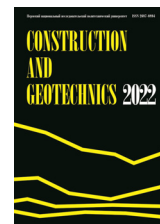




CONSTRUCTION AND GEOTECHNICS

Т. 13, № 2, 2022

<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2022.2.07

УДК 691-41: 502/504: 721.001

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ РЕШЕНИЙ КОНСТРУКТИВНЫХ СИСТЕМ КИНЕТИЧЕСКИХ ФАСАДОВ

В.А. Муратова, С.А. Козловский

Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 21 мая 2022
Одобрена: 20 июня 2022
Принята к публикации:
30 июня 2022

Ключевые слова:

энергоэффективность, ресурсосбережение, кинетическая архитектура, фасад, кинетическая фасадная панель, преобразователи энергии, архитектурное движение, фасадный модуль.

АННОТАЦИЯ

Рассматривается такое направление в строительстве, как кинетическая архитектура. Подобные объекты принято разделять на типы: функциональные строения – мосты, стадионы; здания-трансформеры, меняющие внешний облик; здания с движением на поверхности фасада; здания с преобразователями энергии. Последние два типа – это объекты архитектуры с кинетическими фасадными системами. Как правило, строительство таких зданий осуществляется по индивидуально разработанным проектам и значительно отличается друг от друга. Полезные модели и изобретения по данному направлению имеют специально разработанную конструктивную систему и тем самым представляют интерес для архитекторов, дизайнеров и строителей. Существующие объекты и запатентованные технологии с динамическими фасадами предлагается условно разделить на несколько групп по некоторым признакам. Первый признак – что приводит в движение фасад – силы природы или механика. Второй признак это энергоэффективность системы. Система бывает энергоэффективной и неэнергоэффективной. Некоторые энергоэффективные системы могут иметь преобразователи энергии либо контролировать микроклимат в помещении. Преобразовывать природную энергию с помощью кинетических фасадов можно двумя способами – при помощи солнечных батарей и при помощи ветрогенераторов. Вопрос контроля микроклимата помещений в России не так актуален, как за границей, в связи с тем, что среднесуточные температуры в нашем регионе летом не такие большие. А вот устройство преобразователей энергии – аспект актуальный для нашего времени. Один из первых проектов кинетической архитектуры был предложен Владимиром Ефграфовичем Татлином в 1920 г. Башня III Интернационала должна была быть построена в Ленинграде, но проект так и не был реализован. На сегодняшний день за рубежом появляется все больше таких зданий и сооружений, а в России до сих пор нет ни одного.

© ПНИПУ

© Муратова Виктория Андреевна – магистрант, e-mail: mva-98-vika@mail.ru
Козловский Сергей Адольфович – старший преподаватель, e-mail: advin2002@bk.ru

Viktorii A. Muratova – Master's Student, e-mail: mva-98-vika@mail.ru
Sergey A. Kozlovskiy – Senior Lecturer, e-mail: advin2002@bk.ru

ANALYSIS OF EXISTING SOLUTIONS FOR STRUCTURAL SYSTEMS OF KINETIC FACADES

V.A. Muratova, S.A. Kozlovskiy

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 21 May 2022
Approved: 20 June 2022
Accepted for publication:
30 June 2022

Keywords:

energy efficiency, resource saving, kinetic architecture, facade, kinetic facade panel, energy converters, architectural movement, facade module.

ABSTRACT

The article discusses such a direction in construction as kinetic architecture. It is customary to divide such objects into types. The first type is functional structures. For example, bridges and stadiums. The second type is transformer buildings that change their appearance. The third type is buildings with movement on the surface of the facade. The fourth type is buildings with energy converters. The last two types are architectural objects with kinetic facade systems. As a rule, such buildings are developed according to individual projects and differ significantly from each other. Utility models and inventions in this area have a specially designed design system, and are of interest to architects, designers and builders. Existing facilities and patented technologies with dynamic facades are proposed to be divided into several groups according to some characteristics. The first sign is what drives the facade: the forces of nature or mechanics. The second feature is the energy efficiency of the system. The system can be energy efficient and non-energy efficient. Some energy-efficient systems may have energy converters, or control the microclimate in the room. There are two ways to transform natural energy using kinetic facades. The first way to generate energy using solar panels. The second way is to convert energy using wind turbines. The issue of controlling the microclimate of premises in Russia is not as relevant as abroad, since the average daily temperatures in our region are not so great in summer. But the device of energy converters is an aspect relevant for our time. It is also worth noting that one of the first projects of kinetic architecture was proposed by Vladimir Efgrafovich Tatlin in 1920. The tower of the III International was supposed to be built in Leningrad, but the project was never implemented. To date, more and more such buildings and structures are appearing abroad, and there are still none in Russia.

© PNRPU

Введение

В последнее время с масштабным развитием науки и техники архитекторы все чаще рассматривают возможность реализации объектов кинетической архитектуры. Особенность таких зданий и сооружений состоит в движении конструкций, которые при этом не нарушают целостность строения. На сегодняшний день такие объекты принято подразделять на типы [1].

