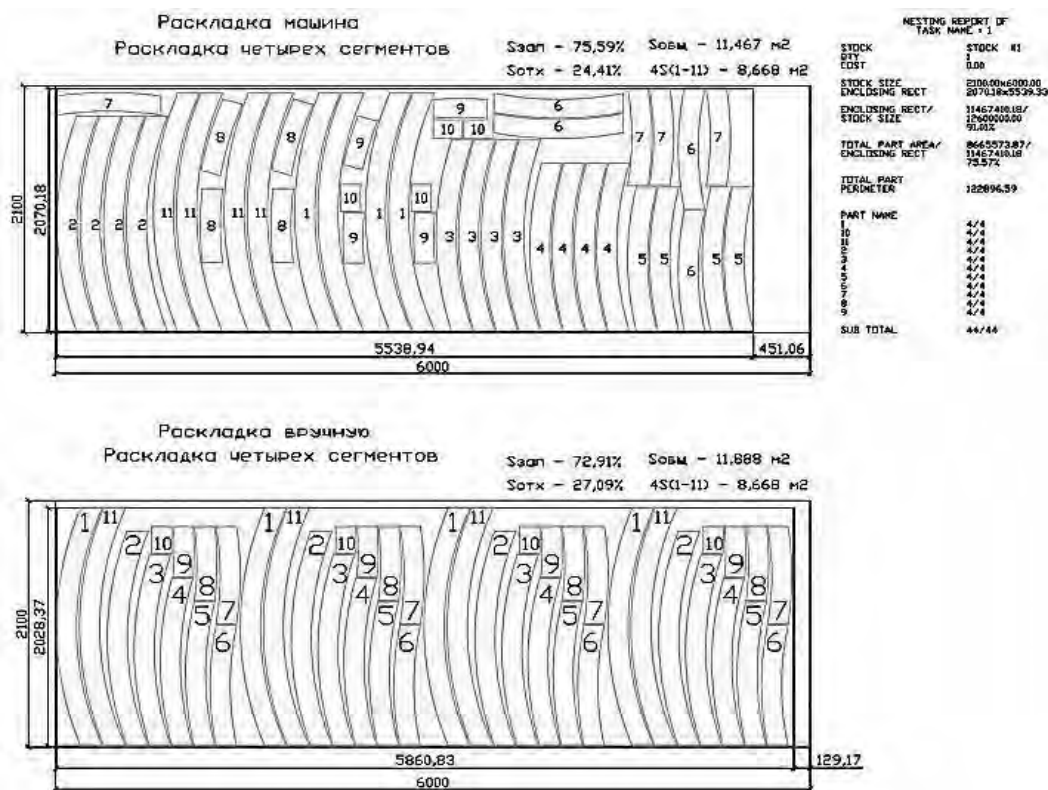


Рис. 9. Раскрой прямоугольного листа пенополистирола на четыре вкладыша



Результаты раскроя плоского листа пенополистирола на отдельные элементы

Для сравнения был предложен второй вариант разбивки вкладыша на составляющие элементы, а именно путем рассечения вертикальной плоскостью. Результаты полученного сортамента элементов приведены на рис. 11.

Из табл. 2 видно, что машинная раскладка более выгодна при раскрое на одном прямоугольном листе пенополистирола нескольких вкладышей, при этом при практически одинаковой площади заполнения 75,59% и 72,91% соответственно, мы получаем остаток листа шириной 451 мм позволяющий раскроить еще несколько

Для усовершенствования первого варианта разбивки вкладыша на составные элементы был предложен вариант изготовления сразу четырех вкладышей в виде одного целого вкладыша с последующим его разрезанием на четыре одинаковые части по диагонали (рис. 12).

Одинаковая длина и форма всех трех элементов упрощает раскрой прямоугольного листа пенополистирола и не требует применения программного обеспечения для оптимизации раскрой.

