

УДК 692.25(575.2)
DOI: 10.36979/1694-500X-2024-24-8-179-188

ТРАНСФОРМИРУЮЩИЕСЯ ПОКРЫТИЯ ТЕННИСНЫХ КОРТОВ. АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ

В.С. Семёнов

Аннотация. Выполнен анализ конструктивных решений трансформирующихся покрытий теннисных кортов, построенных за последние годы в разных странах мира. На основании классификации таких покрытий по материалам конструкций и принципу трансформации (способу перемещения в пространстве) рассмотрены складные, раздвижные, поворачивающиеся системы. Трансформирующиеся покрытия представляют собой конструкции, в которых либо вся конструкция покрытия, либо его часть меняют свою форму или положение в процессе эксплуатации. Такие покрытия находят все большее применение в архитектуре и строительстве. Одним из наиболее привлекательных объектов для них являются спортивные сооружения: теннисные корты, бассейны, манежи и др. Для правильного выбора типа трансформирующегося покрытия теннисного корта необходимо творческое сотрудничество архитекторов, инженеров-строителей (конструкторов) и инженеров-механиков.

Ключевые слова: теннисный корт; трансформирующиеся покрытия; классификация; перемещение; конструктивный анализ.

ТЕННИС КОРТУНУН ТРАНСФОРМАЦИЯЛАНУУЧУ ЖАБУУЛАРЫ. КОНСТРУКТОРДУК ЧЕЧИМДЕРДИ ТАЛДОО

В.С. Семёнов

Аннотация. Акыркы жылдары дүйнөнүн ар кайсы өлкөлөрүндө курулган трансформацияланган теннис кортторунун конструкциялык чечимдерине талдоо жүргүзүлдү. Конструкциялардын материалдары жана трансформациялоо принциби (механизмдин иши) боюнча мындай жабууларды классификациялоонун негизинде бүктөлүүчү, жылма, бурулуучу системалар каралды. Трансформациялык жабуулар-бул бүтүндөй каптоо структурасы же анын бир бөлүгү иштөө учурунда формасын же абалын өзгөрткөн конструкциялар. Акыркы жылдары мындай жабуулар архитектурада жана курулушта көбүрөөк колдонула баштады. Жүргүзүлгөн талдоо көрсөткөндөй, теннис кортунун трансформациялык катмарынын түрүн туура тандоо үчүн архитекторлордун, инженер-куруучулардын (конструкторлордун) жана инженер-механиктердин чыгармачылык кызматташтыгы зарыл.

Түйүндүү сөздөр: теннис корту; трансформациялык жабуулар; классификация; көчүрүү; конструктивдүү талдоо.

RETRACTABLE ROOFS FOR TENNIS COURTS. ANALYSIS OF STRUCTURAL SOLUTIONS

V.S. Semenov

Abstract. The analysis of structural solutions of tennis court retractable roofs built in recent years in different countries of the world is carried out. Based on the classification of such roofs by structural materials and the principle of transformation (mechanism operation), folding, sliding and rotating systems are considered. Retractable roofs are structures in which either the entire structure of the roofs or part of it changes its shape or position during operation. In recent years, such coatings have been increasingly used in architecture and construction. One of the most attractive objects for them is sports facilities: tennis courts, swimming pools, arenas, etc. The analysis showed that for the correct choice of the type of tennis court retractable roof, creative cooperation of architects, civil engineers (designers) and mechanical engineers is necessary.

Keywords: tennis court; retractable roofs; classification; transformable; constructive analysis.

Для корректной оценки результатов выполненного анализа необходимо пояснить используемые в настоящей статье термины и их определения. Англо-русский строительный словарь С.Н. Корчемкина [1] и онлайн-переводчики термин «*surface*» дословно переводят как «поверхность; площадь (поверхности); покрытие», что не отражает определение термина «покрытие», который в нашей терминологии используется для обозначения верхней конструкции, отделяющей помещения здания от наружной среды и защищающей их от атмосферных осадков и других внешних воздействий [2].

Ближе всего к используемому нами термину «покрытие» относится английский термин «*roof*» (дословно переводится как «крыша»), который мы используем как определение верхней несущей конструкции, в основном, гражданских (жилых) зданий.