Первый тип – функциональные строения. Это мосты с подъемной центральной частью или стадионы с раздвижной крышей, выдвигаемым полем. Примером является стадион Mercedes-Benz, построенный в 2017 г. в Атланте (США) [2].

Второй тип – здания-трансформеры, изменяющие свой внешний облик и форму, неизменным остается функциональность и эстетический вид. Такая архитектура свойственна штаб-квартире Zoomlion от компании AmphibianArc [3].

Третий тип – здания, у которых движение происходит на поверхности фасада. Такие строения могут регулировать проникновение солнечных лучей и защищать помещение от дождя и ветра.

Четвертый тип – здания с преобразователями энергии, они, как правило, превращают энергию природы в полезную энергию, которую в дальнейшем можно использовать на нужды дома.

К третьему и четвертому типам таких объектов относятся здания с кинетическими фасадами. Применение движущихся фасадных систем объясняется следующими аспектами:

влиянием на внутреннее состояние человека, эстетикой среды и, самое главное, возможностью использовать природную энергию в строительстве и сокращать расходы на эксплуатацию объекта [4].

Обзор запатентованных технологий

Решения кинетических фасадных систем не похожи друг на друга, каждый проект такой архитектуры индивидуален, он отличается принципом действия и конструктивной составляющей [5]. Полезные модели и изобретения по данному направлению имеют специально разработанную систему и тем самым представляют интерес для архитекторов, дизайнеров и строителей.

Например, автор полезной модели кинетического фасада (п.м. RU 179762 U1) [6] предлагает использовать металлические панели из листового материала 1 (рис. 1), которые располагаются рядами и на расстоянии по периметру друг от друга. Под действием ветра элементы совершают ограниченные знакопеременные колебания. Крепление листового металла 1 осуществляется жестко на траверсах 2 через отверстия 3 крепежными элементами 4. На крепежные элементы 4 установлены распорные втулки 5, длина которых больше толщины листа и зависит от заданной амплитуды колебания. На торцах втулок 5 располагаются ограничители 6, зафиксированные на крепежных элементах 4. На них же установлены и дистанционные втулки 7, которые находятся между ограничителями 6 и траверсой 2, закрепленной, в свою очередь, на каркасной металлической фасадной конструкции 8. Для обеспечения свободных колебаний и для устранения ударов о стену здания подбирается оптимальный размер длины втулки 7. Она зависит от размера панелей 1 и от заданной конструкции фасада. Как заявляет автор, преимуществом данной полезной модели является то, что она многофункциональная и недорогая в изготовлении, с легким и быстрым монтажом.

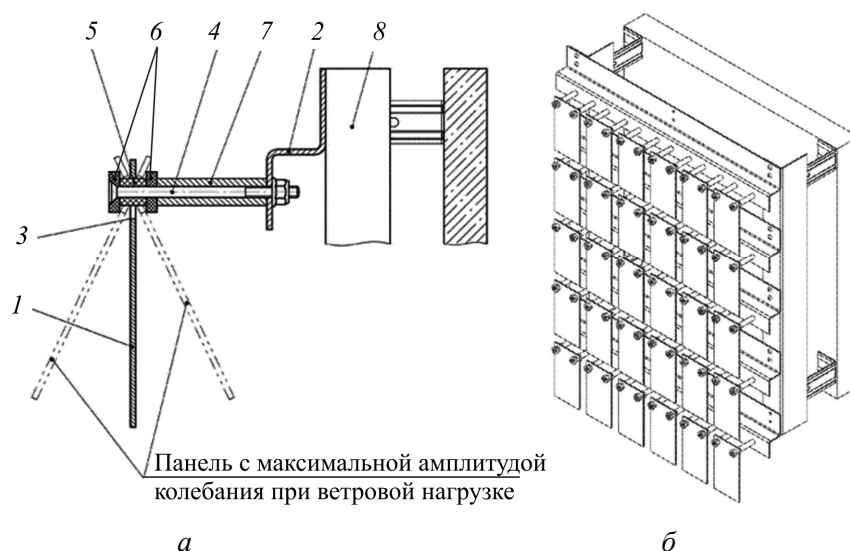


Рис. 1. Схема устройства полезной модели кинетического фасада из листового материала (патент № 179762): а – схема кинетического фасада, б – общий вид кинетического фасада; 1 – панель, 2 – траверса, 3 – отверстия, 4 – крепежные элементы, 5 – распорная втулка, 6 – ограничители, 7 – дистанционная втулка, 8 – металлоконструкции фасада

Fig. 1. Sketch of the execution of a utility model of a kinetic facade made of sheet material (patent № 179762): а – scheme of the kinetic facade, б – general view of the kinetic facade; 1 – panel, 2 – traverse, 3 – holes, 4 – fasteners, 5 – spacer sleeve, 6 – limiters, 7 – remote sleeve, 8 – facade metal structures