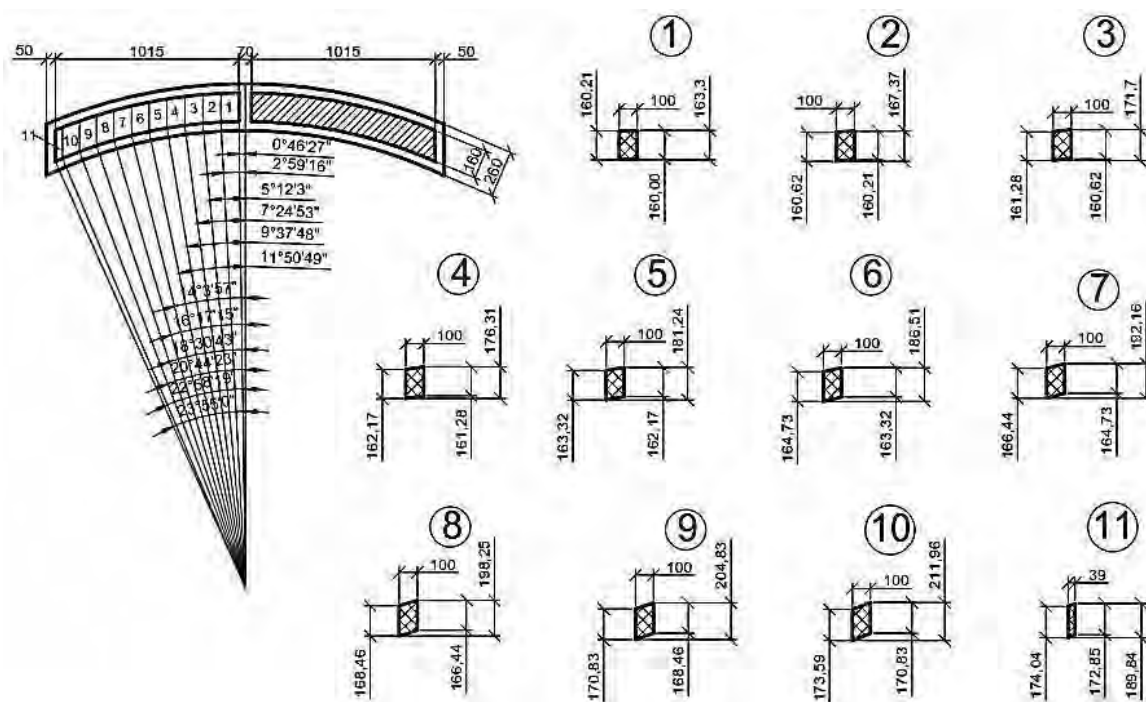


Рис. 11. Раскрой вкладыша вертикальной плоскостью

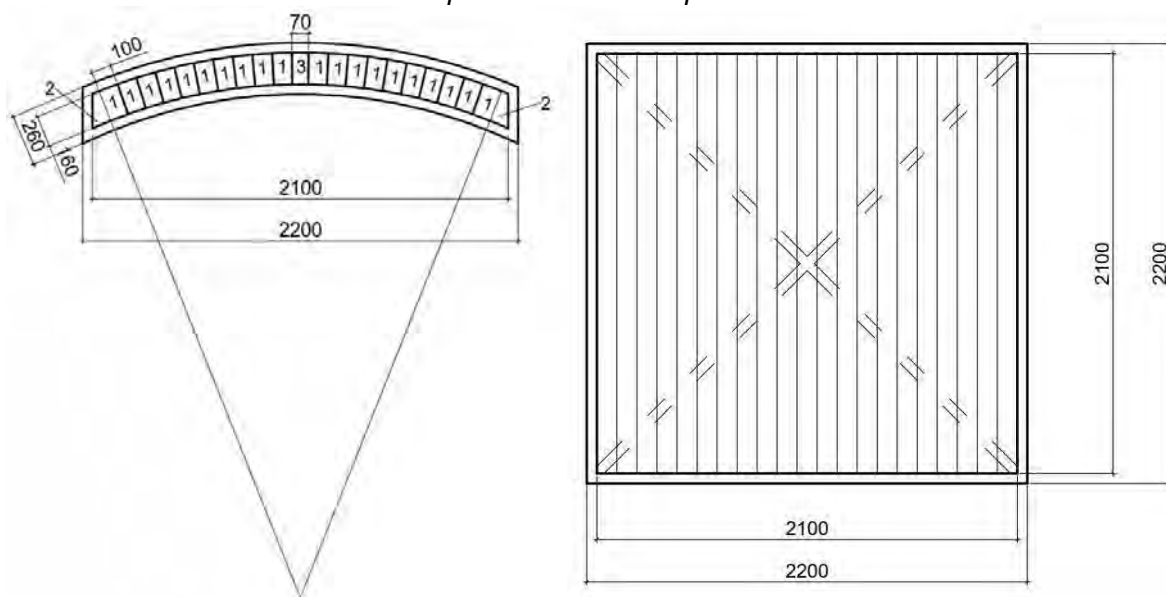


Рис. 12. Раскрой четырех вкладышей как одного целого

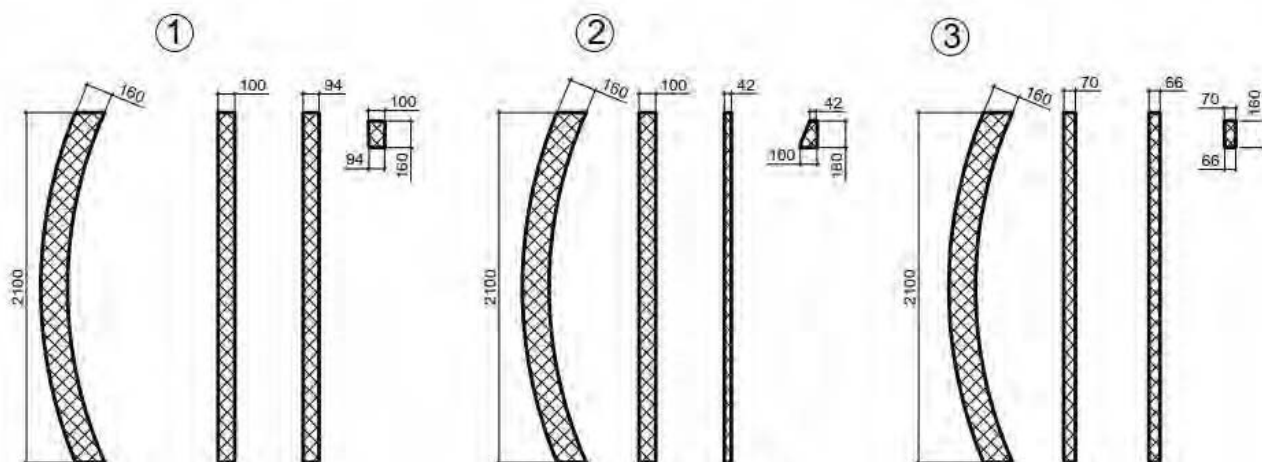


Рис. 13. Сортамент элементов для четырех вкладышей как одного целого

Выводы. Решена задача создания технологии изготовления вкладышей из пенополистирола для возведения полусферических оболочек, при этом обеспечено уменьшение отхода при раскрое плоского прямоугольного листа пенополистирола и получение минимального количества элементов в сортаменте для изготовления вкладышей треугольной формы, применяемых для получения экрана, обеспечивающего бетонирование криволинейных железобетонных конструкций набрызгом торкрет-бетона при безопалубочном бетонировании. Полученные результаты подтверждают эффективность применения облегченных конструкций системы «Монофант», обладающих приведенной толщиной, меньшей до 40%, чем конструкции, имеющие сплошную толщину и позволяют создать «виртуальный» каталог вкладышей несъемной опалубки из пенополистирола для возведения различных криволинейных поверхностей (цилиндрической, гипар, нодоид и т.д.).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Энгель Х. Несущие системы / пер. с нем. Л.А. Андреевой. – М.: АСТ: Астрель, 2007. – 344 с.
