

Н.Г. ЦАРИТОВА¹, А.И. КУРБАНОВ¹, А.А. КУРБАНОВА¹,¹ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»,
г. Новочеркасск, Россия

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ЗДАНИЯ НА ОСНОВЕ ТРАНСФОРМИРУЕМЫХ КАРКАСОВ

Аннотация. В строительной отрасли все чаще появляются здания, обеспечивающие себя энергией. В статье рассматриваются формообразующие возможности кинематической системы, представлены решетки и получаемые из них объемно-пространственные формы. Особое внимание уделено цилиндрической поверхности, геометрическая неизменяемость ее обеспечивается жесткостью контура и пространственной формой поверхности центральной части. Авторами статьи предложено общественное здание на основе трансформируемого каркаса – это быстровозводимая и легкая пространственная конструкция, которая будет удовлетворять трем главным требованиям современности: энергосбережение, экономичность и экологичность. Создана трехмерная модель конструкции, рассмотренная в двух состояниях: до возведения (плоская прямолинейная решетка) и после возведения. Выполнен подбор ограждающих конструкций на основе теплотехнического расчета, а в качестве дополнительных панелей используются солнечные батареи. Предложено цветовое решение фасадов. Световые проемы треугольной формы на боковом фасаде и трапециевидные с треугольными на торцах здания. Такое решение обусловлено поддержанием ритмичности конструкций и сэндвич-панелей, установки дополнительных внутренних опор. Отсутствие внутренних опор в здании обеспечивает свободу в вопросах планировки. Для выработки альтернативного вида энергии и экономии на здание установлены солнечные батареи так чтобы не нарушать общую концепцию фасадов.

Ключевые слова: трансформируемый каркас, формообразование, энергоэффективность.

N.G. TSARITOVA¹, A.I. KURBANOV¹, A.A. KURBANOVA¹¹Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia

ENERGY-EFFICIENT BUILDINGS BASED ON TRANSFORMABLE FRAMES

Abstract. In the construction industry, buildings that provide themselves with energy are increasingly appearing. The article discusses the formative capabilities of the kinematic system, presents lattices and the three-dimensional shapes obtained from them. Special attention is paid to the cylindrical surface, its geometric immutability is ensured by the rigidity of the contour and the spatial shape of the surface of the central part. The authors of the article proposed a public building based on a transformable frame – it is a quick-erect and lightweight spatial structure that will meet the three main requirements of modernity: energy conservation, eco-nomicity and environmental friendliness. Have created a three-dimensional model of the structure, viewed in two states: before construction (flat rectilinear lattice) and after construction. The selection of enclosing structures based on thermal engineering calculations was carried out, and solar panels are used as additional panels. The color scheme of the facades is proposed. The light openings are triangular in shape on the side facade and trapezoidal with triangular at the ends of the building. This solution is due to maintaining the rhythm of structures and sandwich panels, installation of additional internal supports. The absence of internal supports in the building provides freedom in planning issues. To generate an alternative type of energy and save money, solar panels are installed on the building so as not to violate the general concept of facades.

Keywords: transformable frame, shaping, energy efficiency.

Введение

В вопросах энергосбережения строительная отрасль идет уверенными шагами вперед. Всё чаще появляются здания, которые способны полностью обеспечивать себя энергией, а иногда и производить её в избыточных объемах, что позволяет снабжать соседние строения [1-5].

На рынке с каждым днем появляется всё больше материалов, которые позволяют проектировать энергосберегающие здания и сооружения [6, 7]. Все эти предпосылки подтолкнули нас к идее создать проект здания, которое будет удовлетворять трем главным требованиям современности: энергосбережение, экономичность и экологичность.

Основная задача при выборе конструктива будущего здания – добиться сокращения сроков возведения, обеспечить прочность и надежность остова. В качестве основной несущей и ограждающей конструкции проектируемого здания была выбрана плоская кинематическая система (ПКС), разработанная сотрудниками ЮРГПУ(НПИ) [8, 9]. Конструкция представляет собой гибкую триангуляционную сеть, состоящую из стержней одинаковой длины (l_1) и соединяющих их шарниров (рисунок 1).