Термин «трансформирующийся» («*transformable*») имеет примерно одинаковое значение как в русском, так и в английском инженерном языке. Он означает преобразование или изменение чего-либо. В настоящей статье термину «трансформирующийся» ближе всего соответствует английский термин «*retractable*» [rɪ'træktəbl̩] – причастие, обозначающее способ изменения чего-либо: втягивающийся, убирающийся, выдвигающийся и т. д.

Введение. Теннис – один из популярных видов спорта не только среди любителей, но и профессионалов, которые участвуют в соревнованиях круглый год. Особым вниманием средств массовой информации и зрителей во всем мире пользуются турниры «Большого шлема» – открытые чемпионаты Австралии, Франции, Англии и США. Большинство кортов на теннисных стадионах, где проводятся эти соревнования, открытые (*open court*), что при плохих погодных условиях не способствует удобству работы организаторов турниров, СМИ и комфорту зрителей. Именно с такой ситуацией столкнулись в текущем году организаторы «Ролан Гаррос» (открытого чемпионата Франции). Проблема проведения теннисных турниров с большим количеством участников, возникающая при плохой погоде (сильном ветре, дожде или снеге), определяет необходимость строительства крытых кортов (*indoor court*) с трансформирующейся конструкцией покрытия (крыши).

Трансформирующиеся покрытия (ТП) представляют собой конструкции, в которых либо вся конструкция покрытия, либо его часть в процессе эксплуатации меняют свою форму или положение. В последние годы такие покрытия находят все большее применение в архитектуре и строительстве. Одним из наиболее привлекательных объектов для них являются спортивные сооружения: теннисные корты, бассейны, манежи и др. [3, 4].

По сравнению с традиционными, трансформируемые покрытия обеспечивают ряд преимуществ, в числе которых возможность контролировать количество естественного света, проникающего в здание, объединение внутреннего и внешнего пространства в единое целое, что создает комфортные условия и для спортсменов, и для зрителей. Кроме того, такие покрытия могут быть закрыты в ненастную погоду, гарантируя продолжение игры, несмотря на дождь или снег.

Материалы и методы. Основным методом, используемым в работе, является конструктивный анализ осуществленных (построенных) крытых теннисных кортов с трансформирующимися покрытиями. Материалом для анализа послужили публикации отечественных и зарубежных авторов.

Цель статьи: на основе анализа осуществленных трансформирующихся покрытий теннисных кортов раскрыть особенности их конструктивных решений и дать рекомендации по выбору наиболее рационального типа.

Задачи: 1) описать конструктивные решения трансформирующихся покрытий теннисных кортов, уже осуществленных и интересных с точки зрения архитектуры и строительной науки; 2) проанализировать принцип их работы; 3) дать рекомендации по выбору рационального конструктивного решения такого типа покрытия.

За последние годы в мире запроектировано и построено достаточно большое количество крытых теннисных кортов с трансформирующимися покрытиями [3, 4]. Эти объекты имеют различные конструктивные решения как по используемым материалам, так и по способам перемещения (применяемым механизмам). Материалы и механизмы трансформирующихся покрытий подбираются исходя

из размеров, веса, частоты открывания и закрывания, продолжительности и типа перемещения, дополнительных нагрузок.

Для анализа осуществленных проектов трансформирующихся покрытий (далее ТП), воспользуемся предложенной нами в [5, стр. 27, рис. 2] классификацией. Похожая классификация ТП опубликована в [6].

Одним из главных признаков, по которым можно разделить ТП, является способ перемещения в пространстве либо всего покрытия, либо его элементов. Вторым признаком можно считать материалы, из которых выполнено покрытие или его элементы.

По способу перемещения ТП подразделяются на:

- перемещающиеся в пространстве поступательно по прямолинейным или криволинейным направляющим;
- перемещающиеся в пространстве путем поворота вокруг горизонтальной, вертикальной или наклонной оси;
- перемещающиеся путем разворачивания (складывания);
- совмещающие одновременно несколько видов перемещений.

По материалам подвижных элементов ТП можно разделить на три типа:

- конструкции, состоящие из жестких элементов;
- конструкции, состоящие из мембран (тонких гибких элементов);
- комбинированные конструкции, состоящие как из жестких, так и гибких элементов (мембран).

Осуществленных проектов теннисных кортов с трансформирующимися покрытиями достаточно много. Рассмотрим наиболее интересные, на наш взгляд, объекты как в архитектурном, так и в конструктивном аспектах.