Следующий модуль кинетического фасада (RU 177234 U1) [7] тоже представляет собой плоскую пластину из металла, в верхней зоне которой предусмотрены отверстия для крепежных элементов, установленных на фасаде (рис. 2). Форма пластин зависит от достигаемого эстетического эффекта и конструкции стены. Панели изготавливают любой формы из перфорированного или цельного металлического листа. Металл подбирается в зависимости от предъявляемых требований к фасаду и климатических условий в процессе разработки проекта. Рекомендуемые размеры модуля, полученные в результате натурных испытаний: габариты сторон панели 100–250 мм, толщина от 1,0 до 3 мм, расстояние от вертикальной поверхности несущей конструкции 50–200 мм, диаметры цилиндрических кронштейнов 5–20 мм, расстояние между ними 10–500 мм. У данной полезной модели по сравнению с предыдущей снижен расход металла на квадратный метр фасада, конструкция состоит из меньшего количества деталей, что делает ее более простой и увеличивает скорость монтажа декоративного покрытия.

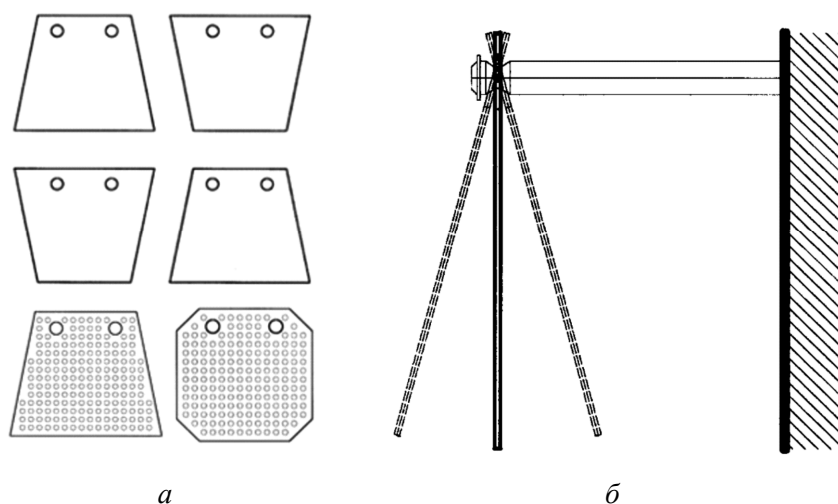


Рис. 2. Схема устройства полезной модели модуля кинетического фасада из листового материала (патент № 177234): *а* – типы листового материала, *б* – схема движения листов
Fig. 2. Sketch of the execution of the utility model of the kinetic facade module made of sheet material (patent № 177234): *a* – types of sheet material, *b* – scheme of sheet movement

Еще одна предлагаемая декоративная панель (RU 113996 U1) [8] состоит из каркаса 1 с вертикальными 2 и горизонтальными 3 пластинами, осевых элементов 4, установленных в отверстия 5, антифрикционных втулок 6 и декоративных элементов 7 (рис. 3). При слабой силе ветра панели 7 начинают совершать колебания относительно осей элементов 4, к которым они подвешены. Размеры решетки каркаса 1, 2, 3 и навесных пластин 7 зависят от площади декорируемой поверхности, рекомендуемые размеры пластин от 10 × 10 мм до 200 × 200 мм, рекомендуемая их толщина 1,0–3,0 мм. Материал конструкции – металл или пластик. Поверхность дополнительно может быть декорирована. В качестве осевых элементов автор рекомендует использовать тросы, стержни или подобные средства, подвеска осуществляется за счет цилиндрической вальцовки, шарнирных петель или других известных средств. Для уменьшения трения между элементами устанавливают втулки, выполненные из пластмассы. По мнению автора, преимуществом данной модели является технологичность, простота и удобство монтажа, а к недостаткам относятся однообразие геометрии, монотонность, статичность и невыразительность объема создаваемого декора.

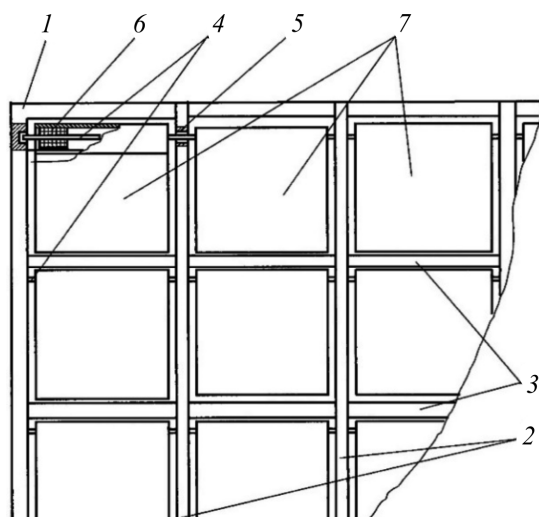


Рис. 3. Схема устройства полезной модели декоративной панели кинетического фасада (патент № 113996): 1 – каркас, 2 и 3 – вертикальные и горизонтальные элементы соответственно, 4 – осевые элементы, 5 – отверстия, 6 – антифрикционные втулки, 7 – декоративные элементы
 Fig. 3. Sketch of the execution of the utility model of the decorative panel of the kinetic facade (patent № 113996): 1 – frame, 2 and 3 – vertical and horizontal elements, respectively, 4 – axial elements, 5 – holes, 6 – anti-friction bushings, 7 – decorative elements