2. Лебедев Н.В. Фермы, арки, тонкостенные пространственные конструкции. Учеб. пособие. – М: Архитектура-С, 2006. – 120 с.
3. Дыховичный Ю.А., Жуковский Э.З. Пространственные составные конструкции. Учеб. пособие. – М.: Высш. шк., 1989. – 288 с.
4. Патент України № 48589, кл. E04G11/04. Опалубка для зведення великопролітних куполів / Белов Д.В., Югов А.М. – Опубл. 25.03.2010, Бюл. №6, 2010 р.
5. Monolithic Technology. Portfolio. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.monolithic.com>.
6. Патент Российской Федерации № 2454514, кл. E04B7/08. Способ возведения стен куполообразных зданий / Герливанов В.В. – Опубл. 27.06.2012.

7. Попельнюхов С.Н., Конаков Д.В., Магер А.Н. Новая технология возведения малоэтажных зданий для массового строительства / Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. № 11, 2011. – С. 27-29.

8. Jozef Jasiczak, Włodzimierz Majchrzak, Włodzimierz Czajka. Construction of undulating walls using dry-mix shotcrete. Expansive concrete surface creates the main spatial element inside the Museum of the History of Polish Jews in Warsaw, Poland. – Concrete international, 2015, V. 37, No. 6. – pp. 31-35.

