

УДК 624.91.024.26

**РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ РЕШЕНИЙ ПОКРЫТИЙ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ ОБЪЕКТОВ
НАЗЕМНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ. ЧАСТЬ 1. АЭРОВОКЗАЛЫ***А. А. Карамышева, М. А. Колотиенко, А. Д. Тютин**Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия*

В работе представлен актуализированный анализ объектов наземной инфраструктуры гражданской авиации с различными конфигурациями покрытий, данный в разрезе прогрессивных решений, применяемых для обеспечения современных тенденций аэропортостроения, определяющих повышенные требования к светопрозрачности, модульности, надежности и возможности перекрытия значительных пролетов. Типизация объектов снабжена иллюстративными образцами введенных в эксплуатацию объектов, исследование которых позволило определить наиболее востребованные направления в самолетостроении. На основе проведенной систематизации выделены направления рационального применения различных мембранных, арочных, вантовых, складчатых и структурных покрытий, определены возможные методы снижения сопутствующих рисков, систематизация которых в перспективе может быть применима на этапе эскизного проектирования объектов. Актуальность исследования базируется на потребности в систематизации и актуализации информации о покрытиях объектов гражданской авиации, интерес к которым возрос в рамках государственной программы субсидирования и развития аэропортов различного статуса, проводимой в Российской Федерации.

Ключевые слова: покрытие, аэропортостроение, аэровокзал, терминал аэропорта, арочное покрытие, складки, мембранное покрытие, оболочки, пространственные стержневые структуры, светопрозрачные конструкции, строительство в регионах Дальнего Востока и Сибири, условия работы конструкций, большепролетные здания.

**RATIONALIZATION OF COATING SOLUTIONS FOR LARGE-SPAN CIVIL AVIATION
GROUND INFRASTRUCTURE. PART 1. AIRPORTS***A. A. Karamysheva, M. A. Kolotienko, A. D. Tyutina**Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia*

The paper presents an updated analysis of ground-based civil aviation infrastructure objects with various coating configurations, given in the context of progressive solutions used to ensure modern trends in airport construction, which determine increased requirements for translucency, modularity, reliability and the ability to cover significant spans. Typification of objects is provided with illustrative examples of commissioned objects, the study of which allowed us to determine the most popular areas in aircraft construction. Based on the systematization, the directions of the rational use of various membrane, arch, cable-stayed, folded, and structural coatings are identified, possible methods for reducing the associated risks are identified, the systematization of which in the future can be applicable at the stage of outline design of objects. The relevance of the study is based on the need to systematize and update information on the coverage of civil aviation facilities, the interest in which has increased as part of the state program for subsidizing and developing airports of various status, carried out in the Russian Federation.

Keywords: coating, airport construction, airport terminal, arched coating, folds, membrane coating, shells, spatial core structures, translucent structures, construction in the regions of the Far East and Siberia, working conditions of structures, large-span buildings.

Сегодня пропорционально увеличению потоков пассажирооборота, которые могут достигать 45 млн. человек (аэропорт Шереметьево, Россия), растет и перечень предъявляемых требований к объектам наземной инфраструктуры гражданской авиации. Определяется оптимальное соотношение материалов и конструкций, которые должны отвечать требованиям повышенной безопасности, надежности, устойчивости к шумовым и иным видам нагрузок; выявляются наиболее рациональные принципы монтажа и сборки конструкций, возможности их транспортировки; определяются требования к организации внутреннего пространства объекта, с учетом многоцелевого назначения как терминалов, совмещающих функции временного размещения с услугами ТЦ, камер хранения, зон досмотра и пр., так и ангаров, которые должны отвечать потребностям проведения ремонтных работ [1, 2]. И если в разрезе строительства большепролетных объектов типового назначения рациональность применения того или иного типа покрытия часто определяется результатами сравнительного анализа технико-экономических показателей (ТЭП далее) [3, 4], то говоря об аэропортостроении, необходимо отметить общую тенденцию к выходу на первый план архитектурно-выразительного и объёмно-планировочного аспектов [5].

Нами проведен анализ введенных в эксплуатацию объектов, позволяющий систематизировать основные архитектурные, технологические и конструктивные особенности применения различных видов покрытий при строительстве большепролетных терминалов и ангаров, в составе аэропортов. Тип покрытия изначально принят большепролетным по причине требований к отсутствию внутренних опор, для обеспечения маневренности судов в местах их дислокации, а также для размещения и беспрепятственного движения пассажиропотока и значительных объемов багажа, внутри основного здания. В данной части работы упор сделан на объекты общественного назначения в аэропортостроении. Выделены базисные типы покрытий, представленные в таблице (табл. 1).