А. Трансформирующиеся покрытия из жестких элементов

Одной из наиболее ярких конструкций такого типа является ТП центрального корта теннисного стадиона Qizhong Forest Sports City Arena в г. Шанхай (Китай) (рисунок 1) [7, 8]. Автор проекта – японский архитектор Наоми Сато. Конструкцию покрытия запроектировали и выполнили китайские инженеры.

Покрытие состоит из восьми поворачивающихся вокруг вертикальной оси стальных элементов сложной многогранной формы, которые в раскрытом положении напоминают очертания цветка магнолии – важного национального символа города. Несущая конструкция каждого элемента образована пространственной стержневой системой весом 280 тонн каждая. Время, затрачиваемое на полное раскрытие внутреннего пространства, не превышает 8 минут.

Другим интересным для анализа объектом ТП из жестких элементов служит покрытие центрального корта нового стадиона Khalifa Tennis Complex в г. Доха (Катар) (рисунок 2) [9].

Подвижная конструкция покрытия состоит из двух жестких элементов полукруглого очертания в плане, которые при закрывании двигаются навстречу друг другу по горизонтальным направляющим.

Несущая конструкция как подвижных элементов, так и основной стационарной части, выполнена в виде пологой стержневой сетчатой оболочки положительной гауссовой кривизны. Такая форма ТП была выбрана из-за ее простоты и надежности по сравнению с другими аналогичными формами трансформируемых систем. При этом простая форма подвижных элементов рациональна как с точки зрения самой системы, так и с точки зрения механизма её перемещения. Архитектурный замысел проекта состоял в том, чтобы свести к минимуму визуальное воздействие движущейся крыши, ограничив размер перекрываемого пролета и обеспечив небольшую высоту покрытия по периметру. Принятое конструктивное решение позволяет удобно разместить как трибуны для зрителей, так и механизмы перемещения.

Б. Конструкции ТП из мембран

Наглядным примером такого типа конструкции служит покрытие центрального корта Tennis Stadium Rothenbaum в г. Гамбург (ФРГ), (рисунок 3) [10].

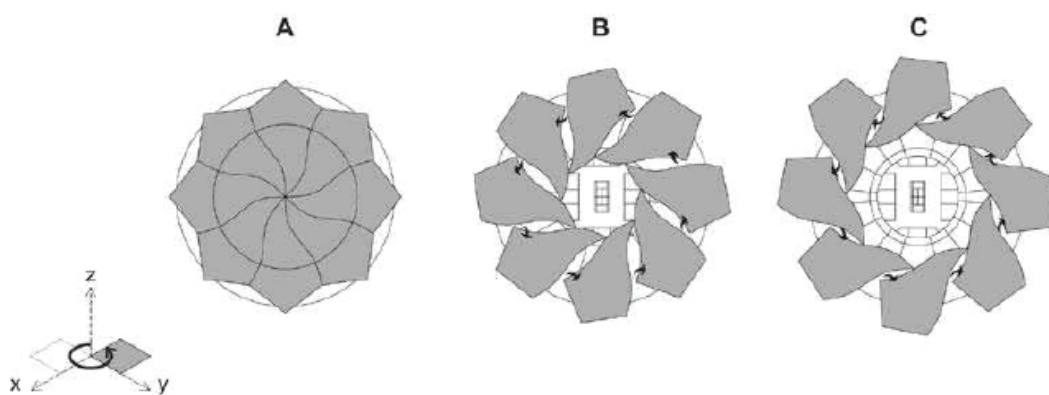


Рисунок 1 – Qizhong Sports City Arena: А, В и С – положение элементов при трансформации

