

АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Научная статья



УДК/UDC 72:551.58:621.311.243(470.56)

DOI: 10.24412/1998-4839-2026-2-161-175

EDN: VWLABV



CC BY-NC-SA 4.0

Гелиоархитектура и солнечная энергетика**Николай Иванович Щепетков^{1✉}, Ирина Олеговна Николаева²**^{1,2}Московский архитектурный институт (государственная академия), Москва, Россия¹n_shchepetkov@inbox.ru ²i.nikolaeva@markhi.ru

Аннотация. Гелиоархитектура – многозначное современное профессиональное понятие, включающее техническую и эстетическую составляющие, что отражено в классификационной таблице. Основное внимание в статье уделено фотоэлектрическим панелям как одному из элементов технических систем использования солнечного света в архитектуре и, конкретно, в Оренбургской области РФ, обладающей значительными природными ресурсами оптического излучения Солнца. Показаны основные способы размещения солнечных панелей на архитектурных сооружениях и их композиционная роль в современных образных решениях.

Ключевые слова: гелиоархитектура, солнечная энергетика, оптическое излучение, фотоэлектрический способ преобразования солнечного излучения, гелиотермический способ преобразования солнечного излучения, эстетика «солнечной» архитектуры

Для цитирования: Щепетков Н.И. Гелиоархитектура и солнечная энергетика / Н.И. Щепетков, И.О. Николаева // Architecture and Modern Information Technologies. 2026.

№ 2(75). С. 161-175. URL: https://marhi.ru/AMIT/2026/2kvart26/PDF/11_shchepetkov.pdf

DOI: 10.24412/1998-4839-2026-2-161-175 EDN: VWLABV

ARCHITECTURE OF BUILDINGS AND STRUCTURES

Original article

Heliarchitecture and solar energy**Nikolay I. Shchepetkov^{1✉}, Irina O. Nikolaeva²**^{1,2}Moscow Architectural Institute (State Academy), Moscow, Russia¹n_shchepetkov@inbox.ru ²i.nikolaeva@markhi.ru

Abstract. Solar architecture is considered a multifaceted contemporary professional concept encompassing both technical and aesthetic components, reflected in the classification framework presented in the article. The study focuses on photovoltaic panels as one of the technical means of solar energy utilization in architecture, with particular attention to the Orenburg region of the Russian Federation, which possesses significant natural resources of solar optical radiation. The article examines the principal methods of photovoltaic panel placement on architectural structures and their compositional role in contemporary architectural design solutions.

Keywords: solar architecture, solar energy, optical radiation, photovoltaic conversion of solar, heliothermic method of converting solar radiation, aesthetics of "solar" architecture

For citation: Shchepetkov N.I., Nikolaeva I.O. Heliarchitecture and solar energy. Architecture and Modern Information Technologies, 2026, no. 2(75), pp. 161-175. Available at:

https://marhi.ru/AMIT/2026/2kvart26/PDF/11_shchepetkov.pdf DOI: 10.24412/1998-4839-2026-

2-161-175 EDN: VWLABV

Гелиоархитектура и солнечная энергетика – два современных понятия и второе – родственная часть первого, что требует принципиального уточнения. Первое понятие – профессиональное и всеобъемлющее, в нем речь идет об особой архитектуре, во-первых, реагирующей на стадиях проектирования, строительства и эксплуатации на воздействие прямого солнечного излучения (что характерно для градостроительства, народного и профессионального зодчества в регионах с избытком этого излучения), во-вторых, воздействующей на ощущения и эмоции воспринимающего ее человека своими образными качествами. В общем случае структурное содержание понятия «гелиоархитектура» можно выразить в двух разделах схемы, где отражены две главные функции солнечного света для человека на Земле – энергетическая и эстетическая, связанные не всегда очевидно между собой (рис. 1).



Рис. 1. Структурная схема гелиоархитектуры

Солнечная энергетика сегодня «на слуху» у всех благодаря современным технологиям использования и преобразования излучения Солнца и «тренду» на замену истощающихся и загрязняющих своими выбросами и отходами природных ископаемых ресурсов на возобновляемые и экологически чистые источники энергии – солнце, ветер, биоресурсы, термальные источники, приливы-отливы морей и др.

