

УДК 699.8

Создание комфортных условий эксплуатации выставочных комплексов в жарком климате

Ж. В. Иванова, Г. А. Богданова

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: *Иванова Ж. В., Богданова Г. А.* Создание комфортных условий эксплуатации выставочных комплексов в жарком климате // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2023. — Т. 20. — Вып. 2. — С. 336–347. DOI: 10.20295/1815-588X-2023-2-336-347

Аннотация

Цель: Рассмотреть возможность использования в ограждающих конструкциях современные инновационные материалы покрытия, в частности пленки ETFE, при проектировании общественных зданий в различных природно-климатических условиях, на примере регионов с наличием жаркого климата. **Метод:** Обобщение принципов проектирования, в том числе и в условиях жаркого климата. Анализ климатических параметров районов жаркого климата, оказывающих существенное влияние на комфортные условия пребывания людей в общественных зданиях, характеризующихся многофункциональностью, значительными размерами в пространстве, достаточно большим скоплением людей и т. д. Показать возможность обеспечения благоприятных условий пребывания людей в таких зданиях различными способами: планировочного и конструктивного характера; благоустройством прилегающих территорий; расположением самого здания. Выполнить анализ отечественного и зарубежного опыта применения средств солнцезащиты зданий. Разработать объемно-планировочные и конструктивные решения выставочного комплекса. Оценить эффективность предлагаемого решения посредством проведения расчетного исследования. **Результаты:** Представлены результаты исследования комплекса мероприятий, направленных на улучшение условий комфортного пребывания людей в выставочных комплексах. Предложено конструктивное решение солнцезащиты выставочного комплекса с учетом физико-механических свойств мембранной системы и климатических условий в районах строительства. **Практическая значимость:** Продемонстрирована универсальность применения купольных конструкций в качестве ограждающих. Показано преимущество использования инновационных покрывающих материалов как альтернатива традиционным материалам.

Ключевые слова: Жаркий климат, выставочный комплекс, микроклимат, солнцезащита, купольные конструкции, мембранная система.

Как показывает мировая практика, проектирование и строительство зданий и сооружений приходится вести в регионах со сложными природно-климатическими условиями. Для этих районов характерны явно выраженная высокая влажность воздуха, высокие ветровые нагрузки, относительно низкие и высокие температуры воздуха и т. д. [1]. Все это оказывает существенное влияние как на функционально-пространствен-

ную организацию и архитектуру зданий различного назначения, так и на выбор строительных конструкций и материалов. К таким районам относятся районы с жарким климатом, климатические характеристики которых оказывают отрицательное воздействие на общее состояние человека и требуют специальных мер по обеспечению комфортных условий пребывания людей в помещениях зданий. Продолжающиеся в

последнее время глобальные изменения климата в сторону потепления также приводят к негативным последствиям различного характера и, как следствие, к созданию проблем во всех сферах деятельности человека [2, 3]. В этой связи правильный учет климатических условий площадки строительства при проектировании зданий позволяет не только сократить капитальные и эксплуатационные расходы, но и улучшить микроклимат помещений и открытых пространств.

Таким образом, одной из главных проблем проектирования зданий является создание комфортных условий пребывания людей, особенно в местах их наибольшего скопления в различных климатических условиях и, в частности, в районах жаркого климата.

На территории РФ, согласно действующим нормам СП 131.13330.2020 «Строительная климатология СНиП 23-01—99», к таким районам относят районы III и IV климатических зон, отличительными чертами которых являются:

- высокая солнечная радиационная нагрузка;
- температурные перепады в летний и зимний периоды;
- неблагоприятные влажностные условия;
- частота и интенсивность ветров и осадков.

Разнообразие физико-географических и климатических районов привело к выработке общих принципов проектирования зданий и сооружений и, в частности, в условиях жаркого климата, которые представлены в различных источниках [4–13]. Однако стоит отметить, что при проектировании зданий в данных условиях наряду с общепринятыми требованиями (функционального, технического и экономического характера) большое значение имеет правильность выбора защиты конструкций зданий от повышенной солнечной радиации. Поскольку воздействие солнечной радиации, с одной стороны, приводит к перегреву помещений и в результате вызывает значительные тепловые нагрузки на организм

человека и существенно понижает его работоспособность либо ослепляет отраженным светом находящихся в нем людей, а с другой — ускоряет процесс старения материалов за счет деструкции облицовочных материалов, красок и т. д. Таким образом, при проектировании зданий в неблагоприятных условиях при наличии большой солнечной радиации требуется наличие дополнительных средств защиты зданий от солнца [14–18].

На сегодняшний день применяются различные солнцезащитные устройства, которые разделяются по функциональным показателям: по месту установки, ориентации ламелей, способам управления, материалам изготовления и т. д. Наибольшее распространение получили наружные стационарные солнцезащитные устройства (СЗУ) в виде горизонтальных козырьков, также встречается сочетание горизонтальных козырьков с вертикальными ребрами-экранами, которые являются комбинированными СЗУ.

В последнее время для повышения эффективности при проектировании в мировой практике используют комплекс архитектурных и инженерных мероприятий, направленных на решение сразу нескольких задач. С одной стороны, это существенное снижение энергетических затрат, связанных с теплоснабжением зданий, а с другой — улучшение комфортного режима помещений. Ниже представлены некоторые варианты разнообразных концептуальных решений систем двойных фасадов (рис. 1–4) [19–21].

На протяжении последних десятилетий все чаще в практике строительства находят применение комбинированные строительные конструкции, выполняющие двойную функцию — ограждающих конструкций и солнцезащитного экрана. Так, одним из наиболее востребованных материалов, применяемых при устройстве ограждающих конструкций зданий и сооружений, являются светопрозрачные материалы.

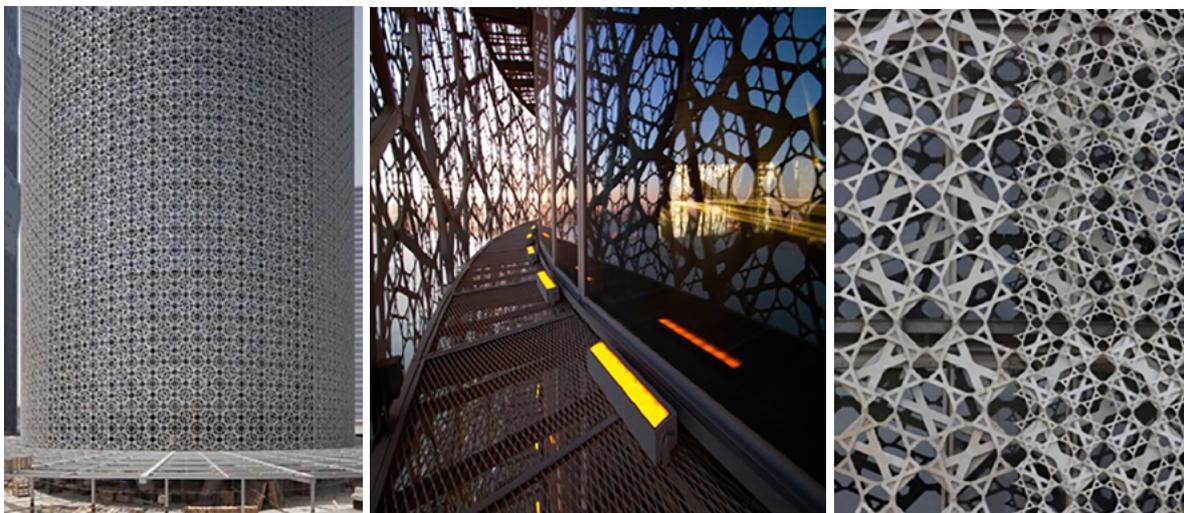


Рис. 1. Внешние экранные модули в фасаде башни Burj Doha [19]

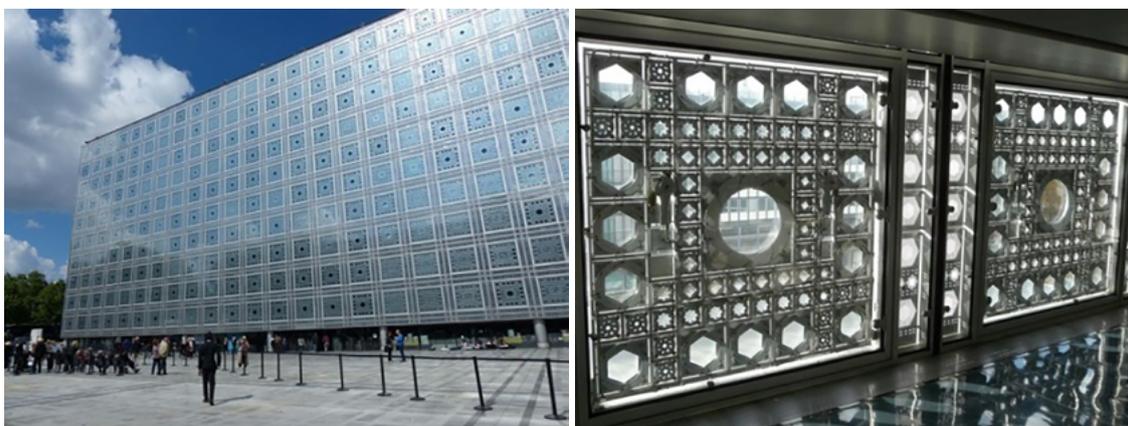


Рис. 2. Кинетический фасад южной стены Института арабского мира и вид фотоэлектрических экранов, напоминающих арабские узоры решетчатых ширм [19]

Использование мембранных многослойных подушек из пленки ETFE позволяет создавать сложные по форме сооружения, имеющие особую архитектурную выразительность и свободную планировку. Примерами таких сооружений могут служить национальный аквапарк «Водный куб» в Пекине, энергосберегающий надувной дом в Барселоне (рис. 5) и др. [22, 23].

Однако стоит отметить, что большинство конструкций, которые выполняют защитные функции, в большей степени находят свое применение в зарубежной практике проектирования и строительства и мало адаптированы к российской действительности.

В настоящее время в рамках реализации принятой концепции развития и обновления регионов Российской Федерации немаловажную роль играет выставочная деятельность [24]. Одним из основных условий проектирования выставочных комплексов, как показывает практика, является учет современных особенностей функционально-планировочной структуры данных комплексов, затрагивающих такие вопросы, как универсальность, компактность, мобильность, комплексность, доступность и др. Во многих субъектах Российской Федерации наблюдается увеличение строительства выставочных комплексов. Однако не все они современны и отвечают требованиям

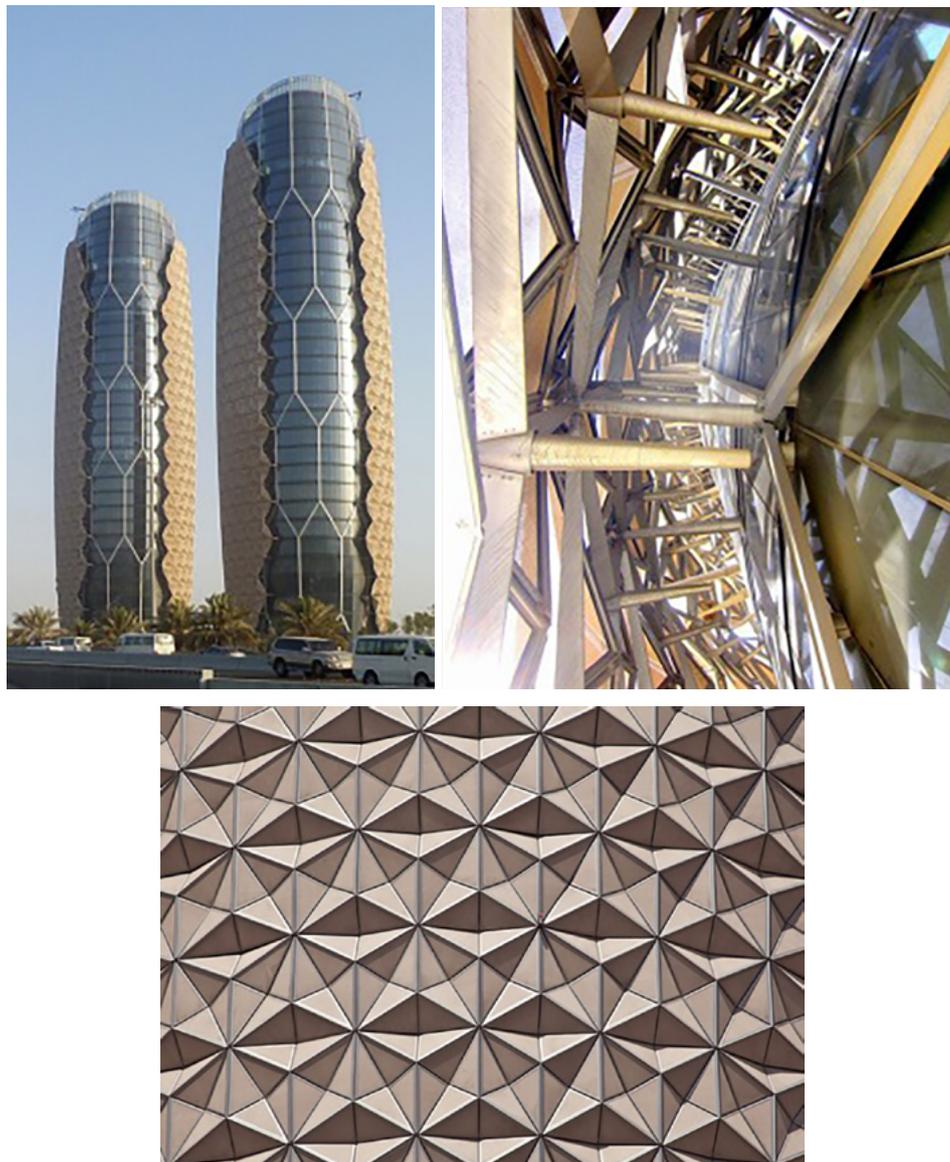


Рис. 3. Общий вид башен Al Bahar и вид устройства двойного фасада [20]

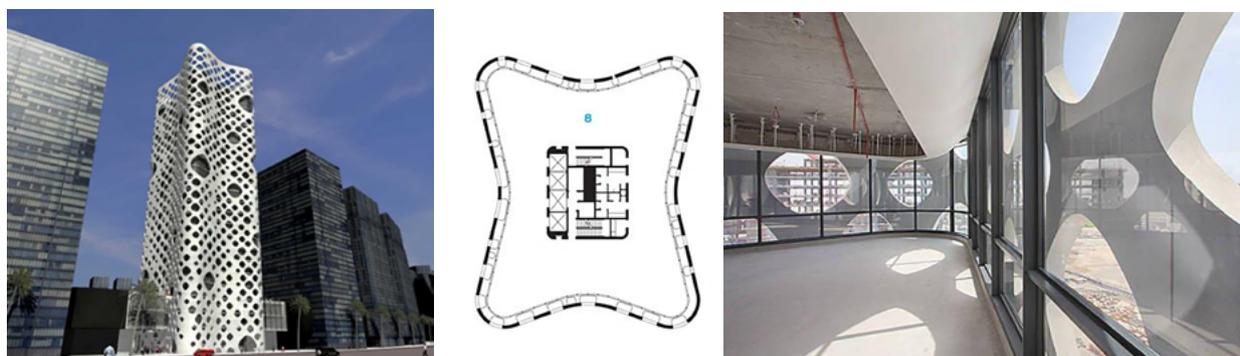


Рис. 4. Внешний вид перфорированного диагонального экзоскелета башни O-14. Типовой план башни в центре, показывающий пространство между наружным и внутренним остекленными фасадами. Справа — вид интерьера офиса, демонтирующий полное остекление внутреннего слоя двойного фасада [21]



Рис. 5. Пекинский национальный плавательный комплекс «Водный куб» (Китай) и энергосберегающий дом, Барселона (Испания) [22]

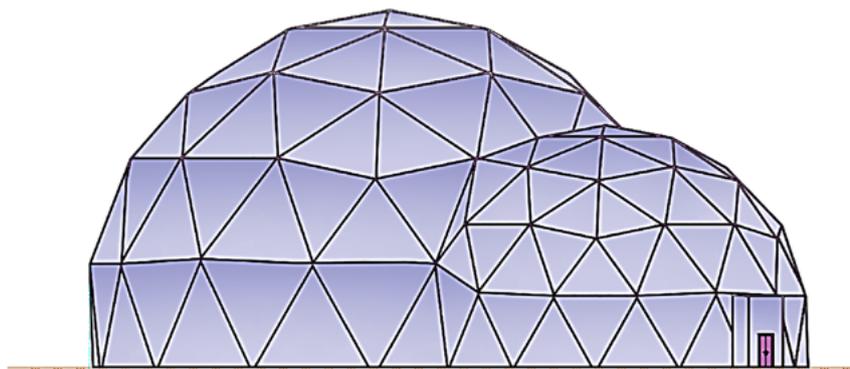


Рис. 6. Главный фасад выставочного комплекса

единой функциональности, планировочной и конструктивной целостности, архитектурной выразительности, а в некоторых и вовсе отсутствуют.

Таким образом, проектирование зданий различного назначения в районах распространения жаркого климата должно вестись с учетом архитектурно-планировочной организации и влияния климатических факторов на формирование благоприятных условий для длительного пребывания в них людей.

В данной статье приводятся некоторые результаты исследования общественного здания при строительстве в условиях сухого и жаркого климата с учетом существующей практики проектирования.

За объект исследования был принят выставочный комплекс, предназначенный для проведения выставочно-ярмарочных мероприятий. В качестве предполагаемого места строительства рассматривался г. Элиста, расположенный в центральной части Республики Калмыкии. Данный

район характеризуется контрастными перепадами летних и зимних температур наружного воздуха, а также засушливыми явлениями, что отрицательно сказывается на влажности воздуха из-за отсутствия достаточного количества водоемов.

При разработке объемно-планировочных решений учитывалось как функциональное наполнение и взаимосвязь помещений, так и архитектурное решение фасада (рис. 6, 7), представленного в виде светопрозрачной сетчатой купольной конструкции, выступающей как ограждающей, так и солнцезащитной конструкцией.

В строительной практике для создания панелей, в том числе и покрытия, с применением инновационного материала этилтетрафторэтилен (ETFE) получили распространение три основные конструктивные решения [25]: однослойные (растяжимые), двух- и трехслойные надувные подушки. Поэтому в данной работе в качестве заполнения прозрачной оболочки каркаса была принята мембранная система ETFE, состоящая из

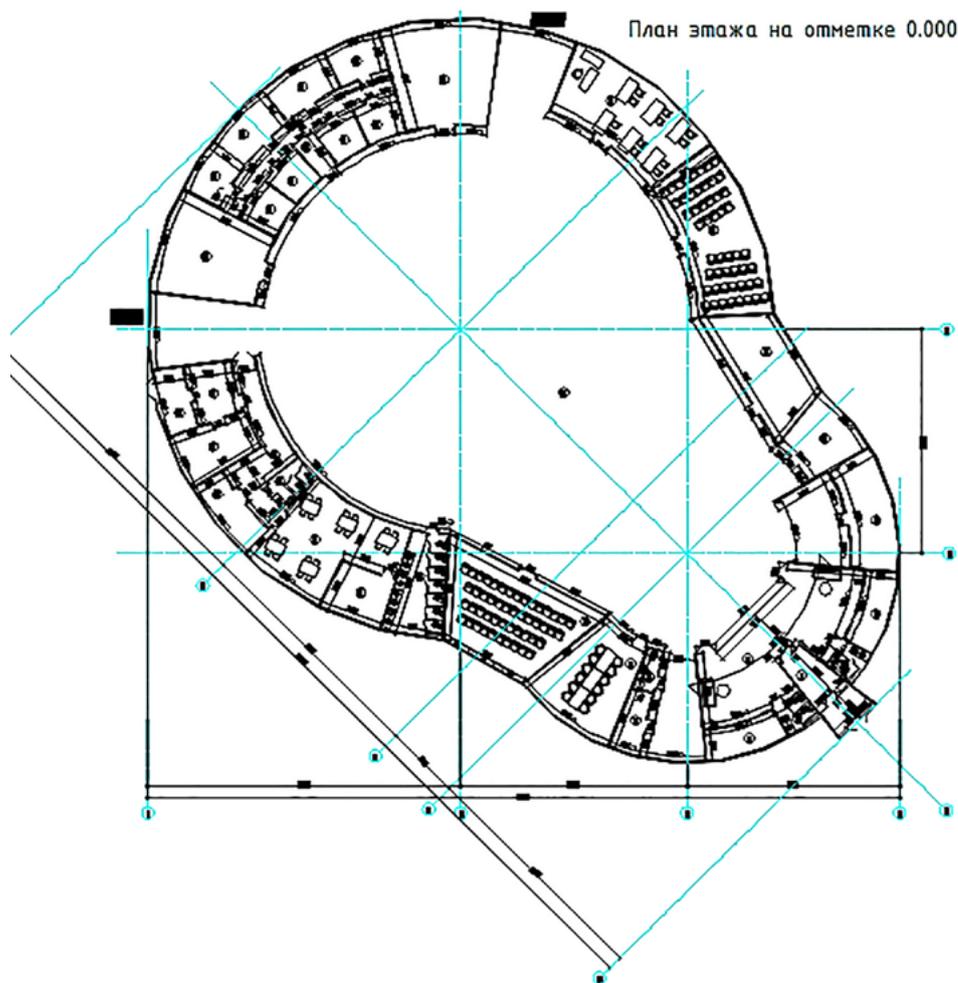


Рис. 7. План этажа рассматриваемого комплекса

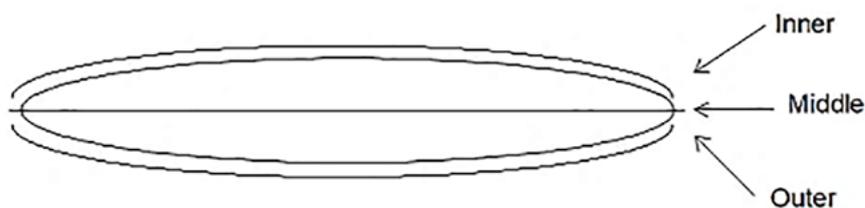


Рис. 8. Фрагмент строения инновационного мембранного материала этилтетрафторэтилен (ETFE), состоящего из внутреннего (Inner), внешнего (Outer) и среднего (Middle) слоев

трех слоев, фрагмент конструкции которой представлен на рис. 8.

Для реальной оценки эффективности применения предлагаемой конструкции выполнялся комплекс расчетных исследований, включающий в себя как теплотехнические, так и конструктивные расчеты.

С целью подбора конструкции, обеспечивающей защиту от прямых солнечных лучей на первом этапе с использованием известных методик, проводился расчет теплотехнических характеристик нескольких вариантов наружных ограждающих конструкций. Некоторые характеристики исследуемых материалов представлены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. Теплофизические характеристики материалов

Элементы конструкций	Толщина, м	Коэффициент теплопроводности, Вт/м °С	Коэффициент сопротивления теплопередачи, м ² ·°С/Вт
Однокамерный стеклопакет SunGuard High Performance Silver 35-16	0,024	1,15	0,67
Двухкамерный стеклопакет ЕКА SOFTLINE 70	0,042	1,06	0,62
Этилтетрафторэтилен (ETFE)	0,003	0,17	0,0176

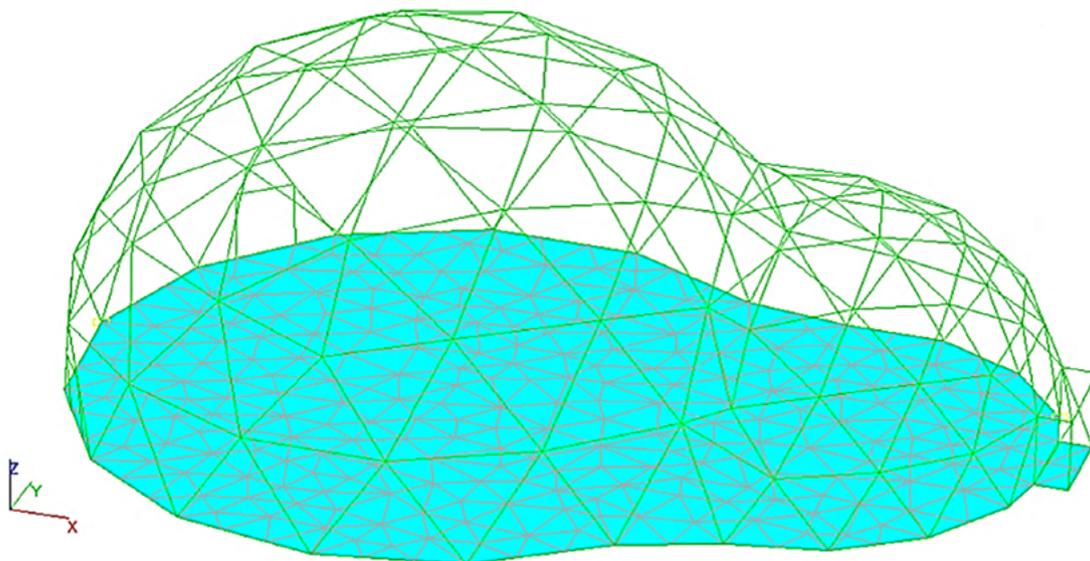


Рис. 9. Пространственная конечно-элементная модель

На втором этапе выполнялись прочностные расчеты выбранной купольной конструкции выставочного комплекса. Предложенная конструкция представляет собой легкую и прочную пространственно-сетчатую оболочку, состоящую из стрижней с ячейками в виде правильных треугольников — так называемый геодезический купол. Данная конструкция выполнена из двух смещенных друг с другом металлических куполов разного диаметра (большого — 40 м и малого — 28 м). Расчет выполнялся с использованием программного комплекса SCAD, прочностной анализ рассматриваемой конструкции осуществлялся на основе метода конечных элементов с использованием пространственной расчетной модели (рис. 9).

В ходе выполнения расчетного исследования были получены следующие результаты.

Для элементов каркаса куполов подобраны круглые металлические трубы диаметром 100 мм. Получены значения перемещений и усилий, находящихся в допустимых пределах. По результатам теплотехнических расчетов все рассмотренные конструкции отвечают теплотехническим требованиям. В окончательном варианте, учитывая физико-механические свойства материала и климатические условия района строительства, в качестве заполнения прозрачной оболочки каркаса была принята мембранная система ETFE, состоящая из трех слоев (наружного, среднего и внутреннего) и имеющая множество преимуществ: малый вес, длительный срок службы, ударопрочность, пожаробезопасность, экологичность, пластичность, ремонтпригодность, высокую сопротивляемость внешним нагрузкам и другие.

Архитектурно-конструктивное решение выставочного комплекса с предложенной конструкцией солнцезащиты при грамотном учете различных параметров (географических и климатических особенностей района строительства, ориентации фасада здания и др.) может применяться в практике строительства.

Обобщая все вышесказанное, можно сделать следующие выводы.

1. В современной практике проектирования и строительства разработано достаточно большое количество различных объемно-планировочных и конструктивных решений с учетом особенностей климатических параметров.

2. Повышение среднегодовых температур на планете, рост стоимости топливно-энергетических ресурсов, усиление политики энергосбережения — все это свидетельствует о необходимости внимательного и комплексного подхода к выбору применяемых материалов конструкции и конструктивных решений ограждающих конструкций в целом (стен и покрытий).

3. Существенное влияние на функционально-пространственную организацию и архитектурный облик зданий и сооружений различного назначения, а также на создание максимально комфортных условий жизнедеятельности человека оказывают климатические особенности региона строительства.

4. Использование методов солнцезащиты должно обеспечивать снижение негативного воздействия инсоляции при ее достаточно длительной продолжительности, что выражается в перегреве помещений, в появлении эффекта слепящей блескости, образующегося в результате отражения прямых солнечных лучей от гладких поверхностей, приводящих к зрительному утомлению.

5. В условиях жаркого климата при проектировании зданий и сооружений, в частности общественных комплексов, рекомендуется применять архитектурно-планировочные и конструктивные

решения, а также материалы, позволяющие создавать комфортную, безопасную, эстетическую, доступную и технологическую среду.

6. Выполненное исследование показало, что среди всего многообразия конструктивных решений одним из универсальных решений является использование в качестве ограждающих конструкций купольных конструкций, позволяющих проектировать и возводить уникальные с точки зрения архитектуры сооружения в различных природно-климатических условиях. Это подтверждается и внедрением в строительство концепции трансформирования, согласно которой возводимые объекты смогут менять свой архитектурный облик в зависимости от окружающей среды. Применение современных инновационных материалов покрытия, в частности пленки ETFE, имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными материалами: она вдвое дешевле и намного легче архитектурного стекла, трансмиссионные свойства данной системы позволяют исключить дополнительные источники света в интерьере и другие.

Проведенные исследования также позволяют говорить о целесообразности проведения дальнейших исследований для оценки возможности и эффективности применения мембранных систем в практике проектирования объектов различного назначения, возводимых в различных природно-климатических районах.

Библиографический список

1. Triana M. A. Building Design for Hot and Humid Climate in a Changing World / M. A. Triana, R. De Vecchi, R. Lamberts // Building in Hot and Humid Regions. — 2019. — Pp. 59–73. — DOI: 10.1007/978-981-13-7519-4_3.
2. МГЭИК. Глобальное потепление на 1,5 °С. Резюме для политиков (на русском) / Специальный доклад МГЭИК о последствиях глобального потепления на 1,5 °С выше доиндустриальных уровней и о соответствующих траекториях глобальных выбросов парниковых газов в контек-

сте усиления глобального реагирования на угрозу изменения климата, устойчивого развития и усилий по искоренению нищеты (СД15) / МГЭИК, 2019. — 32 с. URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_ru.pdf.

3. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2021 год. — М.: Росгидромет, 2022. — 104 с.

4. Аронин Дж. Э. Климат и архитектура / Дж. Э. Аронин; пер. с англ. В. Б. Соколова. — М.: Госстройиздат, 1959. — 251 с.

5. Филиппович И. Н. Обзор практики проектирования и строительства в условиях жарко-влажного климата / И. Н. Филиппович. — М.: Стройиздат, 1973. — 267 с.

6. Саини Б. С. Строительство и окружающая среда. Исследование проблем строительства в районах с сухим жарким климатом / Б. С. Саини; пер. с англ. М. П. Таут. — М.: Стройиздат, 1980. — 174 с.

7. Оболенский Н. В. Архитектура и солнце / Н. В. Оболенский. — М.: Стройиздат, 1988. — 207 с.

8. Омар Б. Н. Технология и организация строительства объектов в жарком климате / Б. Н. Омар, М. В. Молодцов // Вестник ЮУрГУ. Серия: Строительство и архитектура. — 2017. — Т. 17. — № 4. — С. 67–73. — DOI: 10.14529/build170410.

9. Максимова М. В. Конструктивные особенности проектирования зданий в условиях жаркого климата / М. В. Максимова, О. Г. Немцева // Вестник СибАДИ. — 2017. — № 4–5(56–57). — С. 126–134. — DOI: 10.26518/2071-7296-2017-4-5(56-57)-126-134.

10. Бродач М. М. Оптимальный учет энергетического воздействия наружного климата на здание / М. М. Бродач // АВОК. — 2013. — № 4.

11. Харкнесс Е. Л. Регулирование солнечной радиации в зданиях / Е. Л. Харкнесс, М. Мехта; пер. с англ. Г. М. Айрапетовой. — М.: Стройиздат, 1984. — 177 с.

12. Ерохина Е. Д. Влияние жаркого сухого климата на типологию жилища / Е. Д. Ерохина, Е. Г. Третьякова // Транспорт: проблемы, идеи, перспективы: сборник трудов LXXX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. — СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2020. — С. 172–176.

13. Ширкунова Е. А. Особенности традиционного жилища Монголии в условиях жаркого климата /

Е. А. Ширкунова, К. М. Грневич, Е. Г. Третьякова и др.; под ред. Т. Ю. Овсянниковой, И. Р. Салагор // Инвестиции, градостроительство, недвижимость как драйверы социально-экономического развития территории и повышения качества жизни населения: материалы XIII Международной научно-практической конференции, 28 февраля — 2 марта 2023 г.: в 2 ч. — Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2023. — 772 с. — Ч. 1. — С. 275–281.

14. Стецкий С. В. Эффективные солнцезащитные устройства в гражданском строительстве регионов с жарким солнечным климатом / С. В. Стецкий, В. А. Ходейр // Вестник МГСУ. — 2012. — № 7. — С. 9–15.

15. Спиридонов А. В. Солнцезащитные устройства: европейская и российская практика нормирования / А. В. Спиридонов, И. Л. Шубин, В. И. Римшин и др. // АВОК. — 2014. — № 5. — С. 64–68. — URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=5890 (дата обращения: 28.04.20321).

16. Белаш Т. А. Обеспечение комфортных условий эксплуатации транспортных объектов в условиях жаркого климата / Т. А. Белаш, Ж. В. Иванова, В. В. Найденова // Промышленное и гражданское строительство. — 2020. — № 2. — С. 23–28. — DOI: 10.33622/0869-7019.2020.02.23-28.

17. Богданова Г. А. Влияние жаркого климата на архитектурные и инженерные решения фасадов зданий / Г. А. Богданова, В. В. Найденова // Проблемы и достижения в области строительного инжиниринга: сб. материалов внутрифакультетской научной конференции, посвященные 210-летию Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I и 155-летию кафедры «Здания» (Санкт-Петербург, 17 апреля 2019 года) / Под общ. ред. проф., д. т. н. Т. А. Белаш, ст. преп. А. В. Кузнецова. — СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2019. — С. 142–146.

18. Belash T. A. Additional measures protecting buildings from climatic influences / T. A. Belash, T. V. Ivanova, D. A. Ivashintsov // Magazine of Civil Engineering. — 2022. — Iss. 116(8). — Article no. 11614. — DOI: 10.34910/MCE.116.14.

19. Barozzi M. The Sustainability of Adaptive Envelopes: Developments of Kinetic Architecture / M. Barozzi, J. Lienhard, A. Zanelli // Procedia Engineering. — 2016. —

Iss. 155. — Pp. 275–284. — DOI: 10.1016/j.proeng.2016.08.029.

20. Robert L. A Shade of Distinction / L. Robert. — URL: https://www.civilengineering-digital.com/civilengineering/december_2013/MobilePagedArticle.action?articleId=367902#articleId367902 (дата обращения: 28.04.2023).

21. Boake T. M. Hot climate double façades: Avoiding Solar Gain / T. M. Boake. — URL: <https://www.tboake.com/bio/facadetectonics2014boake-rev.pdf>.

22. Fortmeier R. Kinetic Architecture: Designs for Active Envelopes / R. Fortmeier, Ch. Lin. — URL: <https://www.archdai-ly.com/537359/kinetic-architecture-designs-for-active-envelopes> (дата обращения: 28.04.2023).

23. Tao Yu. Applied Research of ETFE Membrane Gas Pillow Structure in Modern Stadiums / Yu Tao, Zhu Yanhui // Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology. — Iss. 5(13). — Pp. 3654–3660. — DOI: 10.19026/rjaset.5.4504.

24. Концепция развития выставочно-ярморочной и конгрессной деятельности в Российской Федерации // Распоряжение Правительства Российской Федерации № 1273-р. — 2014.

25. Lamnatou Chr. Ethylene tetrafluoroethylene (ETFE) material: Critical issues and applications with emphasis on buildings / Chr. Lamnatou, A. Moreno, D. Chemisana et al. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. — 2018. — Vol. 82. — Pp. 2186–2201. — DOI: 10.1016/j.rser.2017.08.072.

Дата поступления: 10.05.2023

Решение о публикации: 31.05.2023

Контактная информация:

ИВАНОВА Жанна Васильевна — канд. техн. наук,
доц.; symava@mail.ru

БОГДАНОВА Галина Алексеевна — канд. техн. наук,
доц.; galina_zdanya@mail.ru

Creating Comfortable Conditions for the Operation of Exhibition Complexes in Hot Climates

Zh. V. Ivanova, G. A. Bogdanova

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

For citation: Ivanova Zh. V., Bogdanova G. A. Creating comfortable conditions for the operation of exhibition complexes in hot climates // *Proceedings of Petersburg Transport University*, 2023, vol. 20, iss. 2, pp. 336–347. (In Russian). DOI: 10.20295/1815-588X-2023-2-336-347

Summary

Purpose: To consider the possibility of using modern innovative coating materials, and in particular ETFE film, in the enclosure structures when designing public buildings in different natural and climatic conditions, with the example of regions with hot climates. **Method:** Generalization of design principles, including those for hot climates. Analysis of climatic parameters of hot climate regions which have a significant impact on comfortable conditions of people staying in public buildings, characterized by multifunctionality, large spatial dimensions, high occupancy rates, and other factors. To show the possibility of providing favorable conditions for people staying in such buildings in different ways: through planning and design; improvement of adjacent areas; the location of the building. To carry out the analysis of domestic and foreign experience of application of means of sun protection of buildings. To develop space-planning and structural solutions of the exhibition complex. To evaluate the effectiveness of the proposed solution through a computational study. **Results:** The results of the research of a range of measures aimed at improving the conditions for comfortable stay of people in the exhibition complexes are presented. The constructive solution of sun protection of the exhibition complex taking into account physical

and mechanical properties of the membrane system and climatic conditions of the construction areas has been proposed. **Practical significance:** The versatility of using dome structures as enclosures is demonstrated. The advantage of using innovative covering materials as an alternative to traditional materials is shown.

Keywords: Hot climate, exhibition complex, microclimate, sun protection, dome structures, membrane system.

References

1. Triana M. A., De Vecchi R., Lamberts R. Building Design for Hot and Humid Climate in a Changing World. Building in Hot and Humid Regions, 2019, pp. 59–73. DOI: 10.1007/978-981-13-7519-4_3.
2. MGEIK. *Globalnoye potepleniye na 1,5 °C. Rezyume dlya politikov (na russskom) / Spetsialniy doklad MGEIK o posledstviyakh globalnogo potepleniya na 1,5 °C vyshе doindustrialnykh urovney i o sootvetstvuyuschikh trayektoriyakh globalnykh vybrosov parnikovyykh gazov v kontekste usileniya globalnogo reagirovaniya na ugrozu izmeneniya klimata, ustoychivogo razvitiya i usiliy po iskoreneniyu nischety (SD15)* [IPCC. Global Warming at 1.5 °C. Summary for Policymakers (in Russian) / IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related trajectories of global greenhouse gas emissions in the context of strengthening the global response to climate change threat, sustainable development and poverty eradication efforts (SR15)]. IPCC, 2019, 32 p. Available at: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_ru.pdf. (In Russian)
3. *Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiyskoy Federatsii za 2021 god* [Report on the peculiarities of the climate on the territory of Russian Federation for 2021]. Moscow: Roshydromet Publ., 2022, 104 p. (In Russian)
4. Aronin J. E. *Klimat i arkhitektura* [Climate and architecture]; translated from English by V. B. Sokolov. Moscow: Gosstrojizdat Publ., 1959, 251 p. (In Russian).
5. Phillipovich I. N. *Obzor praktiki proyektirovaniya i stroitelstva v usloviyakh zharko-vlazhnogo klimata* [Review of design and construction practices in a hot-humid climate]. Moscow: Stroyizdat Publ., 1973, 267 p. (In Russian)
6. Saini B. S. *Stroitelstvo i okruzhayushchaya sreda. Issledovaniye problem stroitelstva v rayonakh s sukhim zharkim klimatom. Issledovanie problem stroitel'stva v rayonakh s sukhim zharkim klimatom* [Construction and the Environment. Study of the problems of construction in areas with dry hot climate]; translated from English by M. P. Taut. Moscow: Stroyizdat Publ., 1980, 174 p. (In Russian)
7. Obolensky N. V. *Arkhitektura i solntse* [Architecture and the Sun]. Moscow: Stroyizdat Publ., 1988, 207 p. (In Russian)
8. Omar B. N., Molodtsov M. V. *Tekhnologiya i organizatsiya stroitelstva obyektov v zharkom klimate* [Technology and organization of construction of objects in a hot climate]. *Vestnik YuUrGU. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura* [Bulletin of SUSU. Series: Construction and Architecture]. 2017, vol. 17, Iss. 4, pp. 67–73. DOI: 10.14529/build170410. (In Russian)
9. Maximova M. V., Nemtseva O. G. *Konstruktivnyye osobennosti proyektirovaniya zdaniy v usloviyakh zharkogo klimata* [Structural features of building design in a hot climate]. *Vestnik SibADI* [Bulletin of the SibADI]. 2017, Iss. 4–5(56–57), pp. 126–134. DOI: 10.26518/2071-7296-2017-4-5(56-57)-126-134. (In Russian)
10. Brodach M. M. *Optimalniy uchet energeticheskogo vozdeystviya naruzhnogo klimata na zdaniye* [Optimal consideration of the energy impact of the outdoor climate on the building]. *AVOK* [AVOK]. 2013, Iss. 4. (In Russian)
11. Harkness E. L., Mehta M. *Regulirovaniye solnechnoy radiatsii v zdaniyakh* [Regulation of solar radiation in buildings]; translated from English by G. M. Ayrapetova. Moscow: Stroyizdat Publ., 1984, 177 p. (In Russian)
12. Erohina E. D., Tretiakova E. G. *Vliyanie zharkogo sukhogo klimata na tipologiyu zhilishcha. Transport: problemy, idei, perspektivy: sbornik trudov LXXX Vserossiyskoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Influence of hot dry climate on housing typology. Transport: problems, ideas, prospects: Proceedings of LXXX All-Russian scientific and technical conference of students, graduate students and young scientists]. St. Petersburg: FGBOU VO PGUPS Publ., 2020, pp. 172–176. (In Russian)
13. Shirkunova E. A., Grenievich K. M., Tretiakova E. G. et al. *Osobennosti traditsionnogo zhilishcha Mongolii v usloviyakh zharkogo klimata. Investitsii, gradostroitel'stvo, nedvizhimost' kak drayvery sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya territorii i povysheniya kachestva zhizni naseleniya: materialy XIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy*

konferentsii, 28 fevralya — 2 marta 2023 g.: v 2 ch. [Features of traditional housing in Mongolia in a hot climate. Investments, Urban Planning, Real Estate as drivers for socio-economic development of the territory and improvement of quality of life: proceedings of the XIII-th International Scientific-Practical Conference, February 28 — March 2, 2023. In two parts; ed. by T. Yu. Ovsyannikova, I. R. Salagor]. Tomsk: Publishing House Vol. state architect.-builds. un-ta, 2023, 772 p., part 1, pp. 275–281. (In Russian)

14. Stetsky S. V., Khodeir V. A. *Effektivnyye solntsezashchitnyye ustroystva v grazhdanskom stroitelstve regionov s zharkim solnechnym klimatom* [Effective sun protection devices in civil engineering of regions with hot sunny climate]. *Vestnik MGSU [Bulletin of MSCU]*. 2012, Iss. 7, pp. 9–15. (In Russian)

15. Spiridonov A. V., Shubin I. L., Rimshin V. I. et al. *Solnezashchitnyye ustroystva: yevropeyskaya i rossiyskaya praktika normirovaniya* [Solar protection devices: European and Russian standardization practice]. *AVOK [AVOK]*. 2014, Iss. 5, pp. 64–68. Available at: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=5890 (accessed: April 28, 2023). (In Russian)

16. Belash T. A., Ivanova Zh. V., Najdenova V. V. *Obespechenie komfortnykh uslovij jekspluatatsii transportnykh ob'ektov v usloviyakh zharkogo klimata* [Ensuring comfortable operating conditions for transport facilities in hot climates]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and civil construction]. 2020, Iss. 2, pp. 23–28. DOI: 10.33622/0869-7019.2020.02.23-28. (In Russian)

17. Bogdanova G. A., Naidenova V. V. *Vliyaniye zharkogo klimata na arkhitekturnye i inzhenernye resheniya fasadov zdaniy. Problemy i dostizheniya v oblasti stroitel'nogo inzhiniringa: sb. materialov vnutrifakul'tetskoy nauchnoy konferentsii, posvyashchennye 210-letiyu Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya Imperatora Aleksandra I i 155-letiyu kafedry "Zdaniya" (Sankt-Peterburg, 17 aprelya 2019 goda); pod obshch. red. prof., d. t. n. T. A. Belash, st. prep. A. V. Kuznetsova* [Influence of hot climate on architectural and engineering solutions of building facades. Problems and achievements in the field of construction engineering: collection of articles: materials of the intra-faculty scientific conference dedicated to the 210th anniversary of the St. Petersburg State University of Communications Emperor Alexander I and the 155th anniversary of the department "Buildings" (St. Petersburg, April 17, 2019). Ed. ed. prof., d. t. s. T. A. Belash, Art. teacher A.

V. Kuznetsova]. St. Petersburg: FGBOU VO PGUPS Publ., 2019, pp. 142–146. (In Russian)

18. Belash T. A., Ivanova T. V., Ivashintsov D. A. Additional measures protecting buildings from climatic influences. *Magazine of Civil Engineering*. 2022, Iss. 116(8). Article no. 11614. DOI: 10.34910/MCE.116.14.

19. Barozzi M., Lienhard J., Zanelli A. The Sustainability of Adaptive Envelopes: Developments of Kinetic Architecture. *Procedia Engineering*, 2016, Iss. 155, pp. 275–284. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.08.029.

20. Robert L. A Shade of Distinction. Available at: https://www.civilengineering-digital.com/civilengineering/december_2013/MobilePagedArticle.action?articleId=367902#articleId367902 (accessed: April 28, 2023).

21. Boake T. M. Hot climate double façades: Avoiding Solar Gain. Available at: <https://www.tboake.com/bio/facade-detectonics2014boake-rev.pdf>.

22. Fortmeier R., Lin Ch. Kinetic Architecture: Designs for Active Envelopes. Available at: <https://www.archdai-ly.com/537359/kinetic-architecture-designs-for-active-envelopes> (accessed: April 28, 2023).

23. Tao Yu., Yanhui Zhu Applied Research of ETFE Membrane Gas Pillow Structure in Modern Stadiums. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, Iss. 5(13), pp. 3654–3660. DOI: 10.19026/rjaset.5.4504.

24. *Kontseptsiya razvitiya vystavochno-yarmorochnoy i kongressnoy deyatel'nosti v Rossiyskoy Federatsii* [The concept of the development of exhibition and exhibition and congress activities in the Russian Federation]. Government Decree of the Russian Federation № 1273-r, 2014. (In Russian)

25. Lamnatou Chr., Moreno A., Chemisana D. et al. Ethylene tetrafluoroethylene (ETFE) material: Critical issues and applications with emphasis on buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, vol. 82, pp. 2186–2201. DOI: 10.1016/j.rser.2017.08.072.

Received: May 10, 2023

Accepted: May 31, 2023

Author's information:

Zhanna V. IVANOVA — PhD in Engineering, Associate Professor; syrmava@mail.ru

Galina A. BOGDANOVA — PhD in Engineering, Associate Professor; galina_zdanya@mail.ru