Актуальность работы обусловлена тем, что на данный момент в Российской Федерации, в рамках государственной программы субсидирования и развития аэропортов различного статуса, модернизированы и реконструированы более 70% от более чем 75 объектов международного значения. К примеру, в 2012-2013 году были проведены мероприятия по укрупнению аэропортов Белгорода, Москвы и Санкт-Петербурга. Всего, по состоянию на первый квартал 2019 года, задекларированы порядка 240 гражданских аэродро-

мов. Примечательным и перспективным является вопрос аэропортостроения в разрезе возведения объектов на Севере и Дальнем Востоке страны [8]. На данный момент успешно функционирует новый терминал аэропорта г. Владивостока, покрытие которого выполнено из стержневой структуры и профилированного листа, с включением световых фонарей; аэровокзал Толмачево (Новосибирск); небольшой аэропорт Сабетта (полуостров Ямал). Примечателен терминал Талакан (Якутия), где проблема светопрозрачности покрытия решена устройством продольных осветительных элементов. В целом, к особенностям возведения аэровокзалов на данных территориях относятся повышенные требования к материалам конструкций; затруднения в устройстве покрытий с возможностями инсолирования, успешно разрешаемые путем искусственного освещения и возможностями светопрозрачных вертикальных конструкций. Интересен проект нового аэровокзального комплекса в г. Петропавловск-Камчатский, окончание работ по возведению которого запланировано на 2021 год. Эксплуатация объекта предусмотрена в условиях повышенной сейсмической активности, чем продиктован формообразующий анализ покрытия, результатом которого стала сплошная выпуклая оболочка в форме усеченной арки.

Не только расширение ранее эксплуатируемых терминалов способствует развитию отрасли. В 2017 году был возведен аэропорт им. Платова (г. Ростов-на-Дону), сдача которого была приурочена к Чемпионату мира (ЧМ далее) по футболу. Проведение спортивных событий, в целом, является одним из немаловажных стимулирующих к развитию факторов [9]: аэровокзальный комплекс им. Габдуллы Тукая (г. Казань) прошел поэтапное расширение к Универсиаде 2013 года и к ЧМ-2018 года; в составе аэропорта им. В. И. Севастьянова (г. Сочи) в 2009 году было введено в эксплуатацию новое здание, с покрытием, включающем элементы мембран и пространственно-стержневую систему, переходящую в капитальную узлы на уровне отметки чистого пола.

Не смотря на вариативность конструкций, в современном строительстве терминалов наблюдается ряд схожих тенденций, определяющих их конструктивные, технологические и архитектурно-планировочные решения. Покрытия характеризует:

1. Светопрозрачность, позволяющая при рациональном проектировании частично снизить энергозатраты на обеспечение объекта [10]. Перспективны в данном контексте мембранные и вантовые покрытия;

2. Модульность, обеспечивающая перспективы расширения аэропорта. Эффективна работа складок и структур;

3. Рост потребности в перекрытие значительных пролетов [10]. Вопрос интересен к рассмотрению с учетом возможности оболочек;

4. Значимость формообразующего анализа для выбора наиболее оптимальной конфигурации покрытия, в условиях строительства объекта [11], а именно:

4.1. Проектирование консольных свесов. Вынос покрытия за осевой периметр несущих конструкций объекта на опорах;

4.2. Устройство оболочек различных форм: выпуклых, вогнутых, комбинированных.

Наблюдается тенденция увеличения расстояния от уровня начала конструкций покрытия до нулевой отметки здания, растущее пропорционально увеличению функциональной нагрузки пространства, однако, ограниченное требованиями к доступности территории по отношению к объектам радионавигации и диспетчерского обеспечения [12]. Актуализированный анализ терминалов, введенных в эксплуатацию с 2000 года как впервые, так и повторно в ходе реконструкции, дает основание полагать, что на первый план выходят возможности покрытий таких типов как: оболочка, мембраны и структуры. На примере объектов с покрытиями данных конфигураций предлагается аналитическое описание зданий терминалов, объединивших в себе все вышеперечисленные тенденции и позволяющих