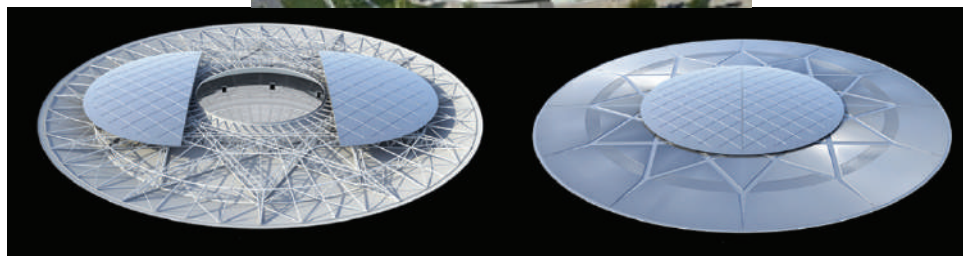
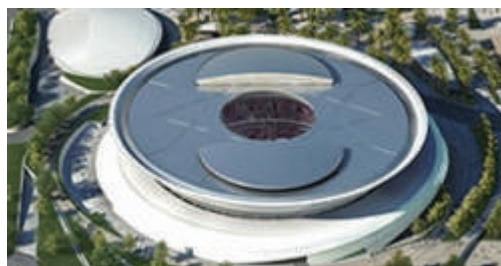


Рисунок 2 – Центральный корт Khalifa Tennis Complex (общий вид и модель покрытия)

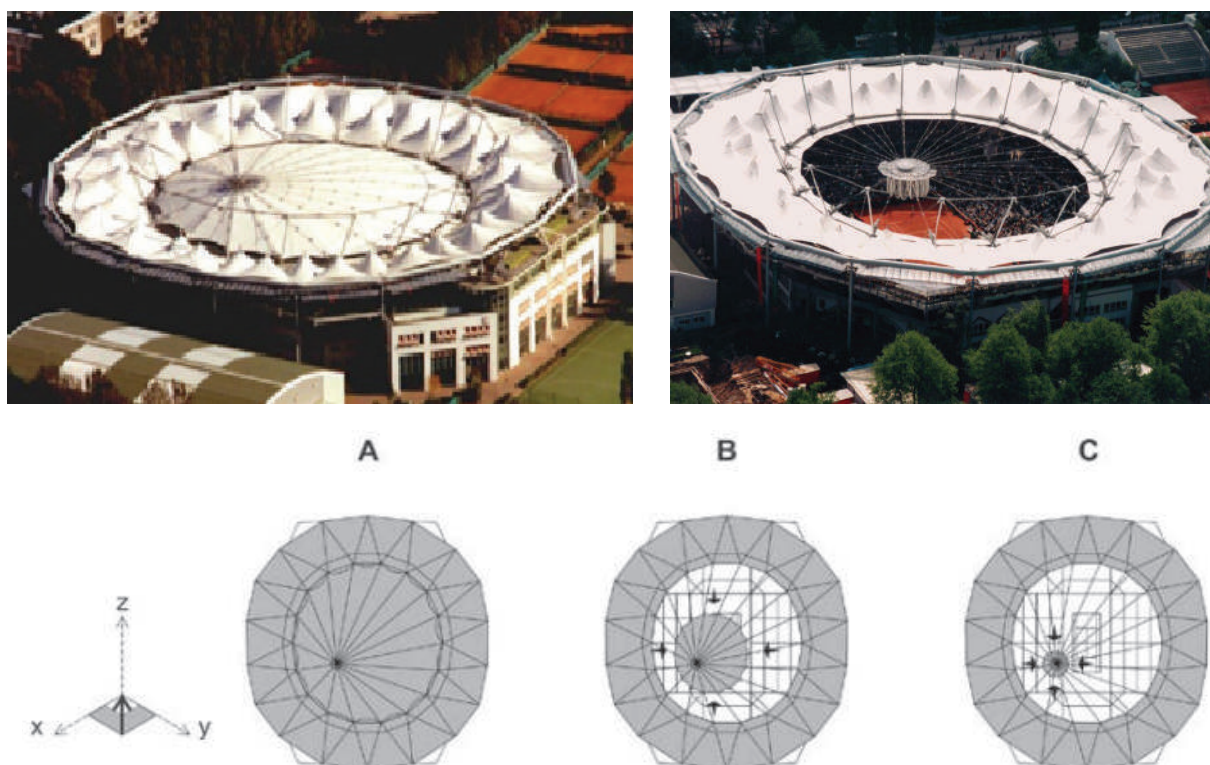


Рисунок 3 – Центральный корт Tennis Stadium Rothenbaum:
А, В и С – положение центральной мембраны в разной фазе трансформации

Эта конструкция (эксплуатируется более 25 лет) состоит из двух частей: постоянно закрытой над трибунной конструкцией шириной около 17 м, и отверстия диаметром 63 м, которое закрывается выдвижным тентом-мембраной, изготовленной из прозрачной белой полиэфирной ткани с покрытием из ПВХ.