Технологии получения энергии от них, главным образом электрической, развиваются, но не столь быстро и не в тех объемах, как надеялись западные производители, ученые и политики 10-20 лет назад. Обнаруживаются некоторые негативные качества этих технологий, например, дорогостоящая и нередко разрушительная для экологии региона добыча редкоземельных элементов (литий, кадмий и др.) для солнечных панелей и не менее дорогая их утилизация при выходе из строя. Однако более подробное рассмотрение этих особенностей не входит в задачи статьи. Очевидные же качества – возобновляемость (т.е. неисчерпаемость) и автономность получения энергии в удаленных и труднодоступных местах, куда прокладывать стационарные линии электропередачи нецелесообразно по технико-экономическим причинам.

В разделе «Солнечная энергетика» можно выделить четыре самостоятельных направления (в схеме – «клеточки» А-Г), когда с помощью соответствующих технологических установок солнечное излучение превращается: А – в электричество (преобладающая ныне тенденция), Б – в концентрированный и транслируемый в интерьерах в нужном направлении и количестве свет солнца и неба, В – в обогревательные (отопительные и горячего водоснабжения) системы и Г – в технические и медицинские системы УФ излучения (нижние «лепестки» схемы назовем «рубриками»).

Для этой классификации есть объективная фундаментальная база: в оптическом спектре излучения Солнца различают три диапазона длин электромагнитных волн, по-разному действующих на человека и среду: ультрафиолетовые (УФ, $\lambda=100-400$ нм), видимые, называемые светом ($\lambda=360-780$ нм), инфракрасные (тепловые, $\lambda=780$ нм-1 мм) [1]. Способы их использования и преобразования в архитектуре определяются функциональными задачами, реальными потребностями и технико-экономическими возможностями. Их соотношения различны при разном солнце и атмосфере.

Наиболее очевидный сегодня для всех и массовый способ преобразования солнечного излучения для практических нужд связан с получением электричества («клеточка» А) – универсального вида рукотворной управляемой энергии. Здесь доминантную роль играют из триады оптических лучей видимое (световое) и ИК-излучения. Свет преобразуется в электричество с помощью фотоэлектрических панелей, а ИК-лучи, концентрированные зеркалами в мощный пучок, направляемый на закрытый объем с водой (котел), превращают ее в пар под высоким давлением. Он давно известным способом вращает турбины, вырабатывающие электроэнергию. Эта безотходная технология наиболее экологична. Вместо воды в котле могут быть ингредиенты для выплавки сверхчистых металлических соединений – это солнечные электропечи без прямого участия электричества.

Полученное этими способами (фотоэлектрическим и гелиотермическим) электричество используют в наиболее энергоёмких силовых установках (рубрика «электродвигатели»); в источниках электрического света, в УФ- и ИК-излучателях (рубрика «лампочки»); в электрических нагревательных и отопительных системах (рубрика «обогреватели»), широко применяемых в ЖКХ, промышленном производстве и в бытовых приборах каждой семьи (обогреватели, холодильники, кондиционеры).

Фотоэлектрические и гелиотермические установки и электростанции могут быть крупномасштабными, занимая значительные площади земной (или даже водной) поверхности либо представляя собой крупные амфитеатральные сооружения, обычно располагаемые в солнечных пустынных регионах Африки и Азии (рис. 2-3). Эффективность их работы зависит от высоты стояния солнца над горизонтом (определяемой географической широтой, сезоном года и временем суток), количества солнечных дней в году, чистоты атмосферы и точности слежения системы за солнцем (пассивное или активное). Их главным врагом являются частые в пустынях пыльные бури, наносящие серьезный ущерб солнечным панелям и зеркалам. Возможности «складировать» электроэнергию впрок ограничены емкостью аккумуляторов.



а)



б)

Рис. 2. Фотоэлектрические электростанции: а) на наземных солнечных панелях (СЭС Карапынар, Турция); б) мини-электростанция на солнечных панелях на зданиях и сооружениях («Солнечная пирамида» здание штаб-квартиры Survey Solutions, Шотландия)



а)



б)



в)



г)

Рис. 3. Гелиотермические электростанции. Наземные зеркальные с башней (вода или сплав кристаллов): а) солнечная электростанция в Ашлане с одной башней в пустыне Негев, Израиль; б) гелиокомплекс «Солнце» в посёлке Чангихисарак, Узбекистан; в) солнечная электростанция с зеркалами, башней и наземными солнечными батареями (Уарзазат, Марокко); г) многоцелевая солнечная электростанция с пятью башнями (КНР)

Фотоэлектрические панели, монтируемые на кровлях и фасадах, стали новым архитектурным элементом многих современных зданий и сооружений разного масштаба: от малых форм и частных домов до небоскребов, от автомобилей до судов.