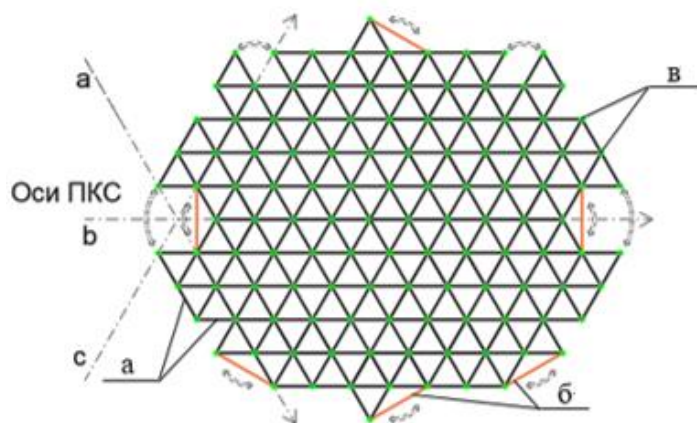


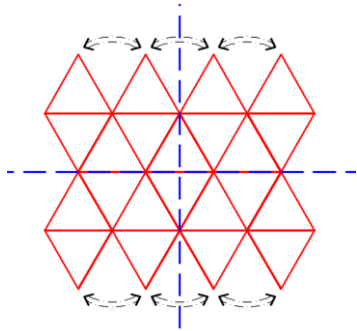
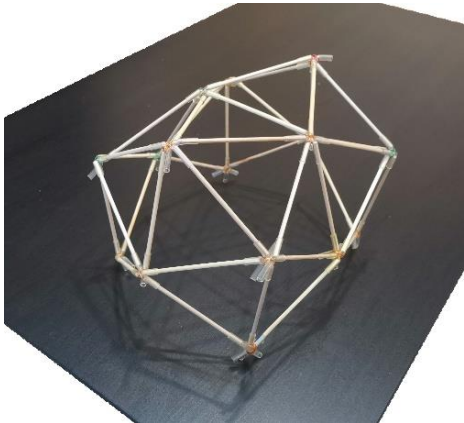
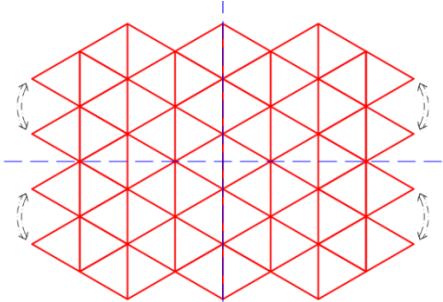
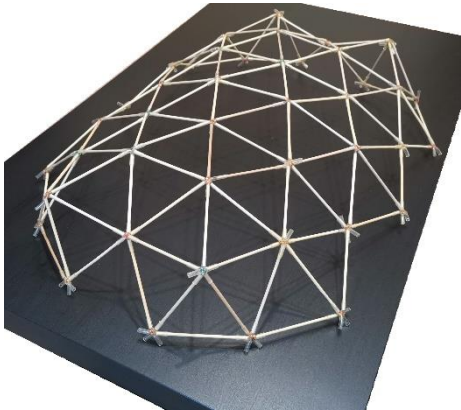
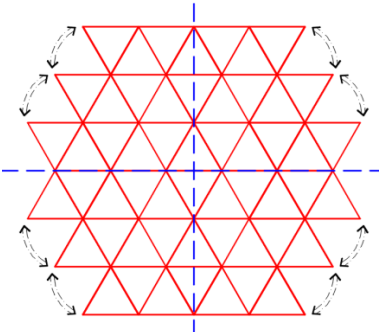
Рисунок 1 – Плоская кинематическая система (ПКС):
а) стержни длиной l_1 ; б) стержни длиной l_2 с приводами; в) шарниры

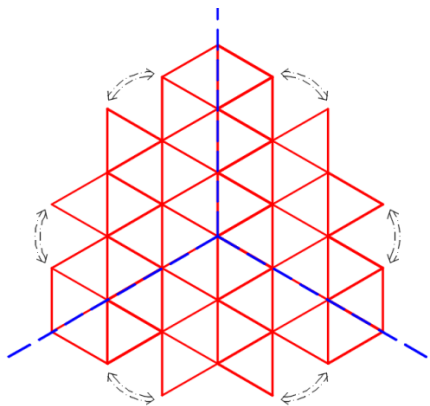
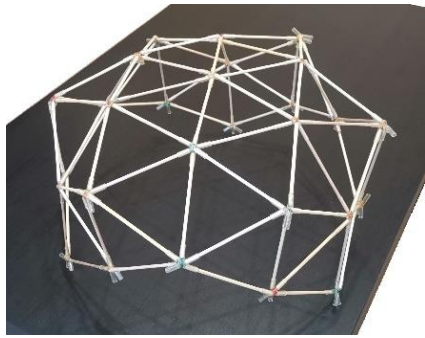
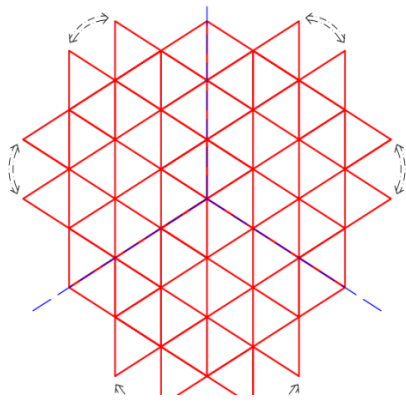
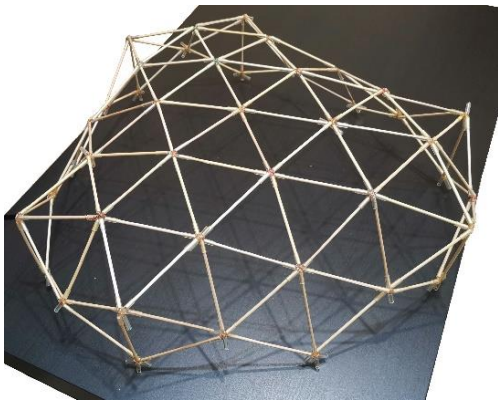
ПКС рассматривается нами в двух состояниях: до возведения (плоская прямолинейная решетка) и после возведения (плоская криволинейная решетка). До возведения ПКС собирается на площадке, в характерных местах вводятся стержни длиной l_2 с актуаторами, которые приводят ПКС в движение – конструкция переходит во второе состояние.

В зависимости от расположения стержней с актуаторами, система может менять свою форму. В таблице 1 приведены формообразующие возможности рассматриваемой кинематической системы.

В данной работе остановим свой выбор на цилиндрической геометрической поверхности [10]. Геометрическая неизменяемость данной поверхности обеспечивается жесткостью контура и пространственной формой поверхности центральной части. В центральной части, где форма поверхности представляется полой, возможна потеря устойчивости – прощелкивание узловых элементов, которое можно устранить введением дополнительных конструктивных элементов.

Таблица 1 – Формообразующие возможности ПСК

Вид симметрии	ПКС из триангуляционной решетки	Вид образуемой геометрической поверхности	Объемно пространственная форма
1	2	3	4
2 m	 — - Оси симметрии	Цилиндрическая	
	 — - Оси симметрии	Цилиндрическая	
	 — - Оси симметрии	Цилиндрическая	

1	2	3	4
3 m	 — — - Оси симметрии	Сферическая	 
	 — — - Оси симметрии	Усеченных эллипсоид	

В таблице приведены фото макетов объемно пространственных форм плоских кинематических система выполненных авторами статьи для наглядного примера формообразующих возможностей.

Модели и методы

Схема каркаса здания после его возведения и установки шпренгелей приведена на рисунке 2.