Таблица 1
Типизация покрытий аэровокзалов

	Арки	Пространственные структуры	Оболочки
Принцип работы	Несмещаемые опоры, перекрывающие криволинейное пространство [6]	Стержневые конструкции, элементы которых располагаются в различных плоскостях	Пространственные покрытия, ограниченные двумя криволинейными поверхностями, расстояние между которыми мало по сравнению с двумя другими размерами
Объекты	Международный аэропорт Чек Лап Кок (Китай)	Пассажирский терминал аэропорта Тайпей (Китай); Международный аэропорт Инчхон (Республика Корея)	Международный аэропорт им. Джона Кеннеди; Международный аэропорт Кансай (Япония)
	Вантовые покрытия	Мембарны	Складки
Принцип работы	Покрытия всякого типа, работа которых основана на сочетании жестких опор и стальных тросов, высокоэффективных на восприятие растягивающих усилий	Стальные, алюминиевые листы, искусственные пленки, строительные ткани и пленки, выполняющие несущие и ограждающие функции [7]	Ряды повторяющихся в определенном порядке элементов, опирающихся по краям и в пролете на диафрагмы жесткости
Объекты	Галереи для приема пассажиров в аэропорту Шереметьево (Россия); Международный аэропорт им. Йозефа Штрауса (Германия)	Международный аэропорт Суваннапхум (Таиланд); Международный аэропорт Симферополя (Россия)	Международный аэропорт им. Фредерика Шопена (Польша); Международный аэропорт им. Лиона-Сент-Экзюпери (Франция)

отметить некоторые нестандартные решения, перспективные для дальнейшего использования в аэропортостроении.

Международный аэропорт им. Чатрапати Шиваджи (Индия) был реконструирован в 2014 году, что позволило значительно увеличить пропускную способность [13]. Х-образный терминал включает покрытие, располагаемое на расстоянии 42 м. от нулевой отметки, общая площадь которого составляет 70 тыс. м² [14]. Примечательно для столь значительного масштаба отсутствие температурных швов. Кровля опирается на 30 колонн, с шагом 64 метра в продольном направлении и 34- в поперечном, что обеспечивает открытость внутреннего пространства, требуемая инсоляция которого достигается за счет включения пирамидальных световых фонарей. Высота фермы на светопрозрачных участках достигает 9 метров. Повторение типовых модульных конструкций обеспечило высокий темп строительства.

Формообразование оболочки обусловлено значительными ветровыми нагрузками, которые было необходимо компенсировать, особенно в консольной части. Решением стало создание стены с применением предварительно напряженных кабелей, расположенных поперек основной кровельной фермы. Независимая работа массивных колонн и бетонного основания, обеспеченная сквозными отверстиями в плите, позволила покрытию свободно реагировать на воздействие и таких типов нагрузок, как температурное расширение и сжатие. Общая жесткость конструкции обеспечена включением в работу дополнительных ферм, расположенных под углом по отношению к основной сетке конструкции. Совокупность ортогональных и диагональных ферм определила эффективную работу диафрагмы жесткости кровли. Общая конфигурация кровли и покрытия обеспечивает возможность создания 40-метрового консольного свеса, без риска образования значительных прогибов.

Говоря о степени значимости процесса формообразования, возможно привести в пример

терминал аэропорта Загреб (Хорватия), введенный в эксплуатацию в 2017 году, и имеющий площадь в плане 65.8 тыс. м². Обтекаемая форма сплошной оболочки здания создает обширную открытую экспозицию внутри объекта и эффективно воспринимающую ветровые нагрузки внешнюю структуру. Волнообразное покрытие переходит в фасад, обращенный к взлетно-посадочной полосе, что представляет собой эффективный прием, в рамках нейтрализации шумового и вибрационного воздействия. Пространственная структура арочной конфигурации в разрезе состоит из легких стержней, при сопряжении образующих пирамидальные модули. Верхний пояс имеет смещение осей, относительно нижнего. Стальные стержни объединяются сферическим соединительными элементами. Сечение труб варьируется в зависимости от воспринимаемых элементов усилий от Ø76,1x2,9 мм. до Ø219,1x20 мм., что позволяет обеспечить снижение материалоемкости конструкций, снизить общий вес покрытия. Большим сечением (Ø406x16 мм) обладают раскосы капителей колонн. Эффективным приемом стало предварительное тестирование модели объекта в аэродинамической трубе, что позволило утвердить конфигурацию покрытия и определить его жизнеспособность в условиях воздействия значительных порывов ветра.

Рассмотренные объекты, в совокупности с проведенной актуализацией текущего состояния аэропортостроения в России, позволяют заключить, что конструирование покрытия является задачей, требующей комплексного подхода к принятию мер по обеспечению устойчивости, надежности, жесткости конструкций, приданию им архитектурной выразительности, учету специфических требований к характеристикам аэровокзалов [10]. В качестве прикладной части области применения нашей работы, составлена актуализированная таблица (табл. 2), позволяющая емко оценить потенциал той или иной конфигурации покрытия аэровокзалов на этапе эскизного проектирования объекта