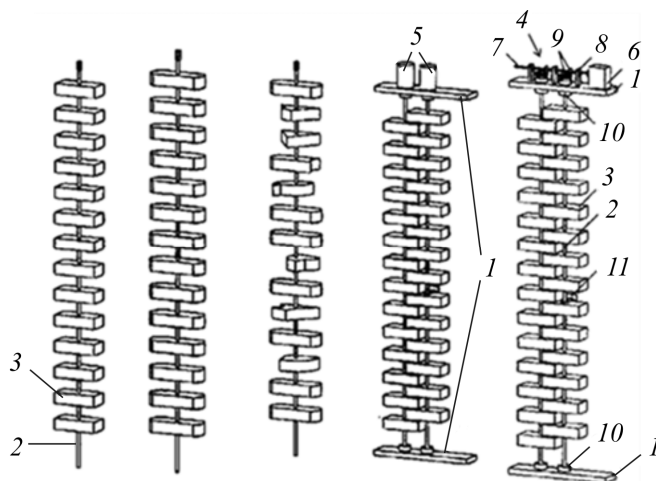


Рис. 4. Схема устройства полезной модели динамической панели кинетического фасада (патент № 197789): 1 – каркас в виде рамы, 2 – оси в виде стержней, 3 – элементы объемной формы, 4 и 5 – общий и отдельный приводы соответственно, 6 – электродвигатель, 7 – общий вал, 8, 10, 11 – подшипниковые опоры, 9 – шестеренчатая передача
 Fig. 4. Sketch of the execution of the utility model of the dynamic panel of the kinetic facade (patent № 197789): 1 – frame in the form of a frame, 2 – axes in the form of rods, 3 – volumetric elements, 4 and 5 – common and separate drives, respectively, 6 – electric motor, 7 – common shaft, 8, 10, 11 – bearing supports, 9 – gear transmission

Следующая динамическая панель (RU 197789 U1) [9] в отличие от предыдущих состоит из корпуса в виде рамки 1, в котором параллельными рядами располагаются стержни 2 (рис. 4). На них закрепляются элементы объемной формы 3, которые могут быть связаны с одним общим приводом 4 синхронного вращения или с отдельными приводами 5 вращения. Движение приводов осуществляет электродвигатель 6 через редуктор, который соединен с общим валом 7, закрепленным по длине и на концах при помощи подшипниковых опор 8, 10, 11. Дви-

жение осуществляется за счет шестеренчатой передачи 9. Элементы объемной формы 1 могут быть выполнены высотой, меньшей высоты стержня 2, или же нет ограничений, чтобы заполнить элементы на всю высоту направляющей 2. Их форма будет различаться и подбираться в зависимости от дизайна проекта. Для регионов с высокой солнечной активностью автор предлагает наносить на поверхность элементов светоотражающую фольгу и регулировать скорость вращения элементов. Это позволит не только контролировать температуру в помещении, но и вентилировать облицовочную поверхность во избежание застойных зон и парникового эффекта. Это отличительная особенность и преимущество данной конструкции.

Еще один патент также рассказывает про энергоэффективную систему. Динамический энергосберегающий фасад с изменяемыми свойствами (RU 2 710 157 C1) [10] предлагается устраивать на стене из традиционных материалов 1 со слоем эффективного утеплителя 2, ветрогидрозащитной мембраной 3 и воздушным зазором 4, между слоем мембраны 3 и декоративным покрытием 5 (рис. 5). Наружный слой 5 предлагается выполнить из треугольных призм 6, боковые грани 7, 8, 9 которых имеют возможность синхронно поворачиваться вокруг своей оси и выполнены из разных материалов. Первая грань 7 выполняется в виде вакуумированного стеклопакета толщиной 6–8 мм с вакуумом $10^{-3} - 10^{-4}$ мм рт. ст. и с селективным покрытием на внутренней поверхности стекла с излучательной способностью $\varepsilon = 0,10 - 0,20$, грани 8 и 9 также имеют на внутренних поверхностях селективное покрытие с коэффициентом поглощения $\alpha = 0,80 - 0,95$ и излучательной способностью $\varepsilon = 0,10 - 0,20$. При этом вторая грань 8 на внешней стороне имеет покрытие с коэффициентом отражения $\rho = 0,85 - 0,90$, а третья грань 9 на внешней стороне имеет пленочную солнечную батарею 10. Также на призме 6 предусмотрены верхние и нижние заглушки 11 и 12. Нижние заглушки имеют втулки 13, установленные в отверстия 14 горизонтального короба 15 и имеющие на конце ведомую шестерню 16. Ведомая шестерня взаимодействует с ведущей шестерней 17 механизма поворота конструкции. В механизм поворота также входит составной вал 18, соединенный через редуктор 19 с шаговым двигателем 20, который располагается на стойках 21. Заглушки 12 выходят своими полыми патрубками 22 в герметичный короб 23 для сбора нагреваемого воздуха, имеющий канал с приточным клапаном 24, выходящим на внутреннюю грань стены 1.