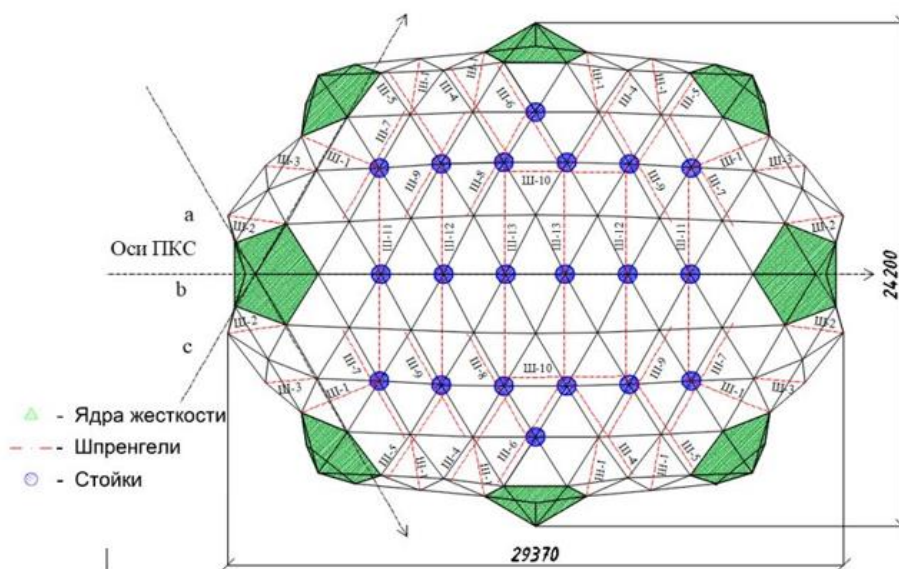


Рисунок 2 – Схема плоской кинематической системы со шпренгелями

В итоге была получена жесткая устойчивая конструкция, способная выдержать значительные нагрузки. Такие системы могут служить каркасом для постоянных и временных зданий и сооружений, например, рынков, выставочных павильонов, спортивных комплексов, оранжерей, крытых парков и общественных пространств и многого другого.

В качестве покрытия здания крытого рынка используются сэндвич-панели [11, 12] треугольной и прямоугольно-трапециевидной формы. Панели легкие, толщиной 150 мм состоящие с двух сторон из композитного материала – алюкобонд и утеплителя пеноплекса. Треугольные сэндвич-панели выполнены плоскими с одной стороны и выпуклые с другой для подчеркивания ритмичности ПКС (рисунок 3).

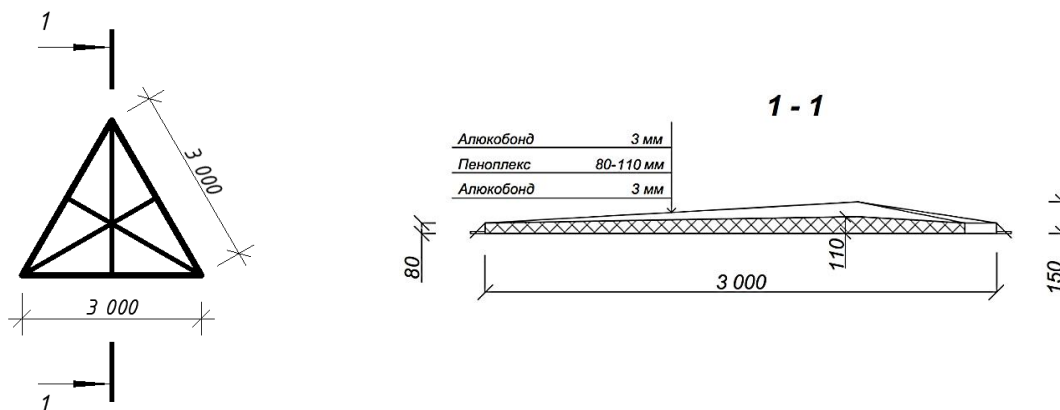


Рисунок 3 – Треугольные сэндвич-панели из композитного материала с утеплителем

Такие панели легко монтируются и крепятся в угловых элементах на каркасе здания. Максимальный вес одной сэндвич-панели составляет 42 кг. Что позволяет использовать краны с небольшой грузоподъемностью.

Для проверки энергоэффективности выбранных материалов был проведен теплотехнический расчет ограждающих конструкций [13, 14] в программе LIT Thermo Engineer. Данные для расчета приведены в таблицах 2 и 3. Расчеты были выполнены в соответствии с СП50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» для города Ростов-на-Дону. Ниже приведены результаты расчета (рисунок 4 и 5, таблицы 4 и 5).

В соответствии с СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*

Таблица 2 – Данные для расчета

Основные данные	Ед. изм.
Российская Федерация	ГСОП = 3336,6
Ростовская область	$R_{тр} = 2,20098 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C/Вт}$
Ростов-на-Дону	$nt = 1$
Тип здания:	Общественные, административные и бытовые, производственные и другие здания и помещения
Тип ограждающей конструкции:	Стены
Температура воздуха внутри помещения, $^\circ\text{C}$	20
Влажность воздуха внутри помещения, %	55
Температура окружающего воздуха, $^\circ\text{C}$	-19
Влажность воздуха, %	82

Таблица 3 – Конструкция

№	Материал слоя	Плотность, кг/м^3	Толщина, мм
1	Алюминий	2600	3
2	Плиты из пеноплекса	20	80
3	Алюминий	2600	3

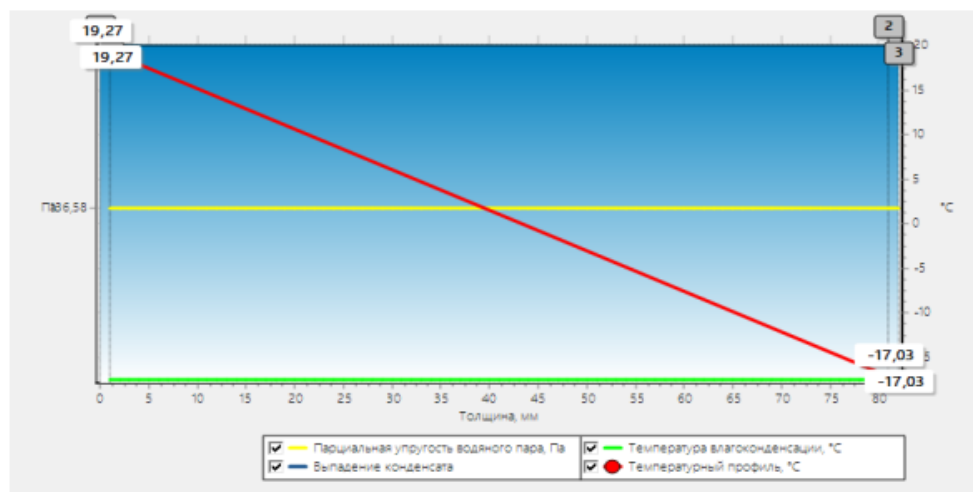


Рисунок 4 – Изменение температуры, влажности, парциального давления в конструкции

