

## КОНСТРУКТИВНЫЕ И АРХИТЕКТУРНЫЕ РЕШЕНИЯ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ОБЪЕКТОВ НАЗЕМНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

*А. С. Кудасова, А. Д. Тютинина, М. А. Колотиенко*

*Донской государственной технической университет, г. Ростов-на-Дону, Россия*

Работа содержит анализ введенных в эксплуатацию на территории Российской Федерации и за рубежом объектов наземной инфраструктуры гражданской авиации, отвечающих наиболее актуальной на сегодняшний день тенденции аэропортостроения – применению светопрозрачных конструкций покрытий. Терминалы систематизированы по типу материала заполнения (стеклянный или полимерный), в ходе чего выявлены наиболее значимые решения, применяемые с целью: повышения экономической и экологической эффективности объекта; достижения оптимальных показателей его прочностных, эстетических и изоляционных характеристик; определения монтажной оптимальности. Особое внимание уделено одному из подвидов пленочных светопрозрачных материалов – этилен-тетрафторэтилену, представлена характеристика его свойств, определяющих перспективы применения в исследуемой области строительства. С целью повышения степени практической применимости работы выявлены аспекты рационального применения различных материалов заполнения для покрытий аэровокзалов.

**Ключевые слова:** покрытие, аэропортостроение, аэровокзал, терминал аэропорта, мембранное покрытие, светопрозрачные конструкции, триплекс, большепролетные здания, ЭТФЭ, стеклянное заполнение, полимерное заполнение, этилен-тетрафторэтилен.

## CONSTRUCTIVE AND ARCHITECTURAL ASPECTS OF SOLUTIONS FOR TRANSLUCENT ROOF OF AIRPORTS

*A. S. Kudasova, A. D. Tyutina, M. A. Kolotienko*

*Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia*

The article contains an analysis of airports that are built on the territory of the Russian Federation and on the territory of foreign states. The described objects correspond to the most relevant trends in airport construction today – the construction of translucent roof structures. The terminals are systematized according to the type of glazing material (glass or polymer). The paper describes innovative technologies that are used to: increase the economic and environmental efficiency of the building; improving the optimal performance of its strength, aesthetic and insulating characteristics; determining its installation efficiency. Particular attention is paid to one of the subspecies of translucent film materials – ethylene-tetrafluoroethylene. The characteristics of the material properties are given and the prospects for its use in the described area of construction are determined. In order to increase the degree of practical applicability of the work, aspects of the rational use of various glazing materials for terminal roof have been identified.

**Key words:** roof, airport construction, airport, terminal, membrane roofing, translucent structures, triplex, large-span buildings, ET-TE, structural glazing, polymeric glazing materials, ethylene tetrafluoroethylene.

Аэропорты сегодня являются не только «ре-трансляторами», но и объектами многоцелевого назначения, объединяющими на своей площади как функциональные зоны трансфера и временного размещения, так и локаций объектов ресторанного, досугового характера, площадки реализации продукции. Как определено ранее [1], под влиянием тенденции к отражению в объектах наземной инфраструктуры гражданской авиации культурных и экономических аспектов государственного развития страны, аэропортостроение становится одной из немногих областей, где архитектурная выразительность является первостепенным фактором формообразования и определения конструктива объекта, уступая только критериям надежности, устойчивости, безопасности и комфорта [2]. Темпы роста внутренней и внешней кооперации в совокупности с развитием турбизнеса определяют потребность как в реконструкции введенных в эксплуатацию аэропортов, так и в возведении новых терминалов. В процессе модернизации производится расширение функциональных площадей в соответствии с запросом пассажиропотока, разрешаются вопросы морального и физического износа объектов.

Вышеперечисленные факторы определяют увеличение объема инвестиционных потоков, что позволяет применять передовые разработки строительной отрасли, использовать в составе проекта дорогостоящие материалы. Наиболее устойчивая тенденция аэропортостроения сегодня это- применение прозрачных и полупрозрачных элементов покрытия [3, 4]. Данное решение определяется такими аспектами как: снижение ощущения тяжести конструкций кровли на уровне визуального восприятия; объединение многоцелевого пространства; повышение эксплуатационной эффективности покрытия [5].

Прогнозируемая востребованность работы определяется повышением интереса к исследованию объектов наземной инфраструктуры гражданской авиации, что вызвано процессами глобализации, в ответ на экономические запросы которых стремительно развивается мировая инфраструктура [6, 7]. В Российской Федерации действует государственная программа субсидирования и развития аэропортов различного статуса [1], однако может быть интересен и анализ зарубежного опыта аэропортостроения.