Воздух в призмы поступает через отверстия 25, нагревается и попадает через полые патрубки 22 в герметичный верхний короб 23 и через приточный клапан 24 попадает в помещение. Для работы динамического фасада в автономном режиме используется контроллер 25 для преобразования солнечной энергии в электрическую, аккумуляторная батарея 26 и инвертор 27 для преобразования постоянного электрического тока в переменный. В результате обеспечиваются высокие теплозащитные характеристики наружных стен здания с возможностью их регулирования при изменении условий эксплуатации с одновременным снижением затрат на отопление и вентиляцию.

А вот следующая декоративная объемная панель (RU 2 208 521 C2) [11] не является энергоэффективной. Она состоит из пустотелого корпуса 1, лицевой стороны 2, выполненной из прозрачного материала, источника освещения 3, нагрева 4, охлаждения 5 и системы регулирования тепловых потоков 6, располагаемых внутри панели (рис. 6). Помимо этих составляющих, внутри элемента предлагается разместить изобразительно-смысловую композицию из букв, символов, силуэтов и орнаментов, которая изготовлена из сплавов с эффектом памяти формы (ЭПФ) в виде полос, проволоки, спиралей и т.д. В результате в момент работы конструкции под воздействием системы нагрева и охлаждения композиция начнет двигаться по заданному алгоритму и менять свой первоначальный вид.

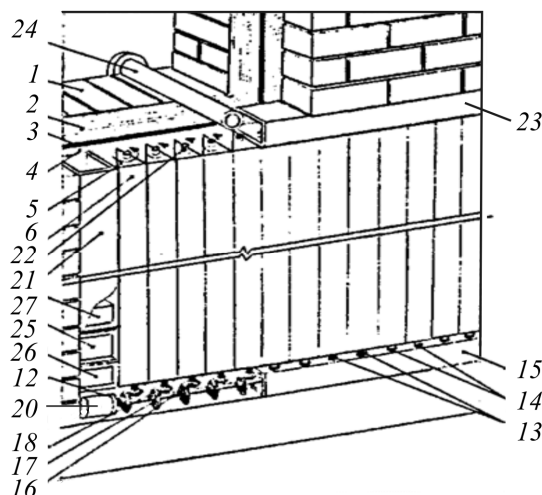


Рис. 5. Схема устройства динамического энергосберегающего фасада с изменяемыми свойствами (патент № 2 710 157): 1 – стена с внутренним слоем из традиционных стеновых материалов, 2 – эффективный утеплитель, 3 – ветрогидрозащитная мембрана, 4 – воздушный зазор, 5 – динамический слой, 6 – треугольные поворотные призмы, 7 – грань призмы в виде вакуумированного стеклопакета, 8 – грань с определенным коэффициентом отражения, 9 – грань с пленочной солнечной батареей 10, 11 и 12 – верхние и нижние заглушки соответственно, 13 – втулки, 14 – посадочные отверстия, 15 – горизонтальный короб, 16 – ведомая шестерня, 17 – ведущая шестерня, 18 – составной вал, 19 – редуктор, 20 – шаговый двигатель, 21 – стойки, 22 – полые патрубки, 23 – верхний короб, 24 – канал с приточным клапаном, 25 – контроллер, 26 – аккумуляторная батарея, 27 – инвентарь

Fig. 5. Sketch of the execution of the dynamic energy-saving facade with changeable properties (patent № 2 710 157): 1 – a wall with an inner layer of traditional wall materials, 2 – an effective insulation, 3 – a wind-hydro-protective membrane, 4 – an air gap, 5 – a dynamic layer, 6 – triangular rotating prisms, 7 – a prism face in the form of a vacuumed double-glazed window, 8 – a face with a certain reflection coefficient, 9 – the face with a film solar battery 10, 11 and 12 – upper and lower plugs, respectively, 13 – bushings, 14 – landing holes, 15 – horizontal box, 16 – driven gear, 17 – driving gear, 18 – composite shaft, 19 – gearbox, 20 – stepper motor, 21 – racks, 22 – hollow pipes, 23 – upper box, 24 – channel with supply valve, 25 – controller, 26 – battery, 27 – inventory

