

АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Научная статья

УДК/UDC 621.311.243:727.012:001.89

DOI: 10.24412/1998-4839-2023-2-115-129

**Особенности интеграции фотоэлектрических установок в архитектуру зданий
(на примере научно-производственных комплексов)****Ирина Олеговна Николаева¹**Московский архитектурный институт (государственная академия), Москва, Россия
i.nikolaeva@markhi.ru

Аннотация. В статье рассматриваются приемы внедрения фотоэлектрических установок (ФЭУ) в архитектуру на примерах существующих научно-производственных зданий и комплексов. Определяется, что при интеграции фотоэлектрических элементов в архитектурные объекты важно учитывать инженерные и функциональные особенности зданий, а также возможности ФЭУ в формировании композиционной выразительности и эстетической привлекательности проектируемого объекта. Выявляются виды интеграции фотоэлектрических установок в энергоактивные здания и предлагается последовательность этапов принятия решений по выбору проектного варианта.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, солнечная энергетика, фотоэлектрическая установка, энергоактивное здание, научно-производственный объект, интегрирование фотоэлектрических систем в архитектуру, алгоритм проектирования

Для цитирования: Николаева И.О. Особенности интеграции фотоэлектрических установок в архитектуру зданий (на примере научно-производственных комплексов) // Architecture and Modern Information Technologies. 2023. №2(63). С. 115-129.

URL: https://marhi.ru/AMIT/2023/2kvart23/PDF/07_nikolaeva.pdf DOI: 10.24412/1998-4839-2023-2-115-129

ARCHITECTURE OF BUILDINGS AND STRUCTURES

Original article

**Features of the integration of photovoltaic systems into the
architecture of buildings
(on the example of research, development, and production facilities)****Irina O. Nikolaeva¹**Moscow Architectural Institute (State Academy), Moscow, Russia
i.nikolaeva@markhi.ru

Abstract. The article discusses the methods of the introducing of photovoltaic (PV) systems in architecture on the examples of research, development, and production buildings and complexes. It is determined that when integrating photovoltaic elements into architectural objects, it is important to take into account the engineering and functional features of buildings, as well as the possibilities of PV systems in the formation of compositional expressiveness and aesthetic appeal of the designed object. The types of integration of solar photovoltaic systems into energy-active buildings are identified and a sequence of decision-making stages is proposed for choosing a design option.

¹ © Николаева И.О., 2023

Keywords: renewable energy sources, solar energy, photovoltaic panel, PVP, energy-active building, research and production facility, integration of photovoltaic systems into architecture, design algorithm.

For citation: Nikolaeva I.O. Features of the integration of photovoltaic systems into the architecture of buildings (on the example of research, development, and production facilities). *Architecture and Modern Information Technologies*, 2023, no. 2(63), pp. 115-129. Available at: https://marhi.ru/AMIT/2023/2kvart23/PDF/07_nikolaeva.pdf DOI: 10.24412/1998-4839-2023-2-115-129

Введение

Обеспечение экономической, энергетической и экологической безопасности нашей страны является основой её развития. Реализация технологического прорыва и преодоления вызовов ближайших десятилетий² потребует усиления энергетической отрасли, в том числе энергетической эффективности производств. Одновременно в приоритеты государства входит переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике³. Поэтому задача нашего поколения – поиск путей гармоничного экосистемного развития в указанных областях деятельности общества.

Географические, а, следовательно, и климатические характеристики России сильно дифференцированы, благодаря чему возможно широкое использование технологий производства энергии на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Наиболее перспективным с точки зрения внедрения технологических новшеств «зеленой» энергетики представляются здания и комплексы научно-производственного назначения. В статье рассматриваются приёмы интеграции фотоэлектрических установок в архитектуру на примере этого типа архитектурных объектов. Научно-производственные комплексы как связующее звено между научными исследованиями и производством, в том числе альтернативной энергии, обеспечивают условия для наращивания инновационной деятельности, усиливая связь «между фундаментальной наукой и техническими разработками» [1, с.73; 2; 16].

О перспективах развития солнечной энергетики в России

Под возобновляемыми источниками энергии принято считать энергию солнца, ветра, воды, геотермальных источников. В классическом понимании научного сообщества перечисленные виды являются производными от трех первичных возобновляемых источников энергии: «солнечного излучения, тепловой энергии ядра Земли и энергии орбитального движения Земли» [3, с.13; 4, с.11].

Теоретически, Солнце является неисчерпаемым источником энергии для нашей планеты, который может многократно обеспечить потребность человечества в энергии [4, 8, 11]. По данным ЦДУ ТЭК⁴, в течение трех дней поступающий на территорию России объем солнечной энергии превышает всю произведенную электроэнергию в стране за целый год.

² Распоряжение Правительства РФ от 20 мая 2023 г. № 1315-р Об утверждении Концепции технологического развития на период до 2030 г. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/406831204/> (дата обращения 31.05.2023).

³ Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года / Министерство энергетики РФ. URL: <http://static.government.ru/media/files/w4sigFOiDjGVDYT4lgsApssm6mZRb7wx.pdf> (дата обращения 11.04.2023).

⁴ Центральное диспетчерское управление топливно-энергетического комплекса – филиал ФГБУ «РЭА» Минэнерго России, обеспечивающий сбор и публикацию информационно-аналитических материалов, включающих статистические данные о работе топливно-энергетического комплекса Российской Федерации.

Текущие показатели обуславливаются географическим положением России – основная часть территории расположена между 50° и 70° северной широты, а уровень солнечной радиации в сутки варьируется от 1,5 кВт×ч/м² в северных районах до 5 кВт×ч/м² в южных и юго-восточных районах⁵. Приведенный статистический материал показывает огромный потенциал солнечной энергии, но при одном условии – вся территория страны должна быть покрыта фотоэлектрическими устройствами, воспринимающими энергию Солнца. Несмотря на столь неутешительное, на первый взгляд, объективное условие, количество потребляемой энергии от солнечной радиации может быть многократно увеличено, чем есть на данный момент – доля гелиоэнергетики в общем производстве электроэнергии в России составляет менее 1%⁶. Достаточным солнечным ресурсом обладают не только юго-западные регионы Азовского, Каспийского и Черного морей, но и Южная Сибирь, Дальний Восток. Перспективными территориями для развития солнечной энергетики являются Астраханская, Ростовская, Оренбургская, Волгоградская, Республика Калмыкия, Адыгея, Алтай и Бурятия.