Широкое распространение фотоэлектрических панелей в качестве видимого элемента зданий актуализирует вопросы их архитектурно-пространственного применения [2,3]. На фоне активного развития технологий солнечной генерации архитектурные аспекты размещения подобных установок остаются менее проработанными, чем их инженерно-технические характеристики. В сложившейся практике фотоэлектрические системы рассматриваются преимущественно как средство повышения энергоэффективности зданий. Между тем такие установки выступают не только элементом энергетической инфраструктуры, но и компонентом архитектурной среды, участвующим в формировании её пространственных и визуально-композиционных характеристик. Это обуславливает необходимость систематизации основных форм размещения фотоэлектрических систем, оценки их архитектурного потенциала и выявления факторов, определяющих возможности их применения в различных градостроительных условиях, в том числе в регионах с высоким уровнем солнечной инсоляции. Изложенное определяет актуальность рассматриваемой проблематики, в том числе в рамках экспериментального учебного проектирования как направления апробации архитектурных решений.

В направлении Б («Свет») технологии использования видимого солнечного излучения наиболее убедительны и эффективны без всяких побочных эффектов и его «болезненных» трансформаций: свет улавливается и собирается в пучок с помощью гелиоконцентраторов различной конструкции (пассивных или активных) и по полым протяженным (или клиновидным) световодам почти без потерь бесплатно передается в темные (подземные, безоконные и т.п.) помещения. Для регионов с преобладанием солнечных дней в году это дает существенную экономию на дефицитной электроэнергии – конструктивно и эксплуатационно все просто и относительно недорого. Слабые в экономическом отношении южные солнечные страны Африки и Азии активно используют эту развивающуюся систему, изобретенную и запатентованную в XX веке в СССР (Ю.Б. Айзенберг, Г.Б. Бухман, В.М. Пятигорский).

Италия и другие страны купили наш патент и успешно снабжают полыми световодами страны мира. Производство их ныне налажено в Ижевске. Более простые устройства (отражающие экраны, регулируемые СЗУ, светоперенаправляющие призматические пленки и стекла и др.), устанавливаемые в конструкциях светопроемов, изменяя геометрию лучей солнца, повышают дневной уровень естественной освещенности в зданиях в ясные дни.

Направление В (ИК) наиболее освоено в исторической архитектуре. Не только отдельные здания, главным образом жилые, но и градостроительные системы демонстрируют определенные приемы использования тепла, которое несет солнечное излучение, а также защиты от его негативного чрезмерного влияния. Примеры народного зодчества в условиях жаркого сухого или жаркого влажного климата изучены и в определенной степени учитываются в современных архитектурно-планировочных решениях. Известно множество принципиальных решений архитектуры зданий, особенно индивидуальных, с пассивной или активной системой солнечного обогрева или солнцезащиты в разных регионах мира в разные сезоны года.

Ультрафиолет (направление Г) в определенных ситуациях (медицинские и др. учреждения) также востребован и «добывается» фильтрацией из оптического излучения в нужных диапазонах длин волн и количествах с помощью специальных стекол или пленок. Другие стекла или пленки могут защищать среду и объекты (картинные галереи и др.) от ненужного или чрезмерного УФ воздействия. Санирующее действие ультрафиолета положено в основу наших норм инсоляции помещений и территорий.

Во втором разделе схемы (рис. 1) рассматриваются разные аспекты визуальной эстетики архитектурных объектов, где главным «действующим лицом» служит прямой солнечный свет в ясный день. Прежде всего, это четкая светотень, выявляющая объемность материальных объектов, их ритм в определенных ситуациях, пластику архитектурных, скульптурных и пейзажных форм и форм объектов флоры и фауны. Светотень способствует лучшему прочтению глубины пространства. Теплый оттенок солнечного света, особенно при низком его стоянии утром и вечером, осенью и зимой («левитановский» свет) в наших широтах придает позитивную мажорность окружению. Все это в сравнении с пасмурным днем. Постоянное движение Солнца по небосводу и соответствующее перемещение теней по земле, на фасадах и в интерьерах с окнами и фонарями создают иллюзию «живого» света как инструмента отсчета времени (в отличие от «мертвого» электрического, не изменяющегося в старых системах от включения до выключения). Это качество генетически заложено в мозгу человека (и не только его).