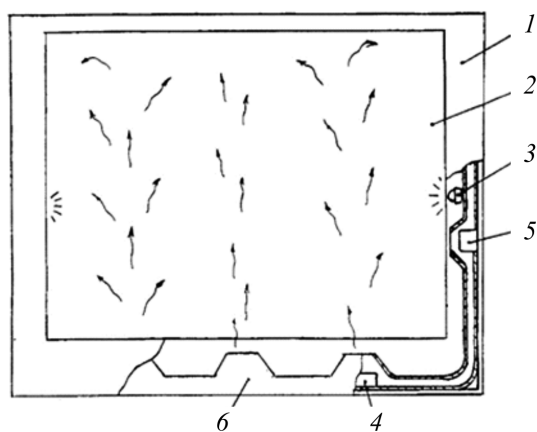


Рис. 6. Схема устройства декоративной панели кинетического фасада (патент № 2 208 521): 1 – пустотелый корпус, 2 – лицевая сторона, 3 – источник освещения, 4 – источник нагрева, 5 – источник охлаждения, 6 – система регулирования тепловых потоков

Fig. 6. Sketch of the execution of the decorative panel of the kinetic façade (patent № 2 208 521): 1 – hollow body, 2 – front side, 3 – lighting source, 4 – heating source, 5 – cooling source, 6 – heat flow control system

Последний из рассмотренных патентов – система для кинетической стенки (System for Kinetic Wall K.R. 1020270510000) [12] (рис. 7). Она состоит из двух фиксирующих элементов 2: вертикального 21 для крепления конструкции к стене и горизонтального 22 для соединения вертикально элемента 21 и опорной части 3. Опорная часть 3 посредством крепежей образует со встряхивающим длинноразмерным элементом 4 встряхивающий фиксирующий узел. В движение приходит встряхивающая часть конструкции благодаря ветровым потокам или магнитному полю, которое создается при помощи блока коммутации 5. Ограничивает амплитуду элемента также магнитное поле, созданное блоком 5. В результате создается кинетическая стенка, состоящая из множества элементов, движение которых может осуществляться по заданному алгоритму. Конструкция значительно отличается от предложенных ранее решений, так как в движении фасада принимают участие не только воздушные потоки, но и магнитное поле, что до этого не встречалось ни в одной технологии.

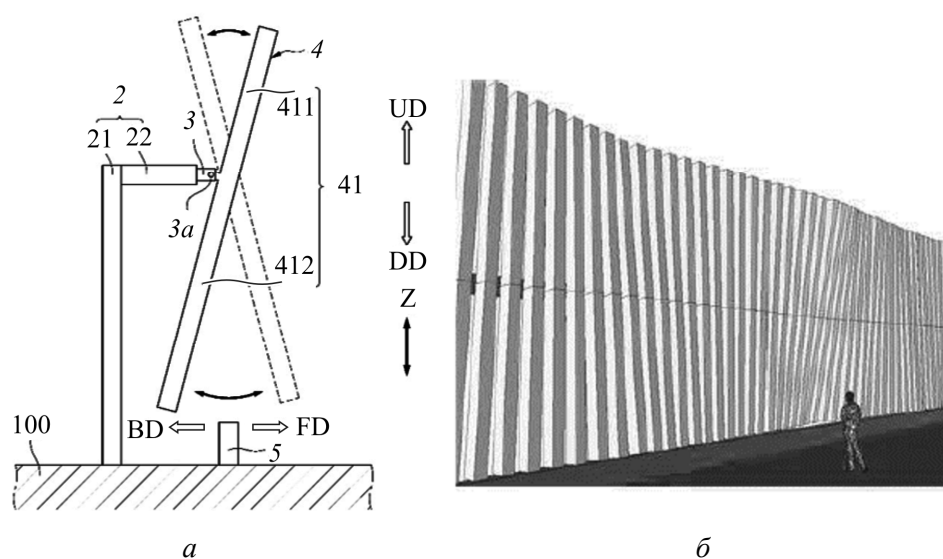


Рис. 7. Схема устройства системы для кинетической стенки (patent № 1020270510000): а – схема движения элементов фасада, б – общий вид кинетического фасада; 1 – система для кинетической стенки, 2 – фиксирующие элементы, 3 – опорная часть, 4 – длинноразмерный элемент, 5 – блок коммутации
Fig. 7. Sketch of the execution of the system for Kinetic Wall (patent no. 1020270510000): а – scheme of movement of elements of the facade, б – general view of the kinetic facade; 1 – kinetic wall system, 2 – fixing elements, 3 – support part, 4 – long element, 5 – switching unit

Сравнение предлагаемых патентных решений

Движущаяся архитектура – привлекательное направление, которое в теории имеет множество преимуществ, но в реальности сталкивается с множеством проблем, которые влияют на реализацию проектов [13]. Среди них встречаются такие, как стоимость строительства и увеличение его сроков из-за сложности решений, недостаток специалистов по ремонту и эксплуатации, невозможность использования некоторых конструкций в регионах с неблагоприятным климатом, шум при эксплуатации, отсутствие нормативных документов на проектирование, сомнительная энергоэффективность и, конечно, стоимость затрат на движение фасада. Две последние составляющие не такие очевидные, так как трудности с ними возникают в процессе эксплуатации объекта.