Далее, на примере аналитического описания введенных в эксплуатацию объектов, рассмотрим светопрозрачные покрытия с заполнением из стеклянных и полимерных материалов, с це-

лю последующего выявления основных аспектов рационального применения материалов.

С целью обоснования систематизации, представлена классификация светопрозрачных покрытий аэропортов (рис.).



Рис. Классификация светопрозрачных покрытий аэровокзалов

### Светопрозрачные покрытия аэропортов с заполнением из стеклянных материалов.

Новейшие разработки в области конструктивных решений светопрозрачных покрытий со стеклянным заполнением возможно рассмотреть на примере терминала номер 3, аэропорта Чанги в Сингапуре (ТЗ далее). Система дневного освещения, состоит из следующих основных компонентов: подвижных перфорированных солнцезащитных жалюзи; светоаэрационных фонарей с двойным остеклением; параболических отражателей для контроля бликов и передачи дневного света и различных датчиков ветра и света.

Подвижные солнцезащитные жалюзи расположены на площади 300 м на 200 м и включают 919 элементов, которые способны регулировать объем и направление потока естественного света, проникающего в здание, в зависимости от положения солнца и его яркости, что позволяет уменьшить использование искусственного освещения в течение дня и, следовательно, снижает потребление энергии.

Материал светоаэрационных фонарей определен из требований безопасности [8]. Применено стекло с низким содержанием железа, которое является прозрачным, обеспечивает высокое светопропускание и имеет минимальный зеленый оттенок. Поскольку стеклопакет содержит промежуточный слой ПВБ (поливинилбутирал), способен пропускать примерно 70 % солнечного света [9]. Данный материал при разрушении обеспечивает растрескивание, препятствуя обрушению осколочных элементов.

Алюминиевые параболические отражатели используются для перенаправления дневного света и обеспечения освещенности на уровне около 450 люкс, что позволяет предотвратить визуальный дискомфорт. В систему дневного освещения также включен блок безопасности. Датчики ветра используются для отслеживания его скорости, а компьютеризированная система управления автоматически закрывает

солнцезащитные жалюзи при сильном ветре, чтобы предотвратить повреждение стекол.

Функционально, применение столь сложной конфигурации покрытия оправдано в связи с тем, что затраты на освещение составляют порядка 23,1 % от общего потребления электроэнергии в коммерческих зданиях, согласно исследованию Министерства энергетики США. При этом следует учитывать, что применение стеклянного заполнения повышает стоимость обслуживания здания из-за необходимости в очистке материала, а также требует учет фактора теплопотерь [10].

Примечателен и отечественный опыт возведения объектов наземной инфраструктуры гражданской авиации со светопрозрачными покрытиями. В составе кровли терминала «А» аэропорта Внуково (Москва) расположен светоаэрационный проем, на устройство которого было затрачено порядка 3500 м<sup>2</sup> материала заполнения. Структура сформирована из поэлементно монтируемых треугольных ячеек. Заполнение выполнено энергоэффективными стеклопакетами, подавляющими шум до 46 дБ.

Фактор, определяющий конфигурацию покрытий вышеописанных объектов, – формообразующие возможности стеклянных материалов, а также их значительный вес. В связи с чем, при устройстве светопрозрачных покрытий большепролетных объектов, все чаще применяются полимерные материалы, обладающие большим спектром пространственных возможностей.

### Светопрозрачные покрытия аэропортов с заполнением из полимерных материалов.

Новейшей разработкой в данной области является ЭТФЭ (этилен-тетрафторэтилен, ЭТФЭ далее) – модифицированный сополимер, полученный из этилена и тетрафторэтилена [11]. Такие свойства, как высокая коррозионная стойкость, самоочищение и возможность повторного использования определили спрос со стороны строительной отрасли. В строительстве ЭТФЭ преимущественно используется либо в качестве однослойной мембраны, поддерживаемой системой растяжек, либо в виде модулей многослойных пневматических подушек, состоящих, как правило, из двух-пяти слоев.

Рассматриваемый материал, помимо прочего, обладает следующими свойствами:

**Термоизоляция.** Многослойные пленочные покрытия ЭТФЭ обеспечивают повышенные тепловые характеристики по сравнению с альтернативными прозрачными материалами [12]. Сжатый воздух, который служит для стабилизации подушек, регулируется в зависимости от климатических условий. Аналогично, комбинирование слоев ЭТФЭ, их натяжения, рисунка поверхности материала позволяют в значи-

тельной степени изменить светопропускные характеристики материала, что обеспечивает различные уровни светопропускной способности и отражения, в зависимости от угла падения солнечных лучей (сезонные изменения). Дальнейшая настройка возможна путем добавления устройств контроля давления, которые повышают и понижают давление между вторым и третьим слоями пирога конструкций, обеспечивая их открытие или смыкание.