Материал (technical polyester fabrics) является чрезвычайно прочным и устойчивым к атмосферным воздействиям, хотя его толщина составляет всего 1,2 мм. Основная несущая конструкция покрытия представляет собой систему радиальных тросов пролетом более 100 м, способную сложить с помощью электрических механизмов около 3 000 м² кровельной ткани в течение четырех минут в одну центральную точку, не отбрасывая тени на площадку. Мембрана крепится к тросам с помощью подвижных кареток, которые обеспечивают закрытие и раскрытие игровой зоны.

В. Трансформирующиеся покрытия из комбинированных элементов

В качестве первого примера рассмотрим ТП корта № 1 Всеанглийского клуба лаун-тенниса (AELTC) в Уимблдоне (Лондон), (рисунок 4) [11].

Конструкция покрытия корта (размер 75 м в ширину и 90 м в длину) представляет собой систему из 11 пространственных арочных стальных ферм призматического поперечного сечения и высотой в середине пролета 6,5 м. Покрытие располагается на высоте 17 м над уровнем площадки. Вес каждой фермы больше 80 тонн, а с учетом мембраны, моторов и контролирующего оборудования вес всего покрытия превышает 1000 тонн. Опорные узлы ферм соединены с колесными тележками, которые перемещаются по горизонтальным направляющим, прикрепленным к специально разработанной системе из пяти окружающих арену ферм и железобетонных колонн. По верхним поясам ферм и между ними натянута мембрана из прозрачной ткани Gore Tenara (разновидность ткани Gore-Tex). Площадь

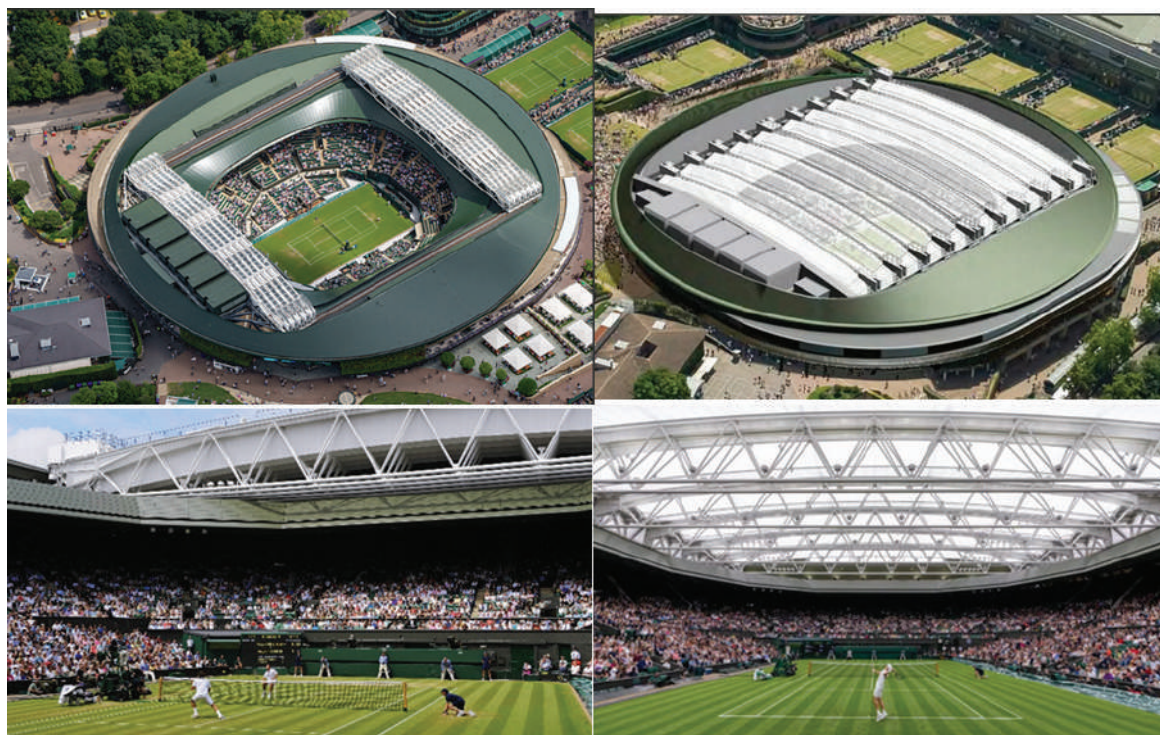


Рисунок 4 – Корт № 1 теннисного стадиона Уимблдон (г. Лондон).
Общий вид и интерьеры в разных положениях покрытия