9. Jason Flanagan. Acoustic Shells – Shotcrete, 2015, V. 17, No. 1, Winter – pp. 16-19.

10. Сайт Universe Architecture [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.universearchitecture.com/landscapehouse/xoskt5thlwpeykzn3f9f1v3ufew1il>.

11. Mesh Mould: Robotically Fabricated Metal Meshes as Concrete Formwork and Reinforcement. **Conference Paper**. June 2015. [Електронний ресурс]. – <https://www.researchgate.net/publication/281966955>.

12. Сайт компании Branch Technology [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.branch.technology/competition>.

13. Сайт компании Emerging Objects [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.emergingobjects.com>.

14. V. Babaev, V. Shmukler, S. Bugayevskiy, V. Nikulin Cast Reinforced Concrete Frame of Buildings and Methods of Its Erection // Journal of Civil Engineering and Construction. Volume 5. Number 2. 2016. – pp. 143-156.

15. Шмуклер В.С., Бабаєв В.М., Бугаєвський С.О., Бих Г.М. Спосіб зведення елементів будівель криволінійної форми. – Патент України на винахід № 113669. Чинний з 27.02.2017 р. Бюл. №4.

АНОТАЦІЯ

Розглянуто способи формування напівсферичної поверхні із застосуванням фахверкових систем. Порівняні різні варіанти розкрою листа пінополістиролу для виготовлення незнімних вкладишів. Наведена технологія виготовлення

вкладишів трикутної форми з пінополістиролу, що забезпечує зменшення відходів при розкрії плоского прямокутного листа пінополістиролу. Отримано мінімальну кількість елементів у сортаменті для виготовлення незнімної опалубки.

Ключові слова: незнімний вкладиш, напівсферична форма, незнімна опалубка, пінополістирол.

ANNOTATION

The authors of the article describe different methods of producing semispherical surface via the usage of half-timbered systems. Different variants of cutting a flat rectangular sheet of expanded polystyrene for the non-removable formwork manufacturing are named and compared. The article presents the technology of producing triangular shaped inserts made of expanded polystyrene. The technology introduced ensures the reduction of waste when cutting a flat rectangular sheet of expanded polystyrene, as well as obtaining the minimum amount of elements in the assortment for the non-removable formwork manufacturing. The obtained results confirm the effectiveness of the lightweight "Monofant" system that has a reduced thickness of less than 40% in comparison with the structures of a solid thickness and allow creating a "virtual" catalog of liners for fixed formwork made of expanded polystyrene while dealing with the construction of various curved surfaces (cylindrical, hyper, nodoid etc).

Keywords: non-removable insert, hemispherical shape, fixed formwork, expanded polystyrene

УДК 624.074.2

Білик С.І., д.т.н., проф., КНУБА, м. Київ
Тонкачєєв В.Г., асп., КНУБА, м. Київ

МОДЕЛЮВАННЯ ДЕФОРМАЦІЙ ВЕРХНЬОГО ЯРУСУ ПОЛОГОГО КУПОЛЬНОГО ПОКРИТТЯ

Розглянуто проблему зменшення кута нахилу верхнього ребра пологого купола по відношенню до горизонту при виборі форми купола. Відповідно до зменшення коефіцієнту пологості кут зменшується, тому при намаганні отримати більш пологий купол, може виникнути проблема зі стійкістю верхнього ярусу купола, пов'язана з негативним ефектом "проклацування". Настання аварійної ситуації "проклацування" у верхньому ярусі купола може відбуватися за декількома схемами деформацій. Змодельовані схеми деформацій верхнього ярусу пологих сталевих куполів при ідеальних умовах роботи елементів, що надає змогу розробити модель поведінки купола за комплексною схемою деформацій для створення методики випробувань і виготовлення зразка для проведення натурного експерименту.

Ключові слова: купол, форма, верхній ярус, ребро, кільце, зусилля, деформація, стійкість, проклацування.

Постановка проблеми. Починаючи з дев'ятнадцятого століття, метал є основним конструкційним матеріалом для куполів, а з моменту освоєння випуску металевих замкнених гнутих тонкостінних профілів з'явилася можливість створювати легкі купольні покриття. Пологі легкі металеві куполи набули широкого поширення завдяки новим якостям. З точки зору архітектури будівель, куполи відкривають можливість створення виразних просторових композицій. При цьому будівельна висота пологих купольних конструкцій мінімальна, площа, що перекривається і внутрішній обсяг раціональні. У купольних покриттях поєднуються функції несучих і огорожувальних конструкцій.