**Экологичность и экономическая эффективность.** Начиная с этапа производства и заканчивая монтажом, ЭТФЭ оказывает меньшее воздействие на окружающую среду, обеспечивает экономию затрат на проект и минимизацию энергопотребления на всех этапах жизненного цикла. Кроме того, малый вес материала [13] требует гораздо меньшей конструктивной поддержки покрытия, чем другие светопрозрачные строительные материалы. Пленочный пакет превосходит любые другие системы прозрачных материалов с точки зрения изоляции, прозрачности и пригодности для вторичной переработки. Использование ЭТФЭ в строительстве может снизить стоимость строительства на 10 % для небольших проектов и до 60 % для крупных. Навесные кровли ETFE обычно весят 450 г на квадратный метр, что делает их самой легкой из доступных прозрачных кровельных систем. По сравнению с аналогами, использование подушек ЭТФЭ снижает вес кровельной системы в 100-250 раз.

**Пожарная безопасность.** ЭТФЭ содержит фтор в своей химической структуре и низкий индекс кислорода. Это означает, что, по сути, ЭТФЭ является самозатухающим материалом. Температура плавления пленок составляет около 260 °С.

**Обслуживание и чистка.** Благодаря таким же свойствам неадгезионной поверхности, что и фторуглеродный полимер, ЭТФЭ является «самоочищающимся» материалом, разновидностью тефлона. Коэффициент трения (обычно 0,23) предотвращает прилипание грязи, пыли и мусора к материалу ЭТФЭ и способствует их вымыванию во время дождей. Техническое обслуживание систем требуется примерно раз в каждые 3 года.

**Долговечность.** ЭТФЭ устойчив к разрушению как от ультрафиолета, так и от атмосферного загрязнения. Он демонстрирует менее чем 10-процентное снижение прочности материала после 10000 часов концентрированного искусственного выветривания. Важно отметить, что эта долговечность присуща самому материалу ЭТФЭ, а не является результатом нанесения

покрытий, которые сами могли быть подвержены разрушению.

Примечательным примером использования рассматриваемого материала является Международный аэропорт Хартсфилд-Джексон (США). Использование высокоэффективной пленки ЭТФЭ вместо стекла дало проекту сразу несколько преимуществ. Имея меньший вес и системно продуманную конструкцию, навесы построены без каких-либо дополнительных опорных конструкций. Это позволило значительно сэкономить время и ресурсы на этапе возведения объекта, а также сделало возможным равномерное распределение пассажиропотоков по периметру.

Успешная реализация проекта покрытия международного терминала аэропорта «Симферополь» так же обусловлена разработками в области полимерных светопрозрачных материалов. Поверхность кровли включает фальш-ребра, составляющие цельные криволинейные формы в совокупности с фасадами. По периметру установлены опорные колонны круглого сечения, в оголовках которых расположены узлы сопряжения со стропильными и подстропильными фермами, пролеты которых составляют более 60 м. Общая площадь кровли- 30 000 м<sup>2</sup>, в состав входят четырнадцать зенитных фонарей и два панорамных участка. Общая площадь светопрозрачного заполнения составляет более 3300 м<sup>2</sup>, что значительно повышает энергоэффективность аэровокзала. Сложности сборки и монтажа конструкций покрытия обусловлены тем, что более 9000 элементов заполнения потребовалось установить в проектное положение на переменной высоте (от 25 м до 35 м). В состав кровли, помимо несущего и изоляционных слоев, входит ПВХ-мембрана (поливинилхлорид, ПВХ далее) отечественного производства. Колористические возможности материала обеспечили единое цветовое решение фасада и покрытия, что определило визуальную завершенность здания. Возведенный терминал способен обеспечить пассажирооборот порядка 6 миллионов человек.

Анализ рассмотренных объектов позволяет заключить, что в процессе конструирования светопрозрачных покрытий необходимо учитывать ряд совокупных факторов, таких как: безопасность объекта, шумоизоляционные характеристики, требования к надежности и долговечности конструкций, их архитектурную выразительность [14]. В качестве прикладной части применения нашей работы, составлена таблица (табл.), позволяющая оценить рациональность применения различных материалов заполнения при устройстве покрытий аэровокзалов на этапе эскизного проектирования.