Архитектура энергоактивных зданий: использование систем гелиоэнергетики в архитектурных объектах

Впервые в докладе Международной комиссии по окружающей среде и развитию (МКОСР) в 1985 году, а также в Программе ООН по окружающей среде (ЮНЕП) был сделан особый акцент на необходимости уменьшения негативного воздействия человека на природную среду и взятии курса на устойчивое развитие общества. Глобальные экологические тренды повлияли на подходы к проектированию, строительству и архитектурному образованию [5, 6]. Стали появляться новые концепции архитектурных объектов с максимально эффективным использованием ресурсов, снижением отрицательного воздействия на окружающую среду, нулевому энергопотреблению. Вопросы использования систем ВИЭ в архитектурно-художественной композиции, экологизации архитектурных решений рассматриваются в экспериментальном учебном проектировании, что демонстрирует заинтересованность в решении задач устойчивого развития [7].

В 1988 году ряд ученых, в их числе Н.П. Селиванов, ввели понятие энергоактивное здание, которое определяется как архитектурный объект, характеризующийся комплексным объемно-планировочным и инженерным решением, обеспечивающим сбор, преобразование и распределение энергии возобновляемых источников «во внутренней или внешней энергосистеме», что гарантировало «энергетическую экономичность здания» [9, с.59]. Теоретические разработки были поддержаны реализацией проектов, открывших новые области развития энергетики и архитектуры: гелиокомплексы, ветроэнергоактивные и солнечные энергоактивные здания и комплексы.

Научно-производственный гелиокомплекс «Солнце», расположенный в 45 км от Ташкента, был спроектирован ещё во времена СССР и открыт в 1987 году (рис. 1а). Он включал в себя несколько производственных и лабораторных зданий, административный корпус, а также объекты, поддерживающие технологический процесс: башня и концентратор, гелиостатное поле. Перед авторским коллективом (под руководством архитектора В.В. Захарова) была поставлена задача создать комплекс, где будут проводиться «исследования в области высокотемпературной технологии с использованием концентрированной солнечной энергии» [9, с.213–214].

В настоящий момент в России широко распространены солнечные фотоэлектрические станции (СЭС) (рис. 1б). Этот вид электростанций имеет определенные ограничения, связанные с их расположением и конфигурацией в пространстве. Часто под расположения СЭС отводятся ценные земли, для налаживания инфраструктуры и обустройства которых

⁵ Национальный атлас России в четырех томах [Карты] / гл. редкол.: А.В. Бородко (пред.), В.В. Свешников (гл. ред.) и др. Москва: Роскартография, 2004–2008. 4 т.

⁶ Ежеквартальный информационный обзор рынка ВИЭ в России IV квартал (октябрь – декабрь) 2022. URL: <https://rreda.ru/information-obzor-october-december-2022> (дата обращения 11.04.2023).

требуются большие капиталовложения [10, с.261; 19]. Между тем, архитектурная среда научно-производственных и промышленных комплексов позволяет разместить объекты альтернативной энергетики на землях, отведенных под промышленное использование, а главное – применять их в качестве ограждающих конструкций зданий (фасады, кровли, навесы) в пределах городской застройки, в непосредственной близости от потребителей электроэнергии и без отчуждения дополнительных земельных ресурсов. Это особенно актуально для развитых стран с высокой плотностью населения и дефицитом свободных территорий [10, 12].



а)

б)

Рис. 1. Примеры объектов гелиоэнергетики: а) гелиокомплекс «Солнце» в посёлке Чангихисарак, Узбекистан; б) Новопереволоцкая солнечная электростанция, Оренбургская область, Россия

Известно, что существует несколько способов преобразования солнечной энергии в электричество, а именно *непосредственный* – фотоэлектрический, когда осуществляется прямое преобразование солнечного света в электричество, и *опосредованный* или *гелиотермический* – термодинамическое преобразование, т.е. получение электрической энергии путем промежуточного преобразования в тепловую энергию [11]. Гелиотермический способ преобразования солнечной энергии в электрическую является чисто технологическим, требует строительства довольно громоздких инженерных сооружений и далее в статье не рассматривается.

Определение способа преобразования солнечного излучения в электричество напрямую влияет не только на объемно-пространственную композицию энергоактивного архитектурного объекта, но и на процесс его проектирования, поскольку монтажная плоскость, вид фотоэлектрических панелей, их декоративные характеристики, дополнительный функционал и т.д. – всё это находится во взаимосвязи друг с другом. В фотоэлектрических системах преобразования солнечной энергии в электричество основным рабочим элементом является фотоэлектрическая панель. Проблема выбора способа интеграции фотоэлектрических установок в архитектуру представлена в большом количестве исследований [1, 5, 7, 10, 15, 17, 18]. Сформулируем ниже примерную последовательность действий и порядок принятия решений в совместной работе архитектора и инженера на примере внедрения фотоэлектрических установок в архитектуру зданий научно-производственного назначения. Выведем за скобки неоднозначность мнений об экономической составляющей и энергетической эффективности принимаемого решения и проследим за факторами, влияющими на принятие решения относительно видов фотоэлектрических установок и типов их интеграции в архитектурную композицию здания производственного назначения.