мембраны – 5200 м². По данным SCX, компании, ответственной за проектирование и поставку всего механического и электрического оборудования, для обеспечения плавной и бесшумной работы покрытия при его движении используется около 220 электромеханических устройств (включая двигатели), а также система управления, способная работать с точностью до долей миллиметра. Комбинированная конструкция покрытия площадью около 5500 м² может закрывать или открывать корт примерно за 10 минут.

Следующим примером ТП комбинированного типа выбрана конструкция покрытия корта им. Филиппа Шатрие (Philippe Chatrier) теннисного стадиона Ролан Гаррос в Париже (рисунок 5) [12, 13].

Покрытие общей площадью более 10000 м² состоит из 11 стальных балок, напоминающих в поперечном сечении форму крыла (Филипп Шатрие был пилотом). Спроектированы и изготовлены балки итальянской компанией Simolai. Каждая балка собиралась в специальных кондукторах из семи отправочных элементов длиной 15 м и высотой 3 м. Вес балки 320 тонн. С внутренней поверхности балок установлены панели из полупрозрачного материала Alphalia Silent AW, который обеспечивает улучшенные акустические характеристики во время матчей и в случае дождя.

Опоры балок оснащены двумя зубчатыми колесами, которые двигаются по двум зубчатым рельсам, закрепленным на верхней части трибун. Движение каждой фермы синхронизировано и управляется контролирующей весь процесс компьютерной системой (рисунок 6).

Объединяющая балки мембрана из Flexflight Xtrem TX30 относится к последнему поколению гибких композитных материалов от Serge Ferrari, специально разработанных для использования в общественных зданиях. Несмотря на свой вес, гибкость и полупрозрачность – качества, общие для всех



Рисунок 5 – Корт им. Филипа Шатрие. Париж. Общий вид и элементы покрытия



Рисунок 6 – Опорная часть балок покрытия и механизм их перемещения



Рисунок 7 – Теннисный корт им. Сюзанны Ленглен. Ролан Гаррос. Париж.
Общий вид и интерьеры внутреннего покрытия



Рисунок 8 – Конструктивное решение и принцип работы трансформирующегося покрытия корта Сюзанн Ленглен

гибких композитных материалов, – мембрана Flexlight TX30 также обладает высокой прочностью, что очень важно для большепролетных конструкций.

Последним выбранным для анализа примером является введенная в эксплуатацию только в мае текущего года конструкция покрытия корта им. Сюзанн Ленглен (Suzanne-Lenglen) теннисного стадиона Ролан Гаррос в Париже (рисунки 7 и 8). Архитектурную часть проекта выполнило бюро Доменика Перро (DPA), проектирование и монтаж конструкций покрытия осуществила компания Renaudat Centre construction [14, 15].

Складчатое покрытие образовано системой из 21 стального троса пролетом 44, закрепленных с шагом 2,5 м к подвижным опорным элементам, и соединенной с ними мембраны из политетрафторэтилена (ПТФЭ). Тросы установлены на разных отметках, что при движении опорных элементов по горизонтальным направляющим обеспечивает, во-первых, складчатую поверхность мембраны и, во-вторых, натяжение последней и восприятие действующих нагрузок (дождь, ветер и др.). Конструктивное решение и принцип работы покрытия достаточно хорошо представлены на рисунке 8. По опубликованным данным время закрытия (открытия) корта не превышает 15 минут.

Заключение. Проведенный анализ показал, что для правильного выбора типа трансформирующегося покрытия необходимо учитывать архитектурные, строительные (материалы и конструкции) и инженерные (механические) аспекты.

К архитектурным критериям относятся размеры перекрываемого объема; количество естественного света и возможные объемы финансирования (надо быть реалистом). ТП могут быть изготовлены из различных материалов, включая металл, стекло, синтетические ткани и пленки. Каждый материал имеет свой уникальный набор свойств, которые надо учитывать при проектировании (выборе типа) ТП.