Поэтому все объекты кинетической архитектуры с динамическими фасадами предлагается условно разделять на несколько групп по некоторым признакам.

Первый признак – что приводит в движение фасад – силы природы или механика [14]. Если это силы природы, то затрачивать дополнительную энергию на эксплуатацию фасада не нужно. Как правило, такие конструкции движутся за счет ветра. Но если в движение фасад приводит механика, т.е. электропривод или человек, то расходы на эксплуатацию могут значительно увеличиваться. Встанет вопрос, нужен ли тот самый уникальный движущийся фасад, который требует дополнительных средств на свою эксплуатацию.

Второй признак – это энергоэффективность системы. Система бывает энергоэффективной и неэнергоэффективной. Что касается последней, то здесь все просто: фасад тратит ресурсы на движение и выполняет только декоративную функцию. В энергоэффективной системе фасад либо контролирует микроклимат помещения, либо преобразует природную энергию в электрическую для внутридомовых нужд.

Инсоляцию и аэрацию воздуха у обычных архитектурных объектов, как правило, контролируют при помощи кондиционеров и жалюзи на окнах. Кондиционеры поддерживают заданную температуру воздуха в помещении, а жалюзи контролируют количество солнечных лучей, попадающих в комнату и нагревающих ее.

А вот дополнительную энергию на внутридомовые нужды можно получать от солнечного света (солнечные батареи), водных потоков и приливов (как правило, гидроэлектростанции), ветра (ветрогенераторы), биотоплива из растительного или животного сырья, геотермальной теплоты из недр Земли (энергоэффективные сваи). Из предложенных решений стоит рассматривать солнечные батареи и ветрогенераторы, так как их можно установить на крыше дома или на придомовой территории, и геотермальные сваи, но их нужно предусматривать на этапе проектирования здания в качестве фундамента объекта.

Вопрос контроля микроклимата помещений в России не так актуален, как за рубежом, в связи с тем, что среднесуточные температуры в нашем регионе летом не такие большие. А вот устройство преобразователей энергии – аспект важный для нашего времени.

Рассмотренные запатентованные решения проанализированы по вышеизложенным характеристикам, результаты приведены в таблице.

Сравнение предлагаемых патентных решений
 Comparison of proposed patent solutions

Название и номер патента на изобретение / полезную модель	Что приводит в движение	Система энергоэффективная / неэнергоэффективная	Наличие преобразователей энергии
Кинетический фасад п.м. № 179762	Силы природы – ветер	Неэнергоэффективная	Нет
Модуль кинетического фасада п. м. № 177234	Силы природы – ветер	Неэнергоэффективная	Нет
Декоративная динамическая панель п.м. № 113996	Силы природы – ветер	Неэнергоэффективная	Нет
Динамическая панель п.м. № 197789	Привод, система приводов, электродвигатель	Энергоэффективная (контроль микроклимата помещения, вентиляция декоративной поверхности)	Нет
Динамический энергосберегающий фасад с изменяемыми свойствами № 2 710 157	Двигатель	Энергоэффективная	Да (пленочная солнечная батарея)
Декоративная объемная панель № 2 208 521	Система регулирования тепловых потоков, источник нагрева и охлаждения	Неэнергоэффективная	Нет
Система для кинетической стенки System for Kinetic Wall № 1020270510000	Силы природы – ветер, блок переключения – магнитное поле	Неэнергоэффективная	Нет

Выводы

Выигрышным при разработке кинетической фасадной системы будет следующее направление: фасад в движение должны приводить силы природы, в частности воздушный поток, при этом система должна быть энергоэффективной и конструкция должна содержать преобразователи энергии.

В заключение стоит отметить, что один из первых проектов кинетической архитектуры был предложен Владимиром Ефграфовичем Татлином в 1920 г. [15]. Башня III Интернационала должна была быть построена в Ленинграде, но проект так и не был реализован. На сегодняшний день за рубежом появляется все больше таких зданий и сооружений, а в России до сих пор нет ни одного.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Библиографический список