Степень выраженности фотоэлектрических установок. Поиск оптимального варианта устройства фотоэлектрических систем в архитектуре здания начинается с определения

такого параметра как *степень выраженности*. В зависимости от композиционных задач, стоящих перед архитектором, выбор конфигурации фотоэлектрической системы и места монтажа непосредственно влияет на процесс комплексного проектирования. Под степенью выраженности подразумевается характер монтажа солнечных модулей – будут ли они видимы или скрыты, что зависит от поставленных проектных задач. Например, являются ли фотоэлектрические панели частью архитектурно-художественного решения, визуально воспринимаемого человеком. В проекте испытательного центра CARB⁷ (рис. 2а) солнечные панели располагаются по всей поверхности крыши и занимают площадь около 19 036 м² при этом никак не влияют на архитектурное решение комплекса. Следующий пример иллюстрирует иное применение систем солнечной генерации – конфигурация фасада научно-производственного корпуса M10 Solar Campus спроектирована с учетом оптимального угла, необходимого для размещения фотоэлектрических панелей общей производительностью 81 кВт×ч, которые не только вырабатывают электроэнергию, но и выполняют функцию теневых навесов, формируют характерный силуэт (рис. 2б). Соответственно, в зависимости от степени визуальной выраженности, можем выделить два вида систем фотоэлектрических установок: *скрытые* и *видимые*.



Рис. 2. Научно-производственные комплексы. Различная *степень выраженности* фотоэлектрической системы: а) *скрытая система*. Испытательный центр CARB; б) *видимая система*. Научно-производственный корпус M10 Solar Campus

Интегрированные и установленные фотоэлектрические системы. Следующим этапом является определение подходящего варианта из возможных способов монтажа фотоэлектрических систем в ограждающие конструкции архитектурного объекта. На сегодняшний день существует два варианта, описывающие наиболее распространенные технологии их установки. Первый способ предлагает устройство *интегрированных фотоэлектрических элементов*⁸ (далее – ИФЭ). В этом случае фотоэлектрические системы, помимо основного своего назначения, приобретают не свойственные им конструктивные функции, являясь ограждающими или несущими конструкциями здания. Комплектация ИФЭ характеризуется изменяемыми параметрами, такими как цвет, прозрачность (коэффициент светопропускания), схема раскладки элементов системы – всё это предоставляет архитектору палитру композиционных решений при проектировании объекта. Поэтому, когда есть желание архитектора обогатить образ проектируемого здания за счет выразительности инженерных систем, являющихся неотъемлемой частью архитектурной формы, то целесообразно использовать ИФЭ, а не традиционные солнечные панели, устанавливаемые на дополнительные конструкции и нередко нарушающие образно-художественную концепцию архитектурной композиции

⁷ CARB (англ.) – California Air Resources Board.

⁸ ИФЭ – интегрированные фотоэлектрические элементы, что соответствует принятой международной (англоязычной) терминологии Building Integrated Photovoltaics (BIPV).

проектируемого объекта [10,13,14,15,17]. В лабораторном корпусе Hemlock Semiconductor Building (рис. 3а), предназначенном для симуляции различных технологических и химических процессов, системы генерации солнечной энергии интегрированы в скатную крышу. Такое решение было принято с целью создать характерное очертание здания, подстраивающегося под исторический контекст, и обеспечить полную энергонезависимость объекта от городской сети. Архитектуру комплекса дополняет башня с солнечными часами, состоящая из стальных двутавровых балок и облицованная солнечными панелями для дополнительного энергоснабжения. Фотоэлектрическая система научно-исследовательского института промышленных технологий ITRI⁹ (рис. 3б), ключевое звено Центрального тайваньского парка инноваций и исследований, имеет мощность 140 кВт, закрывает потребности в энергии и обеспечивает автономность энергосистемы здания.



а)



б)

Рис. 3. Интегрированные фотоэлектрические элементы (ИФЭ): а) лабораторный корпус Hemlock Semiconductor Building; б) научно-исследовательский институт промышленных технологий ITRI

Однако в большинстве случаев фотоэлектрические элементы являются *установленными фотоэлектрическими элементами*¹⁰ (далее – УФЭ). Они представляют собой самостоятельные системы, которые адаптируются под архитектурное решение и размещаются на ограждающие конструкции здания посредством крепежных деталей. УФЭ могут быть смонтированы в любой момент строительства здания или после его завершения в соответствии с проектным решением архитектора. В технологическом комплексе Innovation Curve, Стэнфордского исследовательского парка, солнечные панели спроектированы по системе УФЭ на поверхности крыши всех четырех зданий, входящих в комплекс (рис. 4).

Следовательно, конкретный ответ на вопрос выбора между интегрированными или установленными фотоэлектрическими системами исходит из первоначальных задач, которые ставят перед собой архитекторы и инженеры. В любом случае, независимо от типа системы, фотоэлектрические элементы являются эффективным решением при использовании доступной поверхности для преобразования солнечной энергии в электроэнергию, а также могут влиять на образную составляющую архитектурного объекта или быть нейтральными по отношению к ней.

⁹ ITRI (англ.) – Industrial Technology Research Institute.

¹⁰ УФЭ – установленные фотоэлектрические элементы, что соответствует принятой международной (англоязычной) терминологии Building Applied Photovoltaics (BAPV).



Рис. 4. Технологический комплекс Innovation Curve, Стэнфордского исследовательского парка. Пример установленных фотоэлектрических элементов (УФЭ)

Монтажные плоскости. В обоих случаях, как для систем, установленных на ограждающие конструкции УФЭ, так и для непосредственно вмонтированных ИФЭ систем, необходимо конкретизировать и определить монтажную плоскость. Целесообразно рассмотреть следующие возможные плоскости для монтажа – горизонтальную и фронтальную (рис. 5).

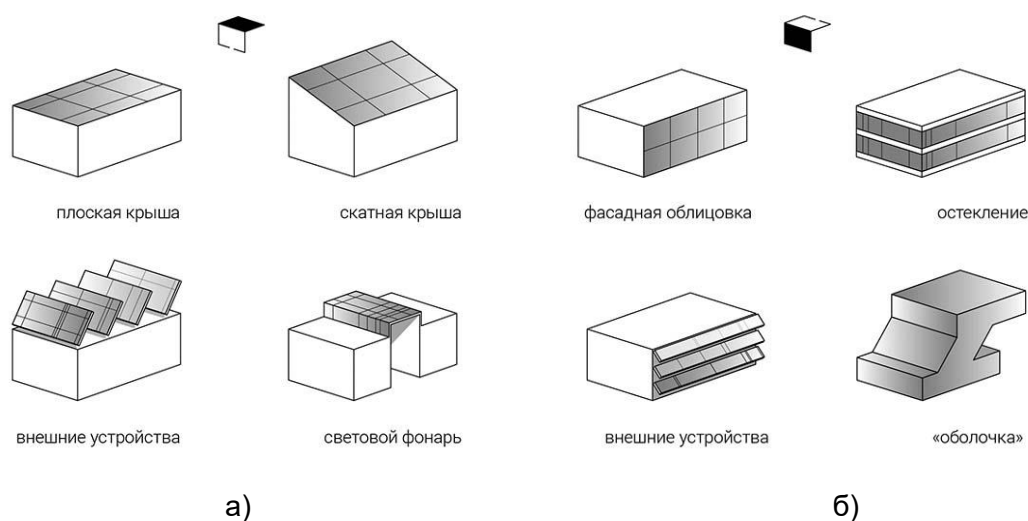


Рис. 5. Схема возможных монтажных плоскостей: а) горизонтальная; б) фронтальная

К горизонтальной монтажной плоскости можно отнести такие элементы, как плоские и скатные крыши, террасы, световые люки, затеняющие устройства, а также другие конструкции, которые подразумевают расположение в горизонтальной или близкой к горизонтальной плоскости. Возможно определить несколько вариантов установки фотоэлектрических систем в горизонтальной плоскости. Солнечные панели могут размещаться параллельно, встраиваться в плоскость монтажа, либо принимать оптимальный угол наклона, как в объекте Французского национального института солнечной энергии INES¹¹, расположенного в научно-технологическом парке Savoie

¹¹ INES (франц.) – Institut National de l'Énergie Solaire.

Technolac¹² (рис. 6). Конфигурация и расположение здания учитывает траекторию движения Солнца и оптимальную инсоляцию, а акцентная статичная конструкция на крыше имеет угол наклона 30°, что обеспечивает максимальное использование солнечной энергии. Благодаря технологии ИФЭ возможно устройство световых люков, которые обеспечат дополнительное естественное освещение и выработку электроэнергии. Например, в Центре нефтепромысловых исследований и инноваций NORI реализован световой люк, перекрывающий главный атриум и состоящий из 180 монокристаллических кремниевых фотоэлектрических панелей с пиковой мощностью всей системы 72 кВт×ч.



а)



б)

Рис. 6. Расположение фотоэлектрических панелей на дополнительных конструкциях, обеспечивающих оптимальный угол наклона для сбора энергии. Французский национальный институт солнечной энергии INES: а) вид с главного входа; б) вид с бокового фасада

Существенным недостатком применения горизонтально расположенных ФЭУ в районах с умеренным климатом и севернее является их зависимость от метеорологических условий – жидких и, особенно, твёрдых осадков. Накопление на панелях снега приводит не только к прекращению генерации ими электроэнергии, но и к механическим повреждениям. Пластиковая и даже стеклянная панель под действием веса накопившегося снега может выдавливаться из рамки, как правило – алюминиевой. Поэтому в умеренных и высоких широтах в районах с образованием зимой устойчивого снежного покрова проектирование горизонтальных ФЭУ, в том числе в составе зданий и сооружений, требует разработки специальных мероприятий по их снегоочистке, что ограничивает свободу их применения в конструктивном плане.

В городах к этой проблеме добавляется ещё проблема загрязнения поверхности ФЭУ, располагаемых в положении, близком к горизонтальному, из-за их загрязнения за счёт аэротехногенной нагрузки. При этом некоторые виды загрязнения (например – сажа, углерод аморфный) удаляются только с применением специальных моющих средств. В ветропылевых районах возникает проблема запыления поверхности горизонтальных ФЭУ, которая также требует инженерного решения.

Фронтальная монтажная плоскость включает все компоненты, которые расположены в вертикальной плоскости или близкой к таковой. При расположении солнечных элементов на фасадах здания преследуется цель не только собрать энергию, но и учесть эстетическую составляющую вертикальных ограждающих конструкций, поскольку именно фасадные плоскости имеют наибольшую степень визуальной связи с человеком. В зависимости от технологии ИФЭ или УФЭ возможна установка по системе двойного и навесного фасада. Вместе с тем, в настоящее время развиваются системы адаптивных

¹² Все подразделения научно-технологического парка Savoie Technolac работают над развитием солнечной энергетики во Франции и непосредственно реализуют новые технологии на территории комплекса и за его пределами.

солнечных фасадов¹³, которые благодаря устройствам контроля, роботизированным шарнирам способны как по горизонтали, так и по вертикали изменять положение и ориентацию фотоэлектрических панелей как бы «следя» за солнцем и ориентируя ФЭУ под оптимальным углом к солнечным лучам [18]. Система мобильных солнечных фасадных панелей разработана группой исследователей Швейцарской высшей технической школы Цюриха (ETH Zurich) под руководством А. Шлютера. Благодаря технологии машинного обучения, особенностью такой системы является не только выработка электроэнергии, обеспечение защиты от солнечных лучей и перегрева помещений, но также контроль поступления естественного света (рис. 7). Технология установки солнечных фасадных панелей характеризуется высокой степенью адаптации как в процессе строительства, так и применительно к существующим зданиям [10, с. 265].

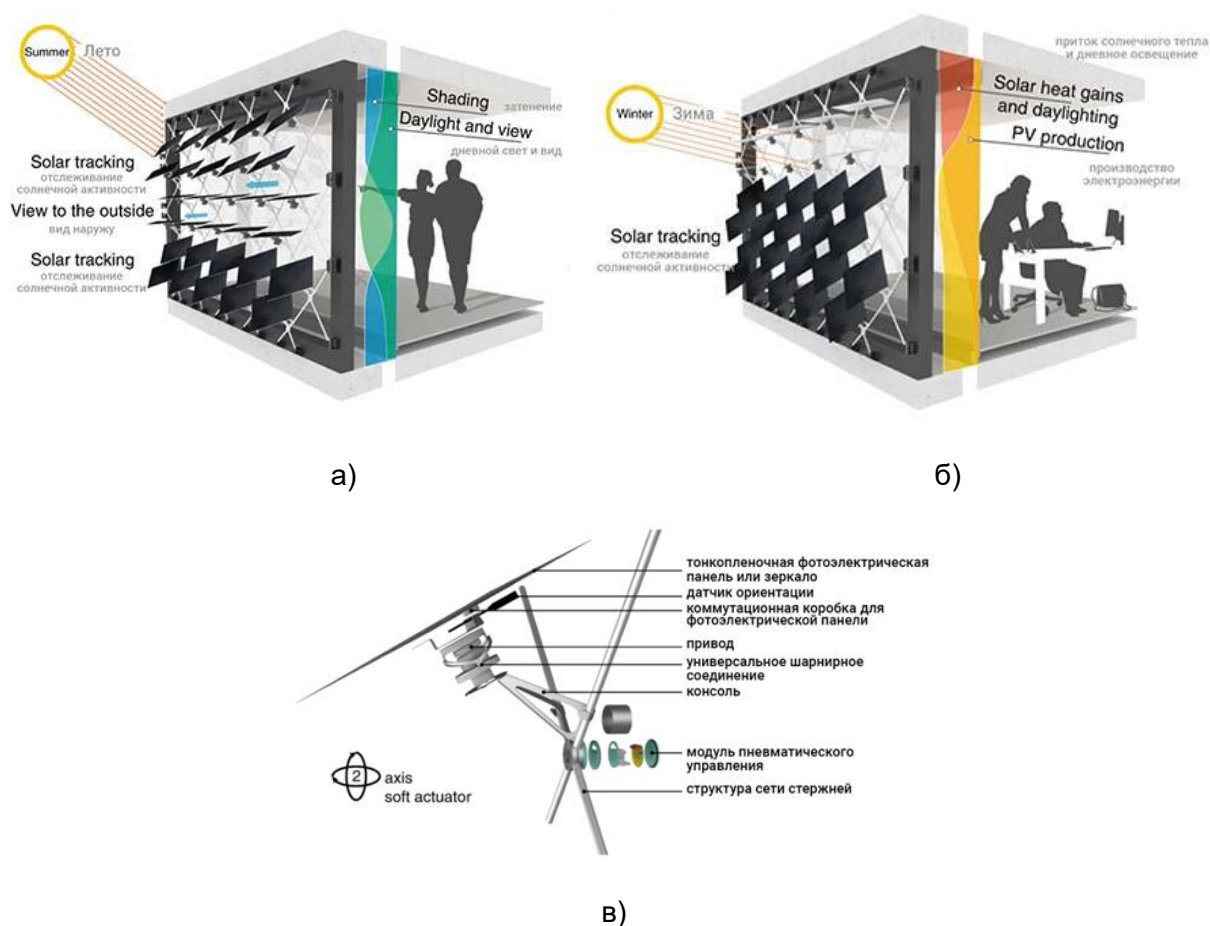


Рис. 7. Фасад выступает посредником между внутренней и внешней средой, выполняя различные функции: а) конфигурация фасада летом; б) конфигурация фасада зимой; в) модуль адаптивного солнечного фасада здания

Первый прототип, состоящий из 50 фотоэлектрических модулей, был реализован на фасаде Дома природных ресурсов, расположенного в одном из кампусов ETH Zurich. Для контроля микроклимата помещений были установлены датчики, измеряющие температуру, уровень влажности и освещенности. Еще одна экспериментальная система воплощена в демонстрационном центре HiLo NEST¹⁴, который является реализацией нескольких исследовательских проектов, выполненных студентами и преподавателями ETH Zurich в

¹³ ASF (англ.) – Adaptive Solar Facade.

¹⁴ Аббревиатура HiLo NEST состоит из двух частей, первая часть расшифровывается как High performance – Low energy и переводится: «Высокая производительность – Низкое энергопотребление». Вторая часть: Next Evolution of Sustainable building Technologies, переводится как «Следующая ступень эволюции технологий устойчивого строительства».

области архитектуры и технологий, направленных на достижение целей устойчивого развития. С целью определить характер работы модулей, адаптивные солнечные системы были установлены на южном и юго-западном фасадах здания [18]. Следующим запланированным этапом исследования является использование данных солнечных панелей при модернизации всего фасада одного из зданий кампуса ETH Zurich.

Стоит отметить, что комбинация нескольких монтажных плоскостей и непосредственно технические характеристики применяемых солнечных панелей позволяют определить *вариативность по степени светопропускания*: непрозрачные, полупрозрачные и прозрачные панели. Примером, где благодаря индивидуально разработанной системе монтажа полностью непрозрачных солнечных элементов происходит плавный переход панелей с плоскости фасада на крышу, является Технологический центр OpTIC. Фотоэлектрические панели расположены на плоскости под углом 70° к горизонтали, что необходимо для эффективной работы, а конструкция крепления обеспечивает вентиляцию, поддерживающую рабочую температуру, избегая перегрева поверхности. Общая мощность фотоэлектрической системы в 2005 году составила 67 635 кВт·ч/год.

Размещение систем солнечной генерации как на крышах, так и на фасадах распространено в равной степени. Представляется необходимым отдельно рассмотреть затеняющие конструкции, использующие фотоэлектрические системы, различная конфигурация которых создает наиболее выразительные решения при оформлении фасада, а в некоторых случаях всего архитектурного объема. Возможны решения специальных выносных конструкций, которые выполняют солнцезащитную роль, как это реализовано в Central Energy Facility Стэндфордского университета (рис. 8а). Данный объект является электростанцией, кроме того включает исследовательский центр, где наглядно демонстрируются принципы работы всей энергетической установки. Комплекс содержит пять корпусов разного функционального назначения, но их массивность сводится к минимуму благодаря конструкции, состоящей из фотоэлектрических модулей, которая объединяет несколько объемов в единую композицию, создавая запоминающийся силуэт, обеспечивает дополнительную защиту от прямых солнечных лучей и производит 68 мВт энергии. Исследовательский центр в области защиты окружающей среды и сохранения энергии SIEEB¹⁵ (рис. 8б), спроектирован как «витрина», демонстрирующая эффективную работу систем альтернативной энергетики, а именно – использование фотоэлектрических панелей, располагающихся на ступенчатых консольных конструкциях, образующих характерный объем здания и защищающих фасад от перегрева.



а)



б)

Рис. 8. Солнечные панели как затеняющие конструкции: а) исследовательский центр-электростанция Central Energy Facility; б) часть консольных конструкций исследовательского центра в области защиты окружающей среды и сохранения энергии SIEEB

¹⁵ SIEEB (англ.) – Sino-Italian Ecological and Energy Efficient Building.

Приведенная в статье вариативность способов монтажа фотоэлектрических установок в архитектуру зданий и комплексов лишь частично раскрывает их потенциал в формообразовании и дополнительном функциональном назначении. На рисунке 9 представлена авторская схема последовательности действий и порядок принятия решений в совместной работе архитектора и инженера на этапе проектирования энергоактивного здания.

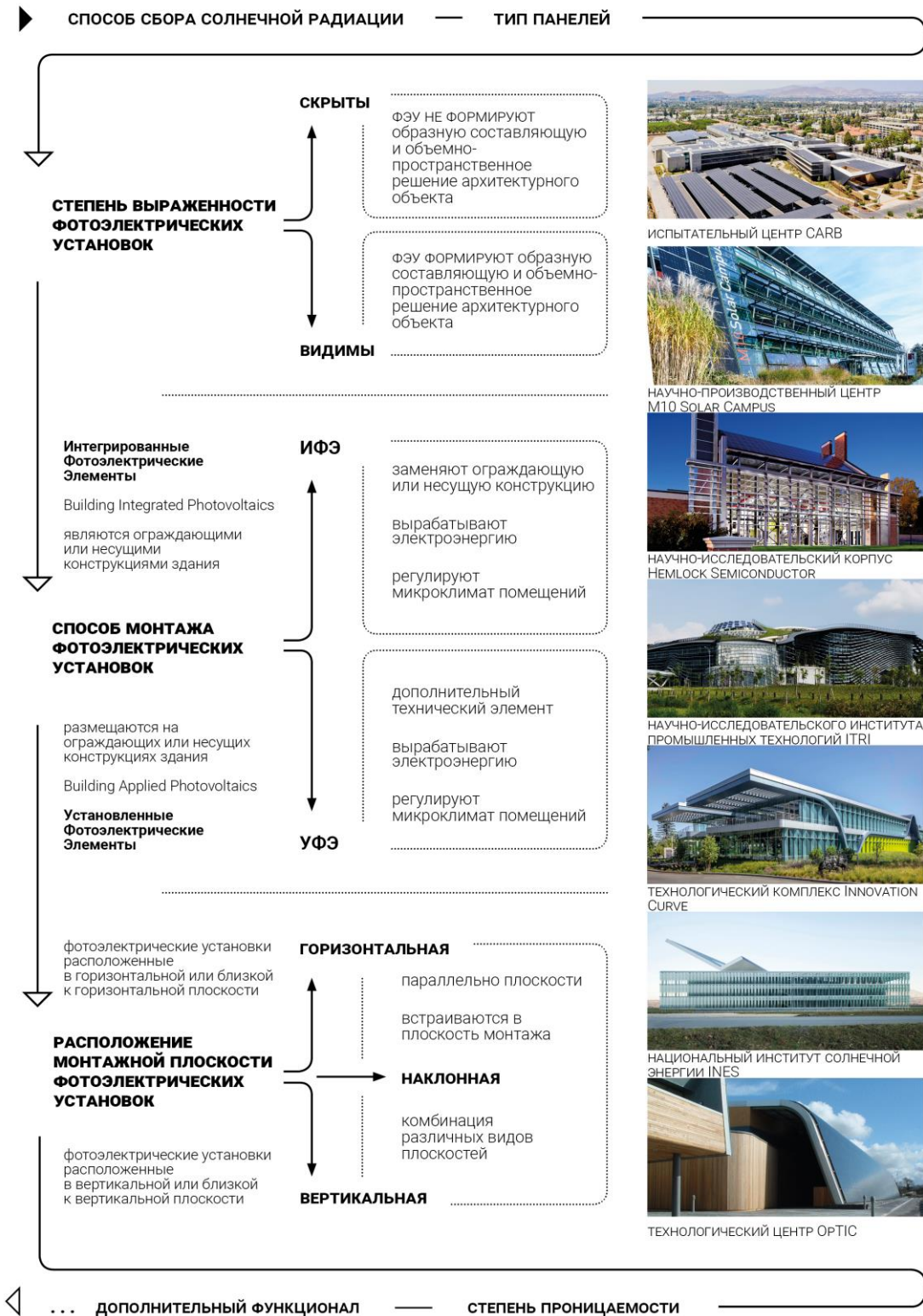


Рис. 9. Этапы выбора конструкций фотоэлектрических установок при проектировании

Заключение

Проведенный анализ существующих энергоактивных зданий и комплексов научно-производственного назначения позволил выявить конструктивные и функциональные приемы устройства фотоэлектрических систем преобразования солнечной энергии, а также их потенциал в формировании архитектурного образа. В результате были определены следующие приемы устройства фотоэлектрических элементов:

- по степени визуальной выраженности: скрытые и видимые;
- по способу монтажа: интегрированные (ИФЭ) и установленные (УФЭ);
- по виду расположения монтажной плоскости: горизонтальные, вертикальные, наклонные.

Предложенные приемы монтажа фотоэлектрических установок, позволили определить возможную последовательность действий и порядок принятия решений в совместной работе архитектора и инженера при проектировании научно-производственных энергоактивных зданий или комплексов.

Источники иллюстраций

Рис. 1а. URL: <http://www.jinr.ru/posts/oiyai-uzbekistan/> (дата обращения: 01.05.2023).

Рис. 1б. URL: <https://www.hevelsolar.com/about/news/moshnost-solnechnykh-elektrostantsii-v-orenburgskoi-oblasti-dostigla-345-mvt/> (дата обращения: 01.05.2023).

Рис. 2а. URL: <https://www.zgf.com/work/3828-california-air-resources-board-southern-california-headquarters-mary-d-nichols-campus> (дата обращения: 01.05.2023).

Рис. 2б. URL: <https://visit.freiburg.de/en/attractions/m10-solar-campus> (дата обращения: 01.05.2023).

Рис. 3а. URL: https://www.archdaily.com/171276/hemlock-semiconductor-building-bauer-askew-architecture?ad_medium=gallery (дата обращения: 01.05.2023).

Рис. 3б. URL: https://www.archdaily.com/783708/itri-central-taiwan-innovation-campus-exterior-design-noiz-architects?ad_medium=gallery (дата обращения: 01.05.2023).

Рис. 4. URL: https://www.archdaily.com/952756/innovation-curve-technology-park-at-stanford-research-park-form4-architecture?ad_medium=gallery (дата обращения: 01.05.2023).

Рис. 5. Иллюстрация составлена автором, на основе материала [10,16] и Farkas K.

Designing Photovoltaic Systems for Architectural Integration. Criteria and guidelines for product and system developers / K. Farkas, L. Maturi, A. Scognamiglio, [et al.] // International Energy Agency. Solar Heating and Cooling Programme. Solar Energy & Architecture. Task 41, 2013. 92 p. URL: <https://task41.iea-shc.org/publications> (дата обращения: 01.05.2023).

Рис. 6а,б. URL: https://www.archdaily.com/605566/ines-french-national-solar-energy-institute-atelier-michel-remon-agence-frederic-nicolas?ad_medium=gallery (дата обращения: 01.05.2023).

Рис. 7. URL: <https://systems.arch.ethz.ch/research/adaptive-solar-facade> (в авторской обработке) (дата обращения: 01.05.2023).

Рис. 8а. URL: <https://www.zgf.com/work/105-stanford-university-central-energy-facility> (дата обращения: 01.05.2023).

Рис. 8б. URL: https://www.archdaily.com/880371/sino-italian-ecological-and-energy-efficient-building-mario-cucinella-architects?ad_medium=gallery (дата обращения: 01.05.2023).

Рис. 9. Иллюстрация составлена автором.

Список источников

1. Дианова-Клокова И.В. Инновации как составляющая фундаментальных исследований. Взгляд архитектора / И.В. Дианова-Клокова, Д.А. Метаньев // Academia. Архитектура и строительство. 2018. № 2. С. 73-83. DOI 10.22337/2077-9038-2018-2-73-83

2. Хрусталева Д.А. Архитектурное формирование научно-производственных зданий инновационного направления: диссертация ... кандидата архитектуры: 05.23.21 / Хрусталева Дмитрий Александрович; [Место защиты: Моск. архитектур. ин-т]. Москва, 2011. 151 с.: ил.
3. Безруких П.П. Возобновляемая энергетика: стратегия, ресурсы, технологии / П.П. Безруких, Д.С. Стребков; под ред. Д.С. Стребкова; Рос. акад. с.-х. наук, Гос. науч. учреждение Всерос. науч.-исслед. ин-т электрификации сел. хоз-ва (ГНУ ВИЭСХ). Москва: ГНУ ВИЭСХ, 2005 (Тип. Россельхозакадемии). 263 с.: ил., табл.
4. Возобновляемые источники энергии / Дж. Твайделл, А. Уэйр; Перевод с англ. [и предисл.] В.А. Коробкова. Москва: Энергоатомиздат, 1990. 390 с.: ил.
5. Есаулов Г.В. Устойчивая архитектура – от принципов к стратегии развития // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. № 6(47). С. 9-24.
6. Есаулов Г.В. Устойчивое развитие в повестке архитектурного образования / Г.В. Есаулов, Н.Г. Благовидова, Ю.А. Табунщиков // Academia. Архитектура и строительство. 2020. № 1. С. 19-28. DOI 10.22337/2077-9038-2020-1-19-28
7. Благовидова Н.Г. Эко-клаузура – лаборатория поиска инновационных решений / Н.Г. Благовидова, А.М. Разгулова // Architecture and Modern Information Technologies. 2017. №4(41). С. 319-339. URL: http://marhi.ru/AMIT/2017/4kvart17/24_blagovidova_razgulova/index.php (дата обращения 01.05.2023).
8. Андерсон Б. Солнечная энергия: (Основы строит. проектирования) / перевод с англ. А.Р. Анисимова. Москва: Стройиздат, 1982. 375 с.: ил.
9. Энергоактивные здания / Н.П. Селиванов, А.И. Мелуа, С.В. Зоколей и др.; под ред. Э.В. Сарнацкого, Н.П. Селиванова. Москва: Стройиздат, 1988. 373 с.
10. Мягков М.С. Фотоэлектрические установки в архитектурной среде и ее биоклиматическая комфортность / М.С. Мягков, Л.И. Алексеева // Architecture and Modern Information Technologies. 2020. №2(51). С. 255–288. URL: https://marhi.ru/AMIT/2020/2kvart20/14_myagkov/index.php (дата обращения 07.04.2023).
11. Андреев В.М. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения / В.М. Андреев, В.А. Грилихес, В.Д. Румянцев; Отв. ред. Ж.И. Алферов; АН СССР, Отд-ние общ. физики и астрономии, Физ.-техн. ин-т им. А.Ф. Иоффе. Ленинград: Наука: Ленингр. отд-ние, 1989. 308 с.: ил.
12. Portney Kent E. Taking Sustainable Cities Seriously: Economic Development, the Environment, and Quality of Life in American Cities. The MIT Press, 2003. 380 p.
13. Есаулов Г.В. Влияние современных технологий на архитектурный образ зданий // АВОК. 2021. № 6. С. 4-7. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=7914 (дата обращения 29.05.2023).
14. Есаулов Г.В. Экологически ориентированная архитектура высоких технологий // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2022. № 7. С. 4-8. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=8220 (дата обращения 29.05.2023).

15. Микулина Е.М. Энергоэффективные здания и концепция устойчивого развития / Е.М. Микулина, Н.Г. Благовидова // Academia. Архитектура и строительство, 2014. № 1. С. 74-79.
16. Hatuka T., Ben-Joseph E. New industrial urbanism: designing places for production / T. Hatuka, E. Ben-Joseph. New York: Routledge, 2022. 270 p.
17. Haghghi Z. Architectural Photovoltaic Application. Delft University of Technology – A+BE Architecture and the Built Environment. 2212-3202. 202(20). 226 p.
DOI: [10.7480/abe.2022.20.6781](https://doi.org/10.7480/abe.2022.20.6781)
18. Nagy Z., Svetozarevic B., Jayathissa P., [etc.] The Adaptive Solar Facade: From concept to prototypes / Z. Nagy, B. Svetozarevic, P. Jayathissa, M. Begle, J. Hofer, G. Lydon, A. Willmann, A. Schlueter // Frontiers of Architectural Research. Vol. 5(2). 2016. P. 143-156. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095263516300048> (дата обращения 07.04.2023).
19. Pasqualetti M., Stremke S. Energy landscapes in a crowded world: A first typology of origins and expressions / M. Pasqualetti, S. Stremke // Energy Research & Social Science. Vol. 36. 2018. P. 94-105. DOI: 10.1016/j.erss.2017.09.030

References

1. Dianova-Klokoва I.V. Innovation as a Component of Fundamental Research. Academia. Architecture and Construction. 2018, pp. 73-83. DOI 10.22337/2077-9038-2018-2-73-83
2. Hrustalev D.A. *Arhitekturnoe formirovanie nauchno-proizvodstvennykh zdaniy innovacionnogo napravleniya* [Architectural formation of scientific and industrial buildings of the innovative direction. PhD dis.]. Moscow, 2011, 151 p.
3. Bezrukih P.P., Strebkov D.S. *Vozobnovlyаемая энергетика: стратегия, ресурсы, технологии* [Renewable energy: strategy, resources, technologies]. Moscow, 2005, 263 p.
4. Twydell J., Ware A. *Vozobnovlyаемые источники энергии* [Renewable energy sources]. Moscow, 1990, 390 p.
5. Esaulov G.V. *Uстойчивая архитектура - от принципов к стратегии развития* [Sustainable architecture: from approaches to strategy of development]. Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, 2014, no.6(47), pp. 9-24.
6. Esaulov G.V., Blagovidova N.G., Tabunshchikov Yu.A. Sustainability on the Agenda of Architectural Education. Academia. Architecture and Construction, 2020, no.1, pp. 19-28. DOI 10.22337/2077-9038-2020-1-19-28
7. Blagovidova N., Razgulova A. Eco-Clauses – Laboratory of Innovative Solutions Research. Architecture and Modern Information Technologies, 2017, no. 4(41), pp. 319-339. Available at: http://marhi.ru/eng/AMIT/2017/4kvart17/24_blagovidova_razgulova/index.php
8. Anderson B. *Solnechnaya energiya: (Osnovy stroit. proektirovaniya)* [Solar energy: (Fundamentals of building design)]. Moscow, 1982, 375 p.
9. Selivanov N.P., Melua A.I., Zokoley S.V. et al. *Energoaktivnye zdaniya* [Energy-active buildings]. Moscow, 1988, 373 p.
10. Myagkov M., Alekseeva L. Photovoltaic Panels and Bioclimatic Comfort of the Architectural Environment. Architecture and Modern Information Technologies, 2020, no. 2(51), pp. 255-

288. Available at: https://marhi.ru/AMIT/2020/2kvart20/PDF/14_myagkov.pdf
DOI: 10.24411/1998-4839-2020-15114
11. Andreev V.M. *Fotoelektricheskoe preobrazovanie koncentrirovannogo solnechnogo izlucheniya* [Photoelectric conversion of concentrated solar radiation]. Leningrad, 1989, 308 p.
 12. Portney Kent E. *Taking Sustainable Cities Seriously: Economic Development, the Environment, and Quality of Life in American Cities*. The MIT Press, 2003, 380 p.
 13. Esaulov G.V. Influence of modern technologies on building architectural appearance. ABOK, 2021, no. 6, pp. 4-7. Available at: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=7914
 14. Esaulov G.V. Ecologically Oriented Architecture of High Technologies. ABOK, 2022, no. 7, pp. 4-8. Available at: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=8220
 15. Mikulina E. M., Blagovidova N. G. Energy-effective buildings and the concept of sustainable development. *Academia. Architecture and Construction*, 2014, no. 1, pp. 74-79.
 16. Hatuka T., Ben-Joseph E. *New industrial urbanism: designing places for production*. New York, Routledge, 2022, 270 p.
 17. Haghghi Z. *Architectural Photovoltaic Application*. Delft University of Technology, 2022 (20), 226 p. DOI: 10.7480/abe.2022.20.6781
 18. Nagy Z., Svetozarevic B., Jayathissa P., et al. The Adaptive Solar Facade: From concept to prototypes. *Frontiers of Architectural Research*, vol. 5 (2), 2016, pp. 143-156. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095263516300048>
 19. Pasqualetti M., Stremke S. Energy landscapes in a crowded world: A first typology of origins and expressions. *Energy Research & Social Science*, vol. 36, 2018, pp. 94-105. DOI: 10.1016/j.erss.2017.09.030

ОБ АВТОРЕ

Николаева Ирина Олеговна

Аспирант, кафедра «Информационные технологии в архитектуре», Московский архитектурный институт (государственная академия), Москва, Россия
i.nikolaeva@markhi.ru

ABOUT THE AUTHOR

Nikolaeva Irina O.

Postgraduate Student of the Department «Information Technologies in Architecture», Moscow Architectural Institute (State Academy), Moscow, Russia
i.nikolaeva@markhi.ru