Правильный выбор материалов, конструкций и механизмов играет ключевую роль в успешном проектировании ТП. Стальные конструкции благодаря своей прочности и небольшому собственному весу остаются основным типом несущих элементов ТП. Они обеспечивают необходимую несущую способность и долговечность на весь срок эксплуатации покрытия.

При проектировании элементов ТП большой популярностью у архитекторов и конструкторов пользуются полупрозрачные мембраны из этилентетрафторэтилена (ЕТФЭ). Благодаря своей легкости, прочности и способности пропускать свет, этот материал может найти применение при проектировании самых разных типов трансформируемых покрытий.

Еще одним важным аспектом (фактором, критерием), который необходимо учитывать при выборе типа ТП – возможность мониторинга состояния как конструкций самого ТП, так и механизмов, которые приводят его в движение.

Таким образом, проектирование ТП предполагает тщательное рассмотрение всех вышеперечисленных аспектов. Каждый из них вносит свой вклад в функциональность и визуальную привлекательность сооружения, которое органично объединяет внутреннее и внешнее пространство. Представленные выше примеры ТП показывают широкие возможности реализации своих идей архитекторам, инженерам-строителям, а также инженерам-механикам.

Поступила: 11.06.24; рецензирована: 24.06.24; принята: 26.06.24.

Литература

1. Корчемкин С.Н. Англо-русский строительный словарь. Ок. 55000 терминов / С.Н. Корчемкин, С.К. Кашкин, С.В. Курбатов. М.: Русский язык, 1995. 672 с.
2. Терминологический словарь по строительству на 12 языках. ВНИИИС Госстроя СССР. М.: Русский язык, 1986. 2953 с. URL: <http://amac.md/Biblioteca/data/22/13/5.pdf>.
3. Трансформация в архитектуре уникальных общественных зданий / Е.В. Пименова, В.И. Шумейко // Инженерный вестник Дона. 2016. № 4. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3939> (дата обращения: 05.06.24).

4. Retractable roof: History, Shapes and sizes // Sports venues, Alternatives to retractable roofs. URL: https://ru.us.edu.vn/en/Retractable_roof (дата обращения: 05.06.24).
5. Семенов В.С. Трансформируемые конструкции покрытий в современной архитектуре / В.С. Семенов, Р.Ш. Акбаралиев // Вестник КPCY. 2010. Т. 10. № 2. С. 25–30.
6. Andrej Mahovič. Typology of Retractable Roof Structures in Stadiums and Sports Halls / Mahovič Andrej. IU/CG, 3/2015, 90–99. URL: <https://dx.doi.org/10.15292/IU-CG.2015.03.090-099> (дата обращения: 05.06.24).
7. Game, set and match for Wang’s retractable roof. URL: <https://www.shine.cn/feature/lifestyle/1810082936/> URL (дата обращения: 01.06.24).
8. Стадион Чи Джонг, Китай. URL: <https://orangesmile.com/extreme/ru/magnificent-stadiums/qi-zhong-stadium.htm> (дата обращения: 25.05.24).
9. Теннисный комплекс Халифа. URL: <https://www.arup.com/projects/khalifa-tennis-complex> (дата обращения: 05.06.24).
10. Retractable roof system for tennis center court in Hamburg // ECCON. URL: <https://econ.biz/case-study/center-court-rothenbaum> (дата обращения: 08.06.24).
11. All England Lawn Tennis Club: Retractable Roofs at Wimbledon. URL: <https://arx.co.uk/projects/retractable-roofs-at-wimbledon> (дата обращения: 09.06.24).
12. The roof: how does it work? URL: <https://www.rolandgarros.com/en-us/article/philippe-chatrier-court-roof-how-does-it-work> (дата обращения: 25.05.24).
13. Court Philippe Chatrier. URL: <https://structurae.net/en/structures/court-philippe-chatrier> (дата обращения: 05.06.24).
14. Le plissé du court Suzanne Lenglen. URL: <https://www.designboom.com/architecture/dominique-perrault-architecture-suzanne-lenglen-tennis-court-paris-pleated-retractable-roof-10-01-2020> (дата обращения: 15.05.24).
15. A retractable roof on Suzanne Lenglen tennis court. URL: https://www.perraultarchitecture.com/data/projet/fiche/2603/20200903_suzanne_lenglen_court_en_7ee2d.pdf (дата обращения: 10.06.24).