Таблица 4 – Результаты расчета

Наименование	Результат	Ед. изм.
Термическое сопротивление конструкции	2,16	$\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C/Вт}$
Сопротивление теплопередаче конструкции	2,32	$\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C/Вт}$
Тепловой поток через конструкцию	16,81	Вт/м^2
Сопротивление паропроницаемости конструкции	3,6	$\text{м}^2 \text{ ч Па/мг}$
Поток влаги через конструкцию	0	мг/м^2
Выпадение конденсата	Отсутствует	
Нормированная удельная теплозащитная характеристика	2,5	$\text{Вт/м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$
Расчетная удельная теплозащитная характеристика	0,07	$\text{Вт/м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$
Требуемое сопротивление теплопередаче	2,2	$\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C/Вт}$
Приведенное сопротивление теплопередаче	2,32	$\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C/Вт}$

Таблица 5 – Сопротивление слоёв

№ слоя	Материал слоя	$R_i, \text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C/Вт}$	$R_{pi}, \text{м}^2 \text{ ч Па/мг}$
1	Алюминий	0	1
2	Плиты из пеноплекса	2,16	1,6
3	Алюминий	0	1

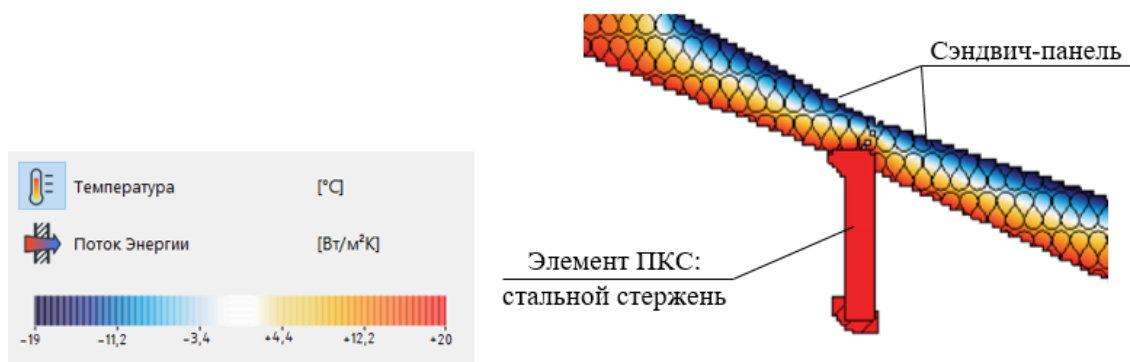


Рисунок 5 – Сопротивление слоев

Согласно результатам расчета, минимальная толщина утеплителя в панелях составляет 80 мм.

Рассматриваемый вид конструкций позволяет легко крепить ограждающие панели, которые для улучшения энергоэффективности здания можно комбинировать с другими видами: светопрозрачные панели с низкоэмиссионными стеклами, солнечные панели [15-17], для южных регионов дополнительно могут крепиться солнцезащитные панели (рисунок 6).

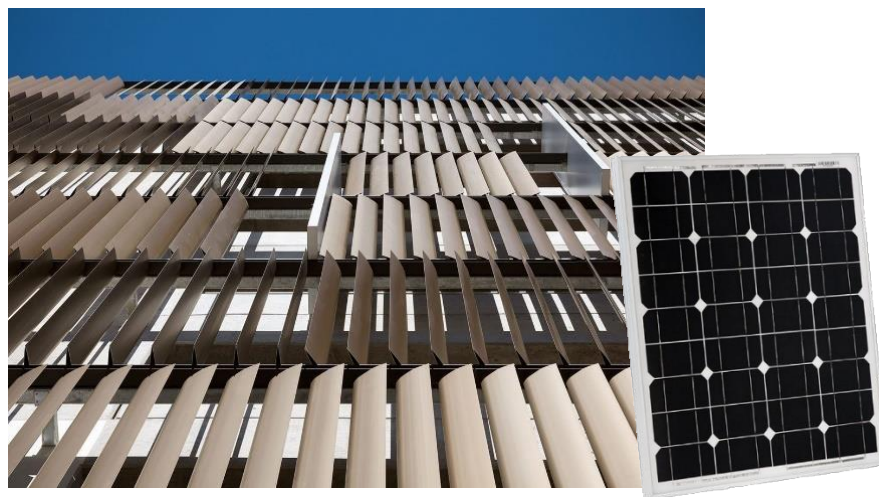


Рисунок 6 – Виды дополнительных панелей

В данной научной работе в качестве дополнительных панелей будут использованы солнечные батареи марки SilaSolar 550Вт (ТР). Все необходимые данные для расчета показаны на рисунке 7. Расчет производится на минимальный угол установки батарей 2° .

