

Николаева И. О. Особенности архитектурно-пространственного размещения солнечных установок в условиях городской среды // Современная архитектура мира. Вып. 26 (1/2026). С. 271–286

Nikolaeva I. O. Features of architectural and spatial placement of solar installations in an urban environment // Contemporary World's Architecture. Vol. 26 (1/2026). Pp. 271–286

Научная статья

УДК 72

doi: 10.25995/NIITAG.2026.26.1.014

ОСОБЕННОСТИ АРХИТЕКТУРНО-ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗМЕЩЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ УСТАНОВОК В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Ирина Олеговна Николаева

Московский архитектурный институт (государственная академия), Москва, Россия,
i.nikolaeva@markhi.ru

Аннотация. Статья посвящена вопросам архитектурно-пространственного размещения объектов солнечной энергетики, в частности, фотоэлектрических систем, в условиях урбанизированной среды. Рассматриваются два варианта их пространственного применения: интеграция и адаптация, различающиеся по степени воздействия на окружающий контекст и композиционному значению. Определены три конфигурации размещения солнечных установок: локальная, структурная и линейная, которые позволяют учитывать морфологию городской ткани и при необходимости целенаправленно видоизменять или формировать ее в зависимости от архитектурных задач. В рамках исследования подчеркивается значимость комплексного проектирования, предполагающего согласование инженерно-технических и композиционных решений, направленных на формирование устойчивой и экологически ориентированной городской среды.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, солнечная энергетика, урбанизированная среда, устойчивое проектирование

Original article

FEATURES OF ARCHITECTURAL AND SPATIAL PLACEMENT OF SOLAR INSTALLATIONS IN AN URBAN ENVIRONMENT

Irina O. Nikolaeva

Moscow Institute of Architecture (State Academy), Moscow, Russia, i.nikolaeva@markhi.ru

Abstract. The article examines the integration of solar energy facilities, with a focus on photovoltaic systems, into urban environments. It discusses two spatial approaches to their application — integrative and adaptive — each characterized by a different degree of influence on the urban context and architectural composition. Three configurations of solar installations are identified: local, structural, and linear, each offering a distinct strategy for engaging with the urban fabric and, when necessary, modifying or shaping it to meet architectural objectives. The study highlights the importance of comprehensive design solutions that coordinate engineering, technical, and compositional aspects, contributing to the formation of a sustainable and environmentally responsive urban environment.

Keywords: renewable energy sources, solar energy, urban environment, sustainable design

Концепция устойчивого развития, признанная на международном уровне в начале XXI в., направлена на обеспечение сбалансированного развития социально-экономических систем, при котором удовлетворение текущих потребностей современного общества не ставит под угрозу возможности будущих поколений. Указанный подход становится основой формирования стабильной и экологически ответственной архитектурной среды. Однако, как подчеркивал Р. Роджерс, именно города аккумулируют наиболее острые противоречия и вызовы современности, препятствующие переходу к устойчивому будущему¹. И неслучайно, согласно оценкам ООН, к 2050 г.² около двух третей населения планеты будет проживать в городах, что, с учетом роста потребления ресурсов, требует пересмотра существующих способов организации городских территорий³.

Очевидно, что особое значение приобретает развитие инфраструктуры возобновляемых источников энергии (далее — ВИЭ), в частности солнечной. Ее потенциал заключается в широком диапазоне пространственной локализации — от плотно застроенной среды до сельских и природных ландшафтов. Примерами служат реализованные в международной и отечественной практике проекты в области агровольтаики, объединяющие сельскохозяйственное производство с генерацией энергии, а также плавучие фотоэлектрические системы, предполагающие размещение солнечных панелей на водных поверхностях (илл. 1). Несмотря на обусловленные метеорологическими и аэротехногенными факторами эксплуатационные ограничения, снижающие эффективность оборудования, повышающие риск механических повреждений и вызывающие необходимость специализированных методов очистки⁴, сектор солнечной энергетики показывает стабильную динамику развития. Согласно данным Международного энергетического агентства (IEA), в 2024 г. введено от 554 до 602 ГВт новых

1. «Вертикальная ферма». Берлин, Германия. Арх. HENN Architecture. 2024. Источник: <https://www.henn.com/en/project/vertical-farmhouse>

ПРИМЕЧАНИЯ

¹ Rogers R. *Cities for a Small Planet* [Города для маленькой планеты]. Boulder: Westview Press, 2000. 256 p.

² United Nations, Department of Economic and Social Affairs. *Future Focus: Preparing for What Lies Ahead*. New York: United Nations, 2024. 60 p. [Электронный ресурс]. URL: <https://desapublications.un.org/publications/future-focus-preparing-what-lies-ahead-0> (дата обращения: 11.10.2025).

³ По данным Международного энергетического агентства (IEA), города выступают основными потребителями энергии и ресурсов, при этом строительная отрасль отвечает примерно за 36% мирового энергопотребления и около 39% выбросов углекислого газа (прим. автора).

⁴ Мягков М. С. Фотоэлектрические установки в архитектурной среде и ее биоклиматическая комфортность / М. С. Мягков, Л. И. Алексеева [Электронный ресурс] // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2020. № 2 (51). С. 255–288.

⁵ International Energy Agency. *Solar PV Global Capacity 2025 Snapshot* [Электронный ресурс]. Paris: IEA-PVPS, 2025. URL: <https://iea-pvps.org/snapshot-reports/snapshot-2025/> (дата обращения: 12.10.2025).

⁶ International Renewable Energy Agency (IRENA). *Global Energy Transformation: The REmap transition pathway. Background report to 2019 edition* [Электронный ресурс].

Abu Dhabi: IRENA, 2019. 142 p.
URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Apr/IRENA_GET_Remap_pathway_2019.pdf
(дата обращения: 12.10.2025).

⁷ 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*. 2018. Vol. 36. Pp. 94–105.

⁸ Николаева И. О. Особенности интеграции фотоэлектрических установок в архитектуру зданий (на примере научно-производственных комплексов) [Электронный ресурс] // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2023. № 2 (63). С. 115–129. URL: https://marhi.ru/AMIT/2023/2kvar23/PDF/07_nikolaeva.pdf (дата обращения: 12.10.2025)

мощностей, а суммарный объем достиг порядка 2,2 ТВт⁵. В соответствии с прогнозами Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (IRENA), для достижения климатических целей к середине XXI в. общая установленная мощность должна составлять не менее 8,5 ТВт⁶.

Интенсивное развитие ВИЭ сопровождается ростом потребности в пространственных ресурсах, что нередко приводит к вовлечению ценных природных и сельскохозяйственных территорий⁷. Одним из способов снижения антропогенной нагрузки является размещение объектов генерации электроэнергии в городской среде, вблизи потребителей. Подобное решение предполагает проведение комплексных архитектурно-инженерных мер для обеспечения согласованности визуальных и функциональных параметров в условиях существующей застройки⁸. Как подчеркивал В. Гропиус, «окружающий нас рукотворный ландшафт — это огромная пространственная композиция <...>.



Любая существующая видимая деталь, естественная или сотворенная человеком, учитывается в зрительном впечатлении от этой великой композиции. Даже наиболее утилитарные строительные задачи вроде прокладки автострადы или выбора типа моста важны для общей гармонии того визуального целого, что окружает нас»⁹.

Современная проектная практика свидетельствует о сдвиге от узкоспециализированных решений, ориентированных преимущественно на инженерное обеспечение объектов ВИЭ, к многофункциональному подходу, объединяющему требования энергетической эффективности с утилитарными и эстетическими составляющими¹⁰. Такая трансформация влечет за собой пересмотр методологического аппарата архитектурной деятельности. Это, в свою очередь, актуализирует задачи профессионального архитектурного образования, способствует внедрению новых проектных стандартов, соответствующих принципам устойчивого и ресурсосберегающего развития¹¹.

Настоящее исследование посвящено рассмотрению архитектурно-пространственных решений размещения солнечных фотоэлектрических элементов как наиболее визуально репрезентативной и распространенной формы использования солнечной энергии в условиях городской среды. Это направление формирует основу для изучения архитектурной совместимости и функциональной уместности энергогенерирующих установок в структуре открытых пространств.

ОТКРЫТЫЕ АРХИТЕКТУРНЫЕ ПРОСТРАНСТВА КАК СРЕДА РАЗМЕЩЕНИЯ ВИЭ

Открытые архитектурные пространства представляют собой особую область проектирования, специфика которой определяется не только частичным или полным отсутствием физических границ, но и их непосредственной подверженностью природно-климатическим факторам. Существенное влияние на их формирование во многом

ПРИМЕЧАНИЯ

⁹ Гропиус В. Круг тотальной архитектуры / В. Гропиус. М.: Ад Маргинем Пресс, 2017. 208 с.: ил. С. 197.

¹⁰ Hammann R. E. *Creative Engineering, Architecture and Technology* / Ralph E. Hammann. Berlin: DOM publishers, 2013. P. 324.

¹¹ Быстрова Т. От модернизма к неорационализму: творческие концепции архитекторов XX–XXI веков : [монография] / Т. Быстрова; изд. 2-е, доп. Москва ; Екатеринбург: Кабинетный ученый, 2024. 400 с.; Есаулов Г. В. Архитектурное образование XXI: традиции и новаторство // Academia. Архитектура и строительство. 2025. № 2. С. 23–38. DOI:10.22337/2077–9038-2025-2-23-38; Belash E. Sustainable development as a trigger for new architectural and spatial solutions [Электронный ресурс] // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 135. Pp. 1–8. URL: /www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/61/e3sconf_itese18_03020.pdf (дата обращения: 10.09.2025).

¹² Гутнов А. Эволюция градостроительства / предисловие А. Новикова. Екатеринбург: TATLIN, 2024. С. 61–65.

¹³ Гидион З. Пространство, время, архитектура / З. Гидион; Сокр. пер. с нем. М. В. Леонене, И. Л. Черня. 3-е изд. М.: Стройиздат, 1984. 455 с. : ил. С. 14.

определяется характером восприятия, как правило, выражающимся в зонировании с размытыми границами, взаимодополняемости функциональных сценариев и трансформации в зависимости от контекстуальных условий¹². Таким образом, различия в пространственно-средовых условиях существенно влияют на системное размещение ВИЭ в урбанизированном ландшафте. Варианты использования инженерно-технических средств варьируются исходя из ситуации, создаваемой окружающей средой: если на открытых территориях за пределами города процесс их расположения сопряжен с меньшим количеством нормативных ограничений и акцентируется преимущественно на технических аспектах, таких как ориентация по сторонам света и параметры инсоляции для максимизации поступления солнечной радиации, то в городской среде он сопровождается более строгими регламентами и требованиями. Это связано с высокой плотностью застройки, наличием историко-культурного наследия и необходимостью учета социально-экономических факторов, помимо инженерно-технических.

В контексте вышеизложенного особую значимость приобретает степень трансформации архитектурного пространства, обусловленная размещением солнечных установок. В рамках представленной работы предлагается рассмотреть два вида пространственного включения таких объектов — **интеграцию** и **адаптацию**, различающиеся по характеру взаимодействия с архитектурно-пространственной организацией среды.

Соответственно, интеграция предполагает «открытое» применение оборудования ВИЭ в структуре проектируемых или реконструируемых объектов, при котором инженерные компоненты приобретают композиционное значение и нередко становятся основой формообразования, определяя образность среды¹³. Под адаптацией понимается размещение солнечных установок с приоритетом сохранения визуальной и композиционной целостности контекста, где инженерные системы минимизируют свое пространственно-пластическое воздействие и воспринимаются как вторичные, нейтральные элементы архитектурного окружения.

Проект, возведенный в межкампусном пространстве компании NVIDIA и обозначаемый как «рабочее пространство на открытом воздухе» (арх. Hood Design Studio, США, 2022 г.), может служить иллюстрацией интегративного типа пространственного включения ВИЭ (илл. 2а). Архитектурное решение представляет собой две приподнятые над уровнем земли платформы с навесами в виде решетчатых конструкций, создающими затенение и одновременно генерирующими электроэнергию за счет размещенных на них солнечных панелей.

Пространственное включение по типу адаптации отражено в архитектуре павильона Solar. Кровельное покрытие, состоящее из 380 фотоэлектрических модулей, имитирует черепичное покрытие и не

акцентирует внимание на своем технологическом содержании (илл. 2б). Несмотря на то, что крыша является определяющим элементом в композиции павильона, выбор ограниченной цветовой палитры позволяет установить солнечные панели без явно-го визуального обозначения их роли.

В обоих случаях решающее значение приобретают факторы, создающие пространственные и нормативные ограничения. Поэтому необходимо рассматривать интеграцию и адаптацию объектов ВИЭ не только в рамках их утилитарной функции, связанной лишь с генерацией энергии, но и как многофункциональный компонент окружающего ландшафта.

На основе анализа проектных решений с применением солнечных фотоэлектрических элементов в статье вводится авторская классификация вариантов пространственного размещения ВИЭ по конфигурационному признаку. Можно выделить две основные группы:

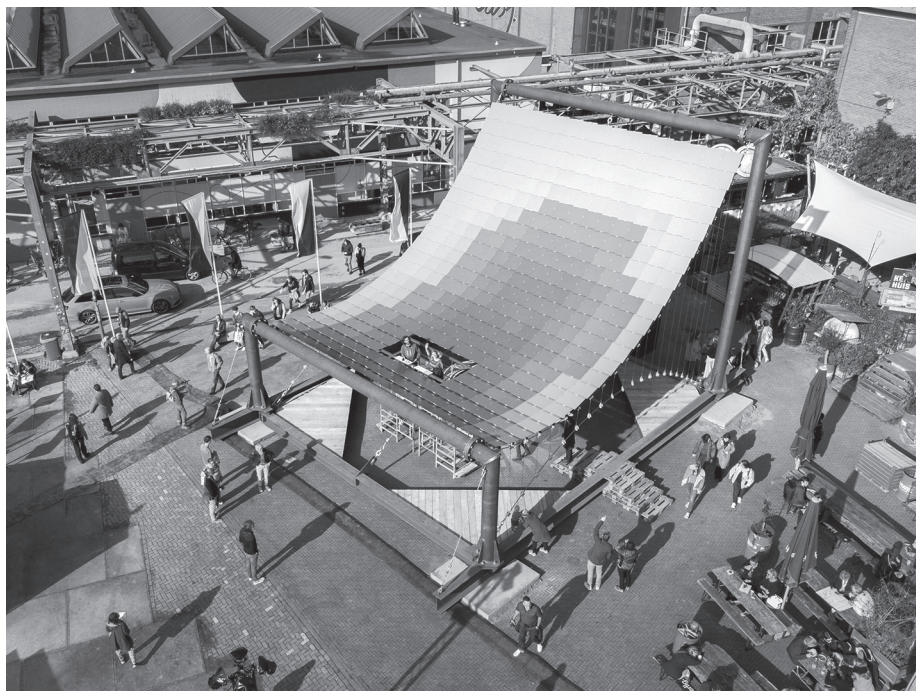
- локальные, подразумевающие точечное размещение объектов;
- структурные, формируемые как взаимосвязанные группы модулей, функционирующих в единой архитектурно-пространственной и инженерной логике.

ИЛЛЮСТРАЦИИ

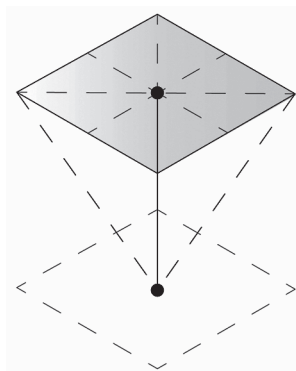
2: а) кампус NVIDIA. Калифорния, США. Арх. Hood Design Studio. 2022. Источник: <https://www.hooddesignstudio.com/nvidia-campus>; б) павильон «Solar». Эйндховен, Нидерланды. Арх. V8 Architects. 2022. Источник: <https://www.archdaily.com/992733/solar-pavilion-v8-architects>

3: а) схема локального размещения ВИЭ. Автор И. О. Николаева; б) навес «Power Wing Parking». Бангкок, Таиланд. Арх. Openbox Architects, 2020. Источник: <https://openbox-group.com/work/power-wing>





Прежде всего следует рассмотреть **локальное** размещение — децентрализованные автономные солнечные установки, интегрируемые в систему открытых пространств урбанизированной территории, обеспечивающие локальную генерацию электроэнергии или тепла (илл. 3а). К числу подобных можно отнести малые архитектурные формы. При этом их классификация не ограничивается и содержит такие элементы, как осветительные приборы наружного использования, в том числе светосигнальное оборудование, садово-парковые сооружения, городскую уличную мебель и многое другое. Конфигурация малых архитектурных форм, как правило, способствует их интеграции и согласованию с архитектурными



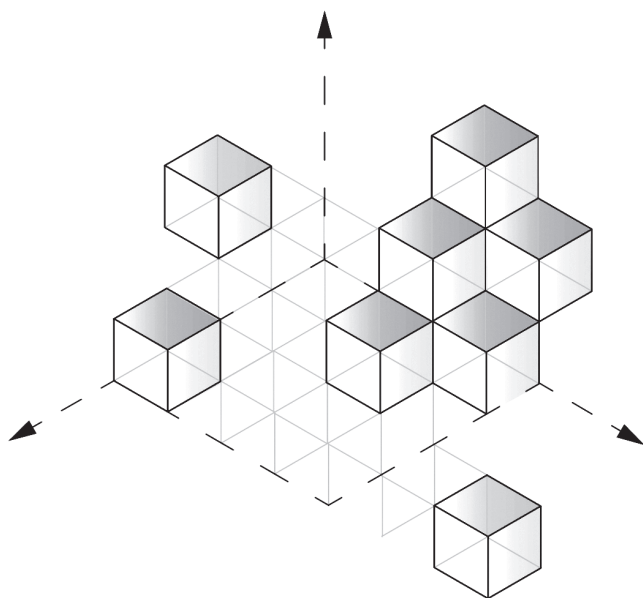
3а



3б

и функциональными особенностями конкретной среды. В качестве примера можно рассмотреть проект Power Wing Parking (арх. Openbox Architects, Таиланд, 2020 г.), реализованный на территории штаб-квартиры компании, занятой в энергетической промышленности. Объект представляет собой навес над парковочными местами общей длиной 50 м, состоящий из двух секций. Каждая секция оснащена фотоэлектрическими панелями, расположенными под разными углами наклона, что придает форме динамичный вид. Первая секция включает 318 панелей установленной мощностью 124 кВт, вторая — 252 панели мощностью 98 кВт¹⁴. Проект подчеркивает синергию архитектуры, искусства и инженерии, являясь одновременно практичным решением и символом, отображающим главные ценности компании (илл. 3б).

Другой пример — Solar Pine (арх. HG-Architecture, Южная Корея, 2016 г.). Конструкция павильона, вдохновленная структурой сосновой шишки, была выполнена с применением префабричного производства. Стальная решетка специально разработана для фотоэлектрических



ИЛЛЮСТРАЦИИ

4: а) схема структурного размещения ВИЭ. Автор И. О. Николаева; б) павильон «Terra» на выставке Expo 2020. Дубай, ОАЭ. Арх. Grimshaw Architects. 2020. Источник: <https://grimshaw.global/projects/culture-and-exhibition/dubai-expo-2020-sustainability-pavilion>

ПРИМЕЧАНИЯ

¹⁴ Power Wing Parking / Openbox Architects [Электронный ресурс]. URL: <https://www.archdaily.com/944803/power-wing-parking-openbox-architects-plus-openbox-group> (дата обращения: 15.10.2025).

¹⁵ Solar Pine / HG-Architecture [Электронный ресурс]. URL: <https://www.archdaily.com/801868/solar-pine-hg-architecture> (дата обращения: 15.10.2025).

¹⁶ Jawaher Boston Medical District / Renzo Piano Building Workshop [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rpbw.com/project/jawaher-boston-medical-district> (дата обращения: 16.10.2025).

¹⁷ Aqaba Port Terminal / Bjarke Ingels Group [Электронный ресурс]. URL: <https://big.dk/projects/aqaba-port-terminal-14598> (дата обращения: 16.10.2025).

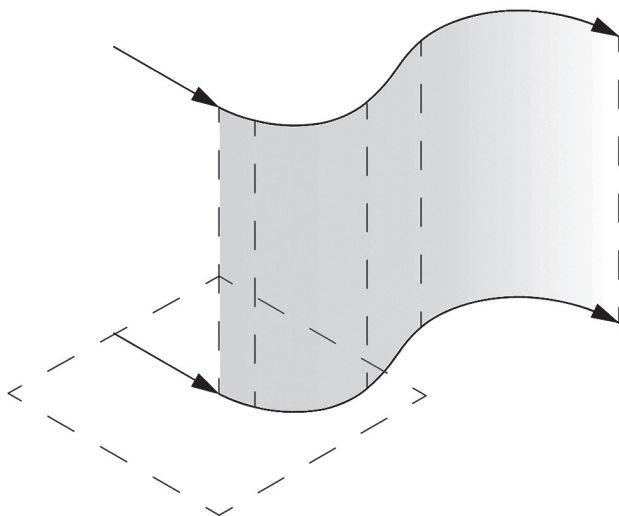
модулей, каждый из которых имеет уникальную конфигурацию и размер. Навес имеет оптимальный наклон для максимального солнечного облучения, что позволяет генерировать до 1,2 кВт·ч, обеспечивая освещение объекта и прилегающего парка в ночное время¹⁵.

Вариантом альтернативного применения солнечных установок в городской среде может являться **структурное** распределение, предполагающее формирование децентрализованной сети, размещенной в различных функциональных зонах и объединенной в общую объемно-пространственную композицию и энергетическую систему (илл. 4а). Это позволяет адаптироваться к различным условиям городской застройки и поэтапно увеличивать мощность в зависимости от потребностей и доступных площадей. Например, мегаструктура медицинского района, разработанная Renzo Piano Building Workshop (ОАЭ, 2024 г.). Архитекторы создали масштабный навес над госпитальными корпусами и всей прилегающей инфраструктурой, покрытый фотоэлектрическими панелями. Эта конструкция не только сочетает функцию затенения и вырабатывает «чистую» электроэнергию, но и содействует формированию благоприятного микроклимата всего медицинского комплекса¹⁶. Аналогичное решение было принято и в проекте реконструкции терминала Aqaba Container Terminal (АКТ) (арх. BIG, ОАЭ, 2024 г.). Порт оснащен протяженными навесами, которые затеняют операционные зоны и одновременно служат источником энергии для полностью электрифицированного оборудования: кранов, транспортных средств и зарядных станций¹⁷.



Высокий уровень солнечной радиации в ОАЭ одновременно представляет собой как климатический вызов, так и ценный ресурс. Представленные ранее структурные решения преимущественно реализованы в виде навесов и грандиозных кровельных конструкций. В дополнение к приведенным примерам архитекторы бюро Grimshaw в павильоне Terra на Экспо 2020 в Дубае продемонстрировали взвешенное сочетание инновационных архитектурных решений с принципами энергоэффективности (илл. 4б). Масштабный навес павильона шириной 135 м, покрытый более чем 1055 солнечными панелями (8000 м²), дополняется «деревьями»-гелиотропами. Эти конструкции, оснащенные фотоэлектрическими батареями (4000 м²), движутся вслед за солнцем. Общий годовой объем выработки электроэнергии составляет около 2,6 ГВт·ч.

Несмотря на выделение двух основных групп — локальной и структурной, внутри каждой из них допускается **линейная** организация размещения устройств, т.е. их рассредоточение вдоль протяженных городских объектов, характеризующееся преимущественно утилитарной направленностью (илл. 5а). Распространенным примером выступают солнечные навесы над велосипедными



5а

ИЛЛЮСТРАЦИИ

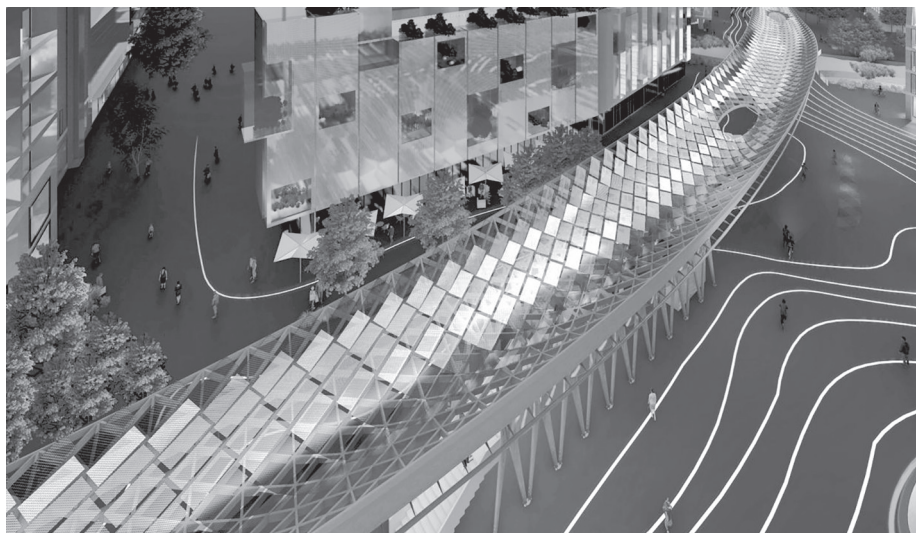
5: а) схема линейного размещения ВИЭ. Автор И. О. Николаева; б) концептуальный проект «Sunglider Smart Underground Metro». Оснабрюк, Германия. 2025. Источник: <https://www.sunglider.eu/de/smart-metro>

ПРИМЕЧАНИЯ

¹⁸ URB World's greenest highway with solar-powered trams and green spine / Designboom [Электронный ресурс] // Designboom, 2024. URL: <https://www.designboom.com/architecture/urb-worlds-greenest-highway-dubai-solar-powered-trams-green-spine-07-09-2024/> (дата обращения: 16.10.2025).

¹⁹ Smart Metro / Sunglider [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sunglider.eu/de/smart-metro> (дата обращения: 16.10.2025).

²⁰ Мамфорд Л. Искусство и техника: курс лекций / Л. Мамфорд; пер. с англ. В. Зацепина. М.: Издательство Института Гайдара, 2025. С. 140.



и пешеходными маршрутами. В частности, над велосипедной трассой протяженностью 5 км в Южной Корее размещены солнечные панели, выполняющие одновременно защиту от атмосферных воздействий и генерацию электроэнергии. К числу концептуальных решений, планируемых к реализации, относится проект Dubai Green Spine (ОАЭ), где солнечные панели встраиваются непосредственно в трамвайный коридор длиной 64 км¹⁸. Еще один пример — проект Sunslider Smart Underground Metro (Германия), представляющий собой автономную систему общественного транспорта, полностью функционирующую за счет энергии солнца, преобразуемой элементами, размещенными на эстакадах (илл. 56). Заявленная установленная мощность составляет 250 МВт¹⁹.

Ключевым преимуществом подобных решений является возможность внедрения в существующую транспортную и инженерную инфраструктуру, что позволяет эффективно использовать городское пространство без необходимости изъятия дополнительных земельных участков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ архитектурных решений позволил обозначить основные направления пространственного включения солнечных установок — фотоэлектрических — в урбанизированную среду. Эффективность такого рода практик определяется не только инженерно-техническими параметрами оборудования, но и степенью его архитектурно-пространственной согласованности с морфологическими характеристиками застройки и особенностями визуального восприятия городского контекста²⁰.

По результатам исследования предложено разграничение двух типов пространственного включения ВИЭ — интегративного и адаптивного, различающихся по характеру взаимодействия с существующей или проектируемой ситуацией. Первый предполагает осмысленное задействование объектов солнечной энергетики в архитектурной композиции, где они могут выполнять формообразующую или акцентную роль. Второй ориентирован на минимальное визуальное вмешательство в существующую ткань города при сохранении функциональной эффективности инженерно-технических средств. Введена классификация вариантов размещения солнечных установок по конфигурации: локальные, структурные и линейные, что позволяет учитывать особенности территориального контекста и оптимизировать проектные решения с точки зрения энергоэффективности и пространственной уместности. При этом линейная конфигурация может реализовываться как в локальных, так и в структурных решениях.

Таким образом, в условиях распространения ВИЭ архитектура открытых пространств приобретает значение не только как средство размещения инженерных систем солнечной энергетики, но и как фактор пространственной и культурной трансформации города. Включение технологий генерации энергии в архитектурно-пространственную среду позволяет рассматривать ее как медиатора между инженерной задачей и культурно-пространственным контекстом, обеспечивая формирование устойчивых визуальных образов. По мере развития фотоэлектрических технологий они утрачивают статус инновационных исключений и становятся элементами повседневной инфраструктуры.

Как отмечал П.К. Энгельмейер, «техническим созданиям присуща особая красота. <...> Красота ... состоит в идейности и общей гармонии форм, составляющих одно целое и выражающих своей совокупностью идею целого»²¹, что подтверждает потенциал инженерных объектов как выразительных элементов архитектурной среды.

ПРИМЕЧАНИЯ

²¹ Цит. по: Волчок Ю.П. Здесь и везде. Теперь и всегда. В 2 кн. Книга первая. Тектонический подход в зодчестве / Ю.П. Волчок; сост. Л.И. Коряковцева. Екатеринбург: TATLIN, 2023. С. 150.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Быстрова Т. От модернизма к неорационализму: творческие концепции архитекторов XX–XXI веков : [монография] / Т. Быстрова; изд. 2-е, доп. Москва ; Екатеринбург: Кабинетный ученый, 2024. 400 с.
2. Волчок Ю. П. Здесь и везде. Теперь и всегда. В 2 кн. Книга первая. Тектонический подход в зодчестве / Ю. П. Волчок; сост. Л. И. Коряковцева. Екатеринбург: TATLIN, 2023. 464 с.
3. Гидион З. Пространство, время, архитектура / З. Гидион; Сокр. пер. с нем. М. В. Леонене, И. Л. Черня. 3-е изд. Москва: Стройиздат, 1984. 455 с. : ил.
4. Гропиус В. Круг тотальной архитектуры / В. Гропиус. Москва: Ад Маргинем Пресс, 2017. 208 с. : ил.
5. Гутнов А. Эволюция градостроительства / предисловие А. Новикова. 2-е изд. Екатеринбург: TATLIN, 2024. 352 с.
6. Есаулов Г. В. Архитектурное образование XXI: традиции и новаторство // Academia. Архитектура и строительство. 2025. №2. С. 23–38. DOI: 10.22337/2077–9038-2025-2-23-38
7. Николаева И. О. Особенности интеграции фотоэлектрических установок в архитектуру зданий (на примере научно-производственных комплексов) [Электронный ресурс] // Architecture and Modern Information Technologies. 2023. №2 (63). С. 115–129. URL: https://marhi.ru/AMIT/2023/2kvart23/PDF/07_nikolaeva.pdf (дата обращения: 12.10.2025).
8. Мамфорд Л. Искусство и техника : курс лекций / Л. Мамфорд; пер. с англ. В. Зацепина. Москва: Издательство Института Гайдара, 2025. 192 с.
9. Мягков М. С. Фотоэлектрические установки в архитектурной среде и ее биоклиматическая комфортность / М. С. Мягков, Л. И. Алексеева [Электронный ресурс] // Architecture and Modern Information Technologies. 2020. №2 (51). С. 255–288. URL: https://marhi.ru/AMIT/2020/2kvart20/14_myagkov/index.php (дата обращения: 12.10.2025).
10. Aqaba Port Terminal / Bjarke Ingels Group [Электронный ресурс]. URL: <https://big.dk/projects/aqaba-port-terminal-14598> (дата обращения: 16.10.2025).
11. Belash E. Sustainable development as a trigger for new architectural and spatial solutions // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 135 (2019) 03020, Pp. 1–8. DOI: 10.1051/e3sconf/201913503020 (дата обращения: 10.09.2025).
12. Hammann R. E. Creative Engineering, Architecture and Technology / Ralph E. Hammann. Berlin: DOM publishers, 2013. 352 p.
13. International Renewable Energy Agency (IRENA). Global Energy Transformation: The REmap transition pathway. Background report to 2019 edition [Электронный ресурс]. Abu Dhabi: IRENA, 2019. 142 p. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Apr/IRENA_GET_REmap_pathway_2019.pdf (дата обращения: 12.10.2025).
14. Jawaher Boston Medical District / Renzo Piano Building Workshop [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rpbw.com/project/jawaher-boston-medical-district> (дата обращения: 16.10.2025).

15. 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*. 2018. Vol. 36. Pp. 94–105.
16. Power Wing Parking / Openbox Architects [Электронный ресурс]. URL: <https://www.archdaily.com/944803/power-wing-parking-openbox-architects-plus-openbox-group> (дата обращения: 15.10.2025).
17. Rogers R. *Cities for a Small Planet* [Города для маленькой планеты]. Boulder: Westview Press, 2000. 256 p.
18. Smart Metro / Sunlider [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sunlider.eu/de/smart-metro> (дата обращения: 16.10.2025).
19. Solar Pine / HG-Architecture [Электронный ресурс]. URL: <https://www.archdaily.com/801868/solar-pine-hg-architecture> (дата обращения: 15.10.2025).
20. United Nations, Department of Economic and Social Affairs. *Future Focus: Preparing for What Lies Ahead*. New York: United Nations, 2024. 60 p. [Электронный ресурс]. URL: <https://desapublications.un.org/publications/future-focus-preparing-what-lies-ahead-0> (дата обращения: 11.10.2025).
21. URB World's greenest highway with solar-powered trams and green spine / designboom [Электронный ресурс] // designboom, 2024. URL: <https://www.designboom.com/architecture/urb-worlds-greenest-highway-dubai-solar-powered-trams-green-spine-07-09-2024/> (дата обращения: 16.10.2025).

REFERENCES

1. Bystrova T. *From modernism to neo-rationalism: creative concepts of architects of the 20th-21st centuries* (Ot modernizma k neoracionalizmu: tvorcheskie koncepcii arhitektorov XX-XXI vekov). Moscow ; Ekaterinburg: Kabinetnyj uchenyj, 2024. 400 p. [in Russian].
2. Volchok Yu. P. *Here and Everywhere. Now and Always. Book One. The tectonic approach in architecture* (Zdes' i vezde. Teper' i vseгда. Kniga pervaya. Tektonicheskij podhod v zodchestve) / Compiled by L. I. Koryakovtseva. Ekaterinburg: TATLIN, 2023. 464 p. [in Russian].
3. Giedion S. *Space, time and architecture* (Prostranstvo, vremya, arhitektura). Abbreviated translation from German by M. V. Leonene, I. L. Chernya. 3rd ed. Moscow: Strojizdat, 1984. 455 p. [in Russian].
4. Gropius W. *The scope of total architecture* (Krug total'noj arhitektury). Moscow: Ad Marginem Press, 2017. 208 p. [in Russian].
5. Gutnov A. *Evolution of urban planning* (Evoluciya gradostroitel'stva). 2nd ed., Foreword by A. Novikov. Ekaterinburg: TATLIN, 2024. 352 p. [in Russian].
6. Esaulov G. V. Architectural education of the 21st century: traditions and innovation (Arhitekturnoe obrazovanie XXI: tradicii i novatorstvo) // *Academia. Architecture and Construction* (Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo). 2025. No. 2. Pp. 23–38. DOI: 10.22337/2077–9038-2025-2-23-38 [in Russian].
7. Nikolaeva I. O. Features of the integration of photovoltaic systems into the architecture of buildings (on the example of research, development, and production facilities) (Osobennosti integracii fotoelektricheskikh ustanovok v arhitekturu zdaniy) [Electronic resource] // *Architecture and Modern Information Technologies*

- (*Arhitektura i sovremennye informacionnye tehnologii*). 2023. No. 2 (63). Pp. 115–129. URL: https://marhi.ru/AMIT/2023/2kvart23/PDF/07_nikolaeva.pdf (date of address: 12.10.2025) [in Russian].
8. Mumford L. *Art and technology: lecture course (Iskusstvo i tekhnika: kurs lekcij)*. Moscow: Gaydar Institute Publishing House, 2025. 192 p. [in Russian].
 9. Myagkov M.S., Alekseeva L.I. Photovoltaic installations in the architectural environment and its bioclimatic comfort (*Fotoelektricheskie ustanovki v arhitekturnoj srede i ee bioklimaticheskaya komfortnost*) [Electronic resource] // *Architecture and Modern Information Technologies (Arhitektura i sovremennye informacionnye tehnologii)*. 2020. No. 2 (51). Pp. 255–288. URL: https://marhi.ru/AMIT/2020/2kvart20/14_myagkov/index.php (date of address: 12.10.2025) [in Russian].
 10. *Aqaba Port Terminal* / Bjarke Ingels Group [Electronic resource]. URL: <https://big.dk/projects/aqaba-port-terminal-14598> (date of address: 16.10.2025).
 11. Belash E. Sustainable development as a trigger for new architectural and spatial solutions // *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 135 (2019) 03020, Pp. 1–8. DOI: 10.1051/e3sconf/201913503020 (date of address: 10.09.2025).
 12. Hammann R. E. *Creative Engineering, Architecture and Technology* / Ralph E. Hammann. Berlin: DOM publishers, 2013. 352 p.
 13. International Renewable Energy Agency (IRENA). *Global Energy Transformation: The REmap transition pathway*. Background report to 2019 edition. Abu Dhabi: IRENA, 2019. 142 p. [Electronic resource]. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Apr/IRENA_GET_REmap_pathway_2019.pdf (date of address: 12.10.2025)
 14. *Jawaher Boston Medical District* / Renzo Piano Building Workshop [Electronic resource]. URL: <https://www.rpbw.com/project/jawaher-boston-medical-district> (date of address: 16.07.2025).
 15. 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*. 2018. Vol. 36. Pp. 94–105.
 16. *Power Wing Parking* / Openbox Architects [Electronic resource]. URL: <https://www.archdaily.com/944803/power-wing-parking-openbox-architects-plus-openbox-group> (date of address: 15.10.2025).
 17. Rogers R. *Cities for a Small Planet*. Boulder: Westview Press, 2000. 256 p.
 18. *Smart Metro* / Sunglider [Electronic resource]. URL: <https://www.sunglider.eu/de/smart-metro> (date of address: 16.10.2025).
 19. *Solar Pine* / HG-Architecture [Electronic resource]. URL: <https://www.archdaily.com/801868/solar-pine-hg-architecture> (date of address: 15.10.2025).
 20. United Nations, Department of Economic and Social Affairs. *Future Focus: Preparing for What Lies Ahead*. New York: United Nations, 2024. 60 p. [Electronic resource]. URL: <https://desapublications.un.org/publications/future-focus-preparing-what-lies-ahead-0> (date of address: 11.10.2025).
 21. *URB World's greenest highway with solar-powered trams and green spine* / Designboom [Electronic resource] // Designboom, 2024. URL: <https://www.designboom.com/architecture/urb-worlds-greenest-highway-dubai-solar-powered-trams-green-spine-07-09-2024/> (date of address: 16.10.2025).

Об авторе:

Николаева Ирина Олеговна — аспирант кафедры «Информационные технологии в архитектуре» Московского архитектурного института (государственной академии), Москва, Россия.

About the author:

Irina Nikolaeva — Postgraduate Student of the Department of Information Technology in Architecture, Moscow Institute of Architecture (State Academy), Moscow, Russia.