Таблица 2

Оценка эффективности возможного применения покрытий различных конфигураций

Покрытия большепролетных аэровокзалов				
Мембранные		Вантовые		
Оценочные критерии	Перспективы комбинирования с различными видами конструкций	Относительно малый расход материала	Оболочки Архитектурная выразительность	
	Возможности совместной работы опорного контура и мембраны	Эффективность работы стальных тросов на растяжение	Высокая несущая способность	
	Значительные возможности формообразования		Эффективность в тяжелых условиях работы	
	Большой спектр материалов заполнения	Вариативность перекрываемых пролетов		
	Широкие возможности светопрозрачности			
	Повышенная деформативность		Возникновение распорных реакций	
	Применимость в ограниченных климатических условиях строительства	Потребность в мероприятиях по натяжению тросов на строительной площадке	Потребность во введении поперечных ребер для повышения жесткости	
	Включение в работу стабилизирующих элементов, использование висячих балок и ферм, конструирование перекрестных систем		Гашение распорных реакций включением в работу затяжек	

Продолжение таблицы 2

Покрытия большепролетных аэровокзалов			
	Арки	Складки	Структуры
Оценочные критерии	Простота создания модульной системы покрытий		
	Удобство устройства подвесного потолка, при необходимости	Значительная технологичность, вариативность сборных элементов	Малая чувствительность к сосредоточенным нагрузкам
	Не требуются дополнительные элементы, выполняющие ограждающую функцию	Возможности устройства световых фонарей, скрытого монтажа инженерных систем	Перераспределение усилий в стержнях при отказе одного элемента
	Удобство монтажа осветительных приборов, систем кондиционирования		Возможности капительного опирания
	Склонность к неравномерной осадке опор, провисанию затяжек. Трудозатраты на изготовление	Повышение высоты конструкций покрытия. Распор, по принципу действия стремящийся распрямить складки	Частота расположения элементов может препятствовать размещению инженерных сетей [15]
	Вес конструкций		
	Сравнительное снижение светопрозрачности		
	Повышенные требования к учету монтажных напряжений в элементах конструкций		
	Устройство подвесок, горизонтальных бортовых элементов. Членение арок на прямоугольные элементы, для снижения трудозатрат	Устройство диафрагмы жесткости для восприятия распора	Применение тонкостенных труб различного сечения, с учетом требуемой гибкости
	Устройство световых фонарей, светопрозрачных линейных конструкций		
Цветовое обозначение:			
	- Рационализирующие выбор преимущества;		
	- Возможные сопутствующие риски;		
	- Предлагаемые варианты повышения эффективности конструкций		

Список литературы

- Евтушенко А.И., Карамышева А.А., Колотиенко М.А., Брижанов Е. А. Инновационные разработки в области конструктивных и архитектурных решений светопрозрачных кровель аэропортов из стеклянных материалов // Инженерный вестник Дона. 2019. №1.
- Гинзбург А.В., Василькин А.А. Постановка задачи оптимального проектирования стальных конструкций // Вестник МГСУ. 2014. №6.
- 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.
- Монич С.А. Тэйф А.З. Сравнительный анализ строительного производства. М. Финиансы, 1977 г. С. 16-22.
- Architekturbüro J.S.K. Airports. Michigan: Wasmuth, 2001. С. 13
- СП 304.1325800.2017 Конструкции большепролетных зданий и сооружений. Правила эксплуатации.
- Kessling W., Holst S., Schuler M. Innovative Design Concept for the New Bangkok International Airport // Proceedings of the Fourteenth Symposium on Improving Building Systems in Hot and Humid Climates, Richardson. TX: 2004.
- Иванов В.Н. Об аэропортах России // Пространство и время. 2003. №3. С. 118-122.
- Шумейко В.И., Евтушенко А.И., Кудлаева А.А., Ким О.В. Перспективы развития стадиона как многофункционального спортивного объекта // Инженерный вестник Дона. 2017. №2.
- Edwards B. The Modern Airport Terminal: New Approaches to Airport Architecture. London: Taylor & Francis, 2004. С. 8-9, 11-12, 256.
- Гарифуллин М.Р., Семенов С.А., Беляева С.В., Порываев И.А., Сафиуллин М.Н., Семенов А.А. Поиск рациональной геометрической схемы пространственной металлической конструкции покрытия большепролетного спортивного сооружения // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. №2.
- Ращепкина С.А., Тажинова О.Г. Большепролетные конструкции покрытий аэропортов. Проектирование и расчет. Саратов: Саратовский гос. технический ун-т, 2015. С. 18.
- Besjak C., Biswas P., Thewis A. Chhatrapati Shivaji International Airport—Integrated Terminal Building // Structural Engineering International. 2013. №1. С. 8-11.
- Kushner M. The Future of Architecture in 100 Buildings. New York: Simon and Schuster, 2015. С. 56-57.
- Алпатов В.Ю., Холопов И.С. Оптимизация геометрической формы пространственно-стержневых конструкций // Металлические конструкции. 2009. №1. С. 47-57.

© А. А. Карамышева, М. А. Колотиенко, А. Д. Тютина

Ссылка для цитирования:

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.