1. Кашина И.В., Забейворота В., Симакова А. Интерактивное движение в кинетической архитектуре // Строительство и техногенная безопасность. – 2017. – № 9 (61). – С. 37–46.
2. Arhitime: сайт. – URL: https://architime.ru/specarch/hok_/mercedes_benz_stadium.htm#0.GIF (дата обращения: 13.04.2022).
3. Amphibianarc: сайт. – URL: <https://amphibianarc.com/projects/zoomlion-exhibition-center/> (дата обращения: 13.04.2022).
4. Кашина И.В., Забейворота В., Симакова А. Исследование причин использования кинетической архитектуры в современном мегаполисе // Строительство и техногенная безопасность. – 2017. – № 8 (60). – С. 15–21.
5. Asefi M. Transformable and Kinetic Architectural Structures, VDM Verlag Dr. Müller, Germany, 2010. – P. 150–155.
6. Кинетический фасад: пат. Рос. Федерация / Кузнецов А.Н. – № 179762; заявл. 14.03.2018; опубл. 23.05.2018. – 9 с.
7. Модуль кинетического фасада: пат. Рос. Федерация / Ким О.Р. – № 177234; заявл. 05.04.2017; опубл. 14.02.2018. – 1 с.
8. Декоративная динамическая панель: пат. Рос. Федерация / Телятников А.В. – № 113996; заявл. 10.10.2011; опубл. 10.03.2012. – 12 с.
9. Динамическая панель: пат. Рос. Федерация / Малицкая М.Е. – № 197789; заявл. 24.01.2020; опубл. 28.05.2020. – 1 с.
10. Динамический энергосберегающий фасад с изменяемыми свойствами: пат. Рос. Федерация / Плотникова С.В. – № 2 710 157; заявл. 16.04.2019; опубл. 24.12.2019. – 16 с.
11. Декоративная объемная панель: пат. Рос. Федерация / Гришков В.Н. – № 2 208 521; заявл. 21.05.2001; опубл. 20.07.2003. – 6 с.
12. System for Kinetic Wall: patent of the Korean department / Shin-Hee L., Jeong-Tae J., Sohn R. – K.R. No. 1020270510000. – 2019.
13. Муратова В.А., Козловский С.А. Архитектурное движение среды // Современные тенденции в строительстве. Теория и практика. – Пермь, 2021. – С. 62–67.

14. Богданов О.В., Лузина Ю.Л., Филатова Ю.Д. Кинетическая архитектура – архитектура движения // Тенденции развития науки и образования. – 2017. – № 22–4. – С. 30–31.

15. Владимир Татлин. Ретроспектива: Выставка / М-во культуры Рос. Федерации; Кунстхалле Дюссельдорфа; сост. Анатолий Стригалеv и Юрген Хартен. – Köln: DuMont, 1994. – 415 с.

References

1. Kashin I.V., Zabeivorota V., Simakova A. Interaktivnoe dvizhenie v kineticheskoy arkhitekture [Interactive motion in the kinetic architecture]. *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'*, 2017, no 9 (61), pp. 37-46.

2. Arhitime: available at: https://architime.ru/specarch/hok_/mercedes_benz_stadium.htm#0.GIF (accessed 13 April 2022).

3. Amphibianarc: available at: <https://amphibianarc.com/projects/zoomlion-exhibition-center/> (accessed 13 April 2022).

4. Kashin I.V., Zabeivorota V., Simakova A. Issledovanie prichin ispol'zovaniya kineticheskoy arkhitektury v sovremennom megapolise [Investigation of reasons for use of kinetic architecture in modern megapolis]. *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'*, 2017, no 8 (60), pp. 15-21.

5. Asefi M. Transformable and Kinetic Architectural Structures, VDM Verlag Dr. Müller, Germany, 2010, pp. 150-155.

6. Kuznetsov A.N. Kineticheskiy fasad [Kinetic facade]. Patent Rossiiskaia Federatsiia No. 179762 (2018).

7. Kim O.R. Modul kineticheskogo fasada [Kinetic facade module]. Patent Rossiiskaia Federatsiia No. 177234 (2018).

8. Telyatnikov A.V. Dekorativnaya dinamicheskaya panel [Decorative dynamic panel]. Patent Rossiiskaia Federatsiia No. 113996 (2012).

9. Malitskaya M.E. Dinamicheskaya panel [Dynamic panel]. Patent Rossiiskaia Federatsiia No. 197789 (2020).

10. Plotnikova C.V. Dinamicheskii energosberegayushchiy fasad s izmenyayemymi svoystvami [Dynamic energy-saving facade with changeable properties]. Patent Rossiiskaia Federatsiia No. 2 710 157 (2019).

11. Grishkov V.N. Dekorativnaya obyemnaya panel [Decorative volume panel]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2 208 521 (2003).

12. System for Kinetic Wall: patent of the Korean department / Shin-Hee L., Jeong-Tae J., Sohn R. K.R. no. 1020270510000 (2019).

13. Muratova V.A., Kozlovskiy S.A. Arkhitekturnoye dvizheniye sredy [Architectural movement in the environment]. *Sovremennyye tendentsii v stroitel'stve. Teoriya i praktika*, Perm, 2021, pp. 62-67.

14. Bogdanov O.V., Luzina Yu. L., Filatova Yu.D. Kineticheskaya arkhitektura – arkhitektura dvizheniya [Kinetic architecture – architecture of motion]. *Trends in the development of science and education*, 2017, no. 22-4, pp. 30-31.

15. Vladimir Tatlin. Retrospective: Exhibition / Ministry of Culture of the Russian Federation; Kunsthalle Duesseldorf; Anatoly Strigalev and Jurgen Harten. Köln: DuMont, 1994, 415 p.