Солнечная батарея SilaSolar 550Вт (ТР)

Укажите количество СБ

24

= 61.92 м²

☐ 0° Горизонтально
 ☐ 32° Лето
 ☐ 47° Оптиммум
 ☐ 62° Зима
 ☐ 90° Вертикально

Угол наклона

- 2 +

Рисунок 7 – Данные для расчета

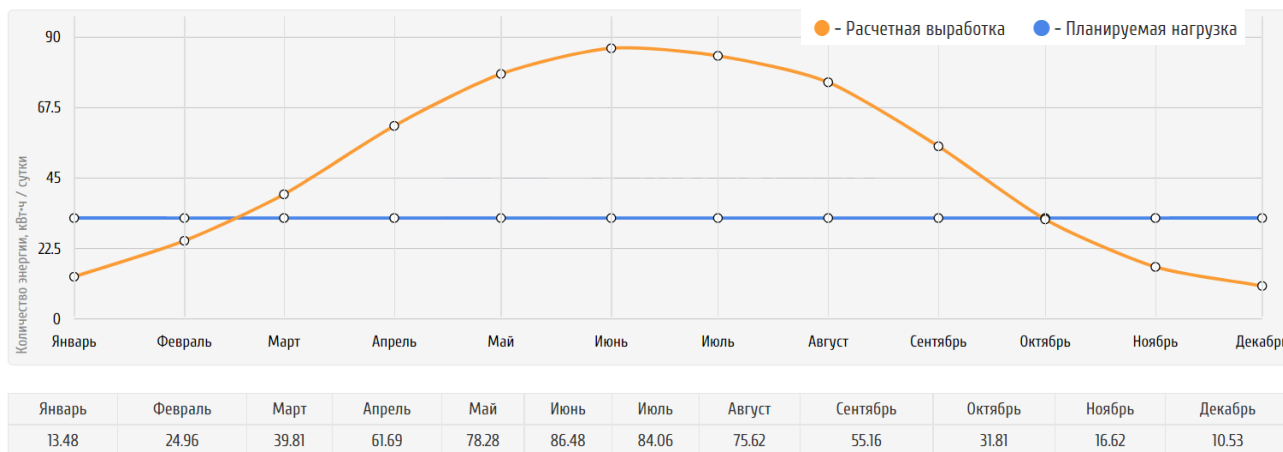
Средняя нагрузка на батареи рассчитывается на потребляемую мощность осветительных приборов и холодильных установок (рисунок 8).

☒ Электrolампа	15 Шт × 35 Вт × 8 часов	в сутки	4.20 кВт·ч/сутки
☐ Телевизор	1 Шт × 130 Вт × 6 часов	в сутки	
☒ Холодильник	24 Шт × 146 Вт × 8 часов	в сутки	28.03 кВт·ч/сутки
☐ Чайник	1 Шт × 2000 Вт × 0,2 часов	в сутки	
☐ Микроволновка	1 Шт × 1500 Вт × 0,2 часов	в сутки	
☐ Газ. котел	1 Шт × 200 Вт × 6 часов	в сутки	
☐ Циркул. насос	1 Шт × 50 Вт × 6 часов	в сутки	
☐ Компьютер	1 Шт × 350 Вт × 3 часов	в сутки	
☐ Электроплита	1 Шт × 4000 Вт × 2 часов	в сутки	

Средняя нагрузка 32.23 кВт·ч / сутки

Рисунок 8 – Средняя нагрузка на батареи

По итогам расчета для обеспечения необходимой мощности требуется установить 24 панели марки SilaSolar 550Вт (ТР). График выработки электроэнергии батареями приведен на рисунке 9.

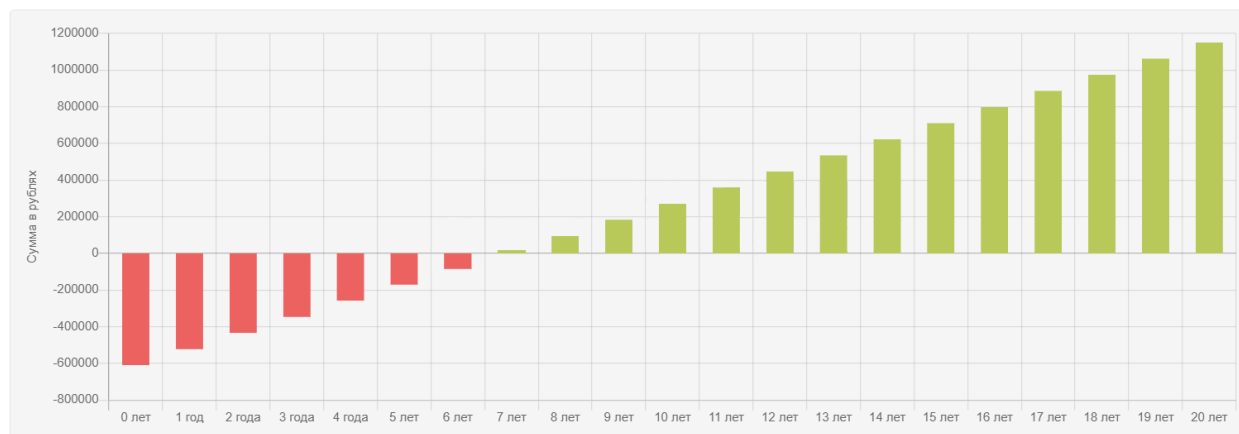


Среднегодовая выработка электроэнергии: 48.21 кВт·ч/сутки. Суммарная выработка электроэнергии за год: 17586.60 кВт·ч.

Рисунок 9 – График выработки электроэнергии батареями

Солнечные батареи позволяют вырабатывать достаточное количество электроэнергии для здания крытого рынка в период с марта по октябрь для данного региона. Окупаемость выбранного источника электроэнергии согласно расчету, составляет 7 лет (рисунок 10).

Стоимость 1 кВт часа 5 руб. (ваш тариф на электроэнергию)



Чистая прибыль и срок окупаемости рассчитаны без учета деградации солнечных батарей

Стоимость солнечных батарей	Срок окупаемости солнечных батарей	Чистая прибыль за 20 лет
609 168,00 руб.	7 лет	1 149 492,00 руб.

Рентабельность ваших вложений в солнечные батареи составит 14,43% годовых

Рисунок 10 – График окупаемости солнечных батарей

Результаты исследования и их анализ

В результате экспериментального проектирования был подготовлен проект энергоэффективного здания на основе трансформируемого каркаса.

Форма здания крытого рынка представляет собой цилиндрическую поверхность свободного очертания (рисунок 11). Максимальные размеры здания в плане 29,37х24,2 м, высота здания 8,65м. Площадь здания составляет 503,3 квадратных метров.

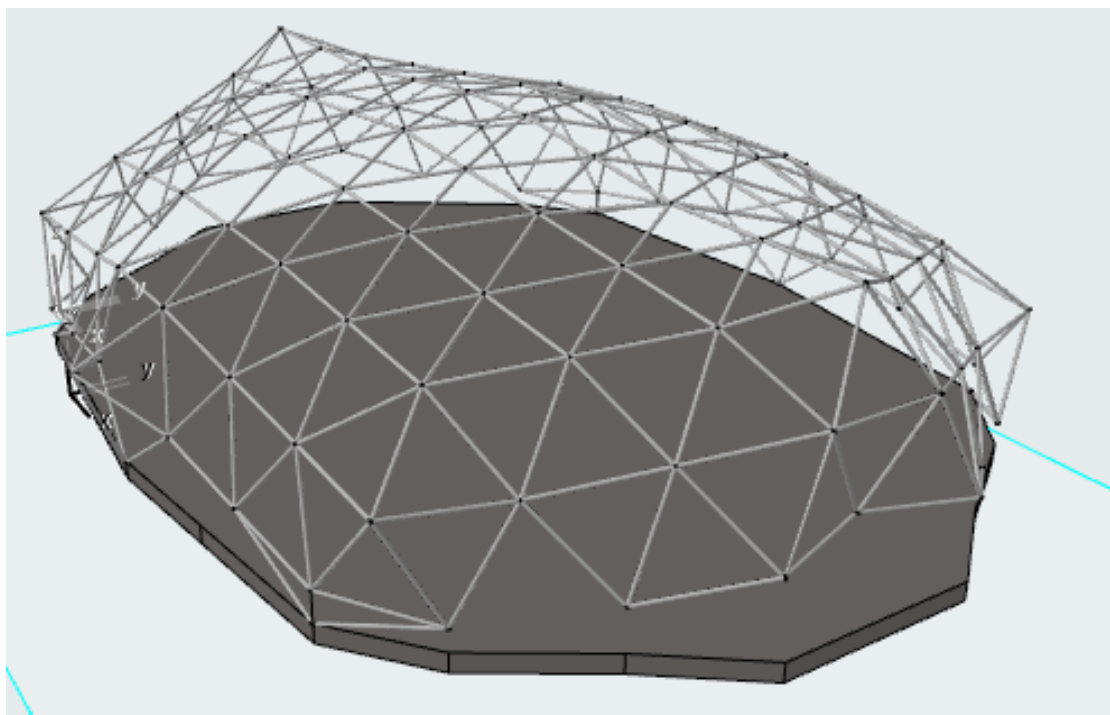
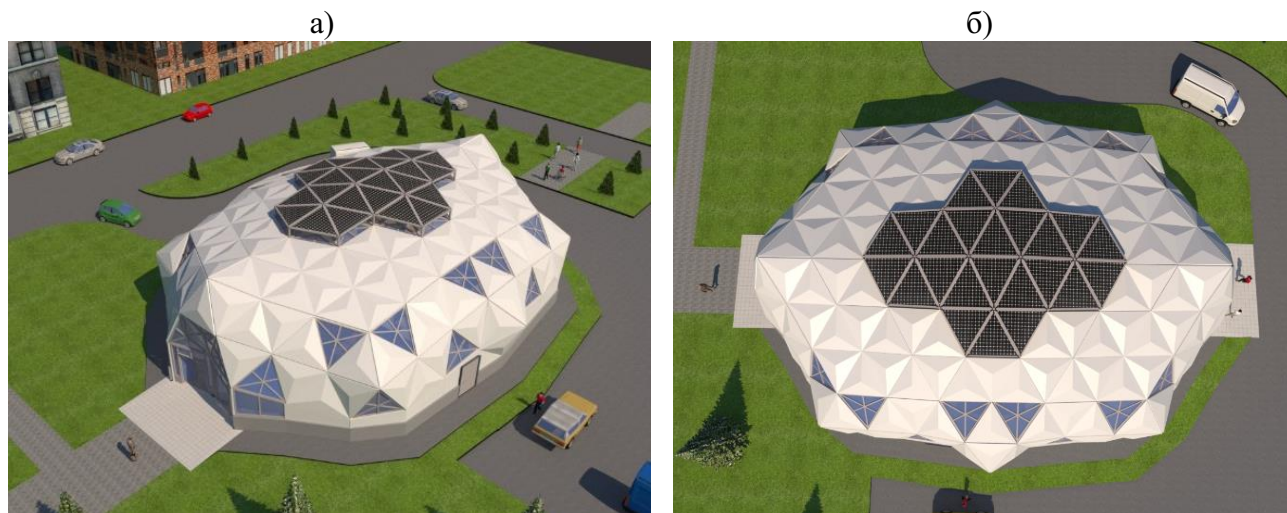


Рисунок 11 – Каркас крытого рынка сезонной торговли

По сравнению со стержневыми зданиями купольной формы [18-20], в предлагаемом здании нет мертвых зон вблизи опор.

Цветовое решение фасадов здания выполнено из спокойного белого цвета с сочетанием синих тонов световых проемов. Ритмичность при использовании элементов, фактуры, деталей - это основной композиционный прием. Здание имеет световые проемы треугольной формы на боковом фасаде и трапециевидные с треугольными на торцах здания. Организован световой фонарь в виде соединенных между собой четырех шестигранников треугольной раскладки. Такое решение обусловлено поддержанием ритмичности конструкций и сэндвич-панелей. Для выработки альтернативного вида энергии и экономии на здание установлены солнечные батареи в количестве 24 штук. Общие виды здания приведены на рисунке 12.



*Рисунок 12 – Виды здания крытого рынка:
а) вид с главного входа; б) вид сверху*

Запроектированное многогранное в плане здание крытого рынка имеет форму полуцилиндра свободного очертания. Такая форма обладает рядом преимуществ по сравнению с прямоугольными. В таком здании в связи с отсутствием прямых углов повышаются теплотехнические характеристики, что в совокупности с правильно подобранными материалами, делает его энергоэффективным.

ПКС поступает на строительную площадку одной грузоперевозкой из-за малого количества конструктивных элементов. Жесткость, обеспечиваемая образованной формой каркаса и шпренгелями достаточно и не требует установки дополнительных внутренних опор. Отсутствие внутренних опор в здании обеспечивает свободу в вопросах планировки.

Всё это в значительной степени повышает экономичность проекта здания.

Совокупность всех вышеперечисленных преимуществ позволяет создать надежное здание, удовлетворяющее всем требованиям современного строительства.

Выводы

1. Использование плоской кинематической системы со шпренгелями в качестве несущих конструкций дает ряд преимуществ:

- уменьшаются сроки подготовительного этапа;
- увеличивается скорость монтажа из-за использования однотипных конструкций;
- уменьшается объём строительных отходов и т.д.

2. В таких зданиях в связи с отсутствием прямых углов повышаются теплотехнические характеристики, что в совокупности с правильно подобранными материалами, делает его энергоэффективным.

3. Совокупность всех вышеперечисленных преимуществ позволяет создать надежное здание, удовлетворяющее всем требованиям современного строительства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семикин П.П., Бацунова Т.П. Динамическая архитектура. Кинетические фасады // Известия вузов. Строительство. 2018. № 6 (714). С. 86-96.
2. Сологубов Ю.П., Гордеева Т.Е. Анализ планировочных решений жилых зданий по энергоэффективности // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2015. № 4(21). С. 104-107. doi:10.17673/Vestnik.2015.04.14..
3. Кирюдчева А.Е., Шишкина В.В. Энергоэффективные фасадные системы // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 4(31). С. 248-262.
4. Paiho S., Seppä I.P., Jimenez C. An energetic analysis of a multifunctional façade system for energy efficient retrofitting of residential buildings in cold climates of Finland and Russia // Sustainable Cities and Society. 2015. Vol. 15. Pp. 75-85. doi:10.1016/j.scs.2014.12.005.
5. Buzalo N.A., Versilov S.O., Platonova I., Tsaritova N. (2020). Energy efficient building structures based on gridshell. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 698. doi:10.1088/1757-899x/698/2/022010.
6. Abramczyk J. Building Structures Roofed with Multi-Segment Corrugated Hyperbolic Paraboloid Steel Shells// Procedia Engineering. 2016. Vol. 161. Pp. 1545–1550. doi:10.1016/j.proeng.2016.08.624.
7. Zeng Q., Mao T., Li H., Peng Y. Thermally insulating lightweight cement-based composites incorporating glass beads and nano-silica aerogels for sustainably energy-saving buildings // Energy and Buildings. 2018. Vol. 174. Pp. 97-110 doi:10.1016/j.enbuild.2018.06.031.
8. Tsaritova N., Tumasov A., Kalinina A., Kosogov V. Possibilities of Architectural and Constructive Shaping of Spatial Forms from Rod Arches // Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Vol. 160 LNCE. Pp. 229-235. doi:10.1007/978-3-030-75182-1_31.
9. Травуш В.И., Антошкин В.Д., Ерофеев В.Т., Гудожников С.С. Современные конструктивно-технологические решения сферических оболочек // Строительство и реконструкция. 2012. № 6(44). С. 45-55.
10. Тумасов А.А., Царитова Н.Г., Курбанов А.И., Калинина А.А. Геометрические параметры стержневых трансформируемых арочных систем // Строительство и архитектура. 2017. Т. 5. № 2. С. 135-140. doi:10.12737/article_59806881305c30.67459418.
11. Петров С.М. Автоматизированное проектирование и расчет трехслойных панелей с учетом силового и температурного воздействия // Строительная механика и расчет сооружений. 2013. № 1(246). С. 23-28.
12. Плотников В.В., Ботаговский М.В. Инновационные ограждающие конструкции и материалы для реализации ресурсоэнергоэффективного строительства // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2015. № 4(12). С. 35-44.
13. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Теоретические предпосылки расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций // Строительные материалы. 2010. № 12. С. 4-12.
14. Горелик П.И., Золотова Ю.С. Современные теплоизоляционные материалы и особенности их применения // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 3(18). С. 93-103.
15. Панченко В.А., Стребков Д.С., Персиц И.С. Солнечные модули с увеличенным сроком службы на уровне номинальной мощности // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2015. № 19(183). С. 55-60. doi:10.15518/isjaee.2015.19.007.
16. Панченко В.А. Моделирование теплофотоэлектрической кровельной панели для энергоснабжения объектов // Строительство и техногенная безопасность. 2018. № 13(65). С. 143-157.
17. Хуторной А.Н., Цветков Н.А., Кривошеин Ю.О., Кузнецова А.А. Эффективность использования солнечных вакуумных трубчатых коллекторов в природно-климатических условиях Якутии // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 3(56). С. 156-165.
18. Кузяева Н.А., Горбунова В.С. Купольные конструкции как способ реализации новых архитектурных идей // Perspectives of Science and Education. 2014. № 1. С. 269-272.
19. Chandiwal A. Analysis and design of steel dome using software // International Journal of Research in Engineering and Technology (IJRET). eSAT Publishing House, Bangalore, India. 2014. Vol. 3. Issue 3. Pp. 35–39. https://doi.org/10.15623/ijret.2014.0303006
20. Jadhav H.S., Ajit S. Patil. Parametric Study of Double Layer Steel Dome with Reference to Span to Height Ratio // International Journal of Science and Research (IJSR). August 2013. Vol. 2. Issue 8. Pp. 110-118, https://www.ijsr.net/get_abstract.php?paper_id=0201392.

REFERENCES

1. Semikin P.P., Batsunova T.P. Dinamicheskaya arxitektura. Kineticheskie fasady' [Dynamic architecture. Kinetic facades] Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo. 2018. Vol. 714. No. 6. Pp. 86-96. (rus)
2. Sologubov Yu.P., Gordeeva T.E. Analysis of planning solutions of residential buildings for energy efficiency // Herald of the SSASU. Urban planning and architecture. 2015. No. 4(21). Pp. 104-107. doi:10.17673/Vestnik.2015.04.14 (in rus)
3. Kiryudcheva A.E., Shishkina V.V. Energy-efficient facade systems // Construction of unique buildings and structures. 2015. No. 4(31). Pp. 248-262 (in rus)
4. Paiho S., Seppä I.P., Jimenez C. An energetic analysis of a multifunctional façade system for energy efficient retrofitting of residential buildings in cold climates of Finland and Russia // Sustainable Cities and Society. 2015. Vol. 15. Pp. 75-85. doi:10.1016/j.scs.2014.12.005.
5. Buzalo N.A., Versilov S.O., Platonova I., Tsaritova N. (2020). Energy efficient building structures based on gridshell. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 698. doi:10.1088/1757-899x/698/2/022010.
6. Abramczyk J. Building Structures Roofed with Multi-Segment Corrugated Hyperbolic Paraboloid Steel Shells// Procedia Engineering. 2016. Vol. 161. Pp. 1545–1550. doi:10.1016/j.proeng.2016.08.624.
7. Zeng Q., Mao T., Li H., Peng Y. Thermally insulating lightweight cement-based composites incorporating glass beads and nano-silica aerogels for sustainably energy-saving buildings // Energy and Buildings. 2018. Vol. 174. Pp. 97-110 doi:10.1016/j.enbuild.2018.06.031.
8. Tsaritova N.G, Tumasov A.A, Kalinina A.A, Kosogov V. Possibilities of Architectural and Constructive Shaping of Spatial Forms from Rod Arches // Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Vol. 160 LNCE. Pp. 229-235. doi:10.1007/978-3-030-75182-1_31. (in rus)
9. Travush V.I., Antoshkin V.D., Erofeev V.T., Gudozhnikov S.S. Modern constructive and technological solutions of spherical shells // Construction and reconstruction. 2012. No. 6(44). P. 45-55. (in rus)
10. Tumasov A.A., Tsaritova N.G, Kurbanov A.I, Kalinina A.A. Geometric parameters of rod transformable arch systems // Construction and Architecture. 2017. T. 5. No. 2. Pp. 135-140. doi:10.12737/article_59806881305c30.67459418.
11. Petrov S.M. Computer-aided design and calculation of three-layer panels taking into account force and temperature effects // Construction mechanics and calculation of structures. 2013. No. 1(246). Pp. 23-28. (in rus)
12. Plotnikov V.V., Botagovsky M.V. Innovative enclosing structures and materials for the implementation of resource-energy-efficient construction // Biosphere compatibility: man, region, technologies. 2010. No. 12. Pp. 4-12. (in rus)
13. Gagarin V.G., Kozlov V.V. Theoretical prerequisites for calculating the reduced heat transfer resistance of enclosing structures // Building materials. 2010. No. 12. Pp. 4-12.
14. Gorelik P.I. Zolotova Y.S. Modern thermal insulation materials and features of their application // Construction of unique buildings and structures. 2014. No. 3(18). Pp. 93-103. (in rus)
15. Panchenko V.A., Strebkov D.S., Persits I.S. Solar modules with extended service life at the rated power level // International Scientific Journal Alternative Energy and Ecology. 2015. No. 19(183). Pp. 55-60. doi:10.15518/isjaee.2015.19.007. (in rus)
16. Panchenko V.A. Modeling of a thermal photovoltaic roofing panel for power supply of objects // Construction and technogenic safety. 2018. No. 13(65). Pp. 143-157. (in rus)
17. Khutoroi A.N., Tsvetkov N.A., Krivoshein Yu.O., Kuznetsova A.A. Efficiency of using solar vacuum tubular collectors in natural and climatic conditions of Yakutia // Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. 2016. No. 3(56). Pp. 156-165. (in rus)
18. Kuzyaeva N.A., Gorbunova V.S. Domed structures as a way to implement new architectural ideas// Perspectives of Science and Education. 2014. No. 1. Pp. 269-272. (in rus)
19. Chandiwalla A. Analysis and design of steel dome using software // International Journal of Research in Engineering and Technology (IJRET). eSAT Publishing House, Bangalore, India. 2014. Vol. 3. Issue 3. Pp. 35–39. https://doi.org/10.15623/ijret.2014.0303006.
20. Jadhav H.S., Ajit S. Patil. Parametric Study of Double Layer Steel Dome with Reference to Span to Height Ratio // International Journal of Science and Research (IJSR). August 2013. Vol. 2. Issue 8. Pp. 110-118, https://www.ijsr.net/get_abstract.php?paper_id=0201392.

Информация об авторах:

Царитова Надежда Геннадьевна

ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»,
г. Новочеркасск, Россия,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Градостроительство, проектирование зданий и сооружений».
E-mail: ncaritova@yandex.ru

Курбанов Абакар Ибрагимович

ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»,
г. Новочеркасск, Россия,
аспирант кафедры «Градостроительство, проектирование зданий и сооружений».
E-mail: abakar0517@gmail.com

Курбанова Анастасия Алексеевна

ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»,
г. Новочеркасск, Россия,
аспирант кафедры «Градостроительство, проектирование зданий и сооружений».
E-mail: anastasia.a.kalinina@yandex.ru

Information about authors:

Tsaritova Nadezhda G.

Platov South-Russian State Polytechnic University, (NPI), Novocherkassk, Russia,
PhD, assistant professor of Department «Urban development, designing of buildings and structures».
E-mail: ncaritova@yandex.ru

Kurbanov Abakar Ib.

Platov South-Russian State Polytechnic University, (NPI), Novocherkassk, Russia,
postgraduate student of Department «Urban development, designing of buildings and structures».
E-mail: abakar0517@gmail.com

Kurbanova Anastasia Al.

Platov South-Russian State Polytechnic University, (NPI), Novocherkassk, Russia,
postgraduate student of Department «Urban development, designing of buildings and structures».
E-mail: anastasia.a.kalinina@yandex.ru