Раздел «Эстетика солнечного света» философски и концептуально в профессии (не говоря уж о живописи) более важен, чем «Энергетика», но, к сожалению, внимания ему в нашем обучении и на практике уделяется недостойно мало [4]. Однако тема «Энергетика», благодаря бурному развитию технологий, требований и представлений об экологичности, «умности» и энергоэффективности современной архитектуры, завоевывает все большее внимание, в том числе в России, где есть регионы с преобладающим солнечным освещением (рис. 4).

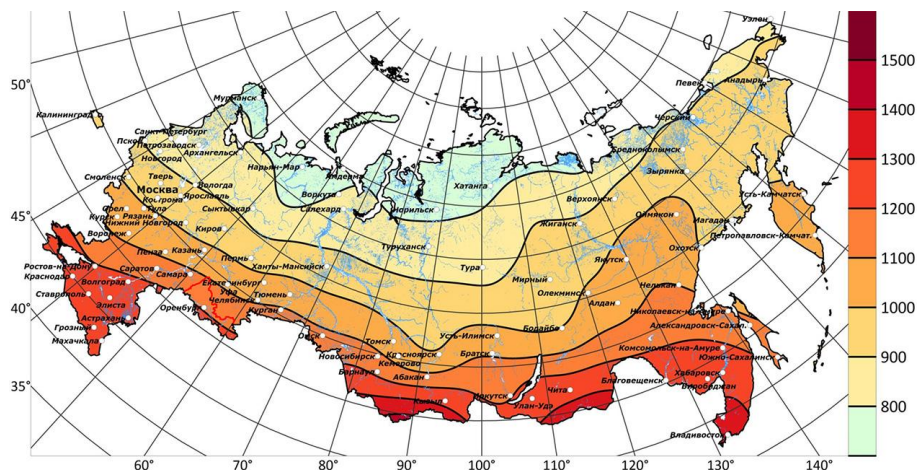


Рис. 4. Схематическая карта районирования территории РФ по годовому приходу суммарной солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность при реальных условиях облачности, кВт·ч/м² (2025 год)³

Среди субъектов Российской Федерации с благоприятными условиями для развития солнечной генерации Оренбургская область занимает одно из ведущих мест. Регион характеризуется высокими показателями инсоляции: продолжительность солнечного сияния составляет 2198 часов в год⁴, а суммарная солнечная радиация на горизонтальную поверхность достигает 1300-1400 кВт·ч/м² в год, что превышает среднероссийский уровень и сопоставимо с показателями южных территорий. Существенным фактором является сочетание высокой инсоляции с низкими зимними температурами, способствующими повышению эффективности фотоэлектрических преобразователей в наиболее востребованный по энергии сезон года.

Развитие солнечной генерации в регионе закреплено в программных документах⁵, предусматривающих наращивание мощностей солнечных электростанций (далее – СЭС) и увеличение их доли в структуре топливно-энергетического комплекса. По состоянию на начало 2022 года установленная мощность СЭС составляла около 370 МВт (порядка 9,4%⁶). На уровне отдельных объектов правовые условия, например, для использования фотоэлектрических установок (далее – ФЭУ), сформированы введением режима микрогенерации (Федеральный закон от 27.12.2019 № 471-ФЗ), допускающего их применение в составе инженерных систем зданий.

Вместе с тем региональная практика обнаруживает существенный дисбаланс между имеющимся ресурсным потенциалом и характером его освоения в архитектурно-градостроительном аспекте. Наряду с функционированием крупных объектов – Орская СЭС (40 МВт), Переволоцкая СЭС (5 МВт) и ряда других – применение ФЭУ в архитектурной среде городов остаётся эпизодическим и ограничивается преимущественно автономными осветительными и светосигнальными устройствами. Таким образом, при наличии развитой практики наземной генерации использование ФЭУ на уровне зданий и в

³ СП 131.13330.2025 Строительная климатология. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/432245/> (дата обращения: 10.04.2026).

⁴ Географический атлас Оренбургской области // Институт степи УрО РАН