Таблица

**Оценка эффективности возможного применения покрытий различных конфигураций**

Критерий \ Материал	Стекланные материалы заполнения	Полимерные материалы заполнения
Возможности формообразования	Достаточно обширны, за счет применения ячеистых элементов.	Значительны. Ограничены соображениями эффективной работы конструкций и возможностями расчетных комплексов.
Долговечность, надежность	Оптимально значение до 50 лет	
	Характерна восприимчивость к поверхностным ударным деформациям. Отмечается эффективность применения триплекса <sup>1</sup> . Материал выдерживает многократные удары и механическое воздействие разной силы, разрушение происходит без риска распространения осколков.	Исключение составляет ЭТФЭ – относительно новый материал, фактическая долговечность которого определяется отсутствием признаков деградации в конструкциях, эксплуатируемых на протяжении 30 лет. Место повреждения мембраны локализуется путем склеивания, сварки или пайки
Светопропускная способность	Зависит от количества камер пакета, может варьироваться в пределах 62–89 %. Для триплекса составляет не более 75 %	Повышена у ЭТФЭ <sup>2</sup> до 94–97 %. В видимом спектре свет всех длин волн передается равномерно, в отличие от других материалов
Технологические аспекты	Повышенные требования к обеспечению сохранности материала в процессе транспортировки и монтажа. При поэлементном монтаже затрудненное размещение составных частей. Возможно решение применением QR кодирования ячеек, основанное на зарубежном опыте	Относительная сборочная, транспортировочная и монтажная простота
Шумоизоляция	Зависит от ширины воздушного зазора в стеклопакетах. Для триплекса определяется толщиной (7 мм – 33 дБ, 4 мм – 28 дБ). Оптимально <sup>1</sup> применение многослойного стекла, содержащего слой шумозащитной пленки (AGC Flat Glass)	Низкая [15]. Воздушная звукоизоляционная способность пленок составляет 8 дБ. Предварительно напряженная пленка ЭТФЭ обеспечивает 100-процентную акустическую прозрачность низкочастотных звуков
Введенные в эксплуатацию объекты	«Пулково» «Внуково» «Jewel Changi»	«Симферополь» «Шереметьево» «Suvarnabhumi»
<sup>1</sup> – по показателю. <sup>2</sup> – относительно ПВХ и ПТФЭ (политетрафторэтилен).		

**Список литературы**

1. А. А. Карамышева, М. А. Колотиенко, А. Д. Тютина. Рационализация решений покрытий большепролетных объектов наземной инфраструктуры гражданской авиации. Часть 1. Аэровокзалы // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2019. № 4 (30). С. 46–49.
2. Architekturbüro J.S.K. Airports. Michigan: Wasmuth, 2001. С. 13
3. Edwards B. The Modern Airport Terminal: New Approaches to Airport Architecture. London: Taylor & Francis, 2004. С. 8-9, 11-12, 256.
4. Rice P., Dutton H. Structural Glass. London: Taylor & Francis, 1995. С. 25.
5. OECD Main Economic Indicators Comparative Methodological Analysis: Industry, Retail and Construction Indicators Volume 2002 Supplement 1: Comparative Methodological Analysis: Industry, Retail and Construction Indicators Volume 2002 Supplement 1. Paris: OECD Publishing, 2002. С. 67.
6. Kurokawa K. Metabolism in Architecture. London: Studio Vista, 1977. С. 7-30.
7. Иванов В.Н. Об аэропортах России // Пространство и время. 2003. №3. С. 118-122.
8. Donaldson B. Exterior Wall Systems: Glass and Concrete Technology, Design, and Construction. West Conshohocken: ASTM International, 1991. С. 83-84.
9. Bennison S., Smith C., Duser A. Structural Performance of Laminated Glass Made with a “Stiff” Interlayer // The Use of Glass in Buildings, ed. V. Block. West Conshohocken: ASTM International, 2002. No 1434. С. 57-65.
10. Schunck E., Oster H.J., Barthel R. Roof Construction Manual: Pitched roofs. Berlin: Walter de Gruyter, 2013. С. 104-105.
11. Ellis B., Smith R. Polymers: A Property Database, Second Edition. Florida: CRC Press, 2008. С. 154.
12. Brooker G., Stone S. Basics Interior Architecture 02: Context & Environment. West Sussex: AVA Publishing, 2008. С. 76-78.
13. Ameduri B., Boutevin B. Well-Architected Fluoropolymers: Synthesis, Properties and Applications. Amsterdam: Elsevier, 2004. С. 30-31.
14. Kazda A., Caves R. Airport Design and Operation. West Yorkshire: Emerald Group Publishing, 2015. С. 37-42.
15. Schunck E., Oster H., Barthel R. Roof Construction Manual: Pitched Roofs. Berlin: Walter de Gruyter, 2013. С. 222.

© А. С. Кудасова, А. Д. Тютина, М. А. Колотиенко

**Ссылка для цитирования:**

А. С. Кудасова, А. Д. Тютина, М. А. Колотиенко. Конструктивные и архитектурные решения светопрозрачных покрытий объектов наземной инфраструктуры гражданской авиации // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2020. № 2 (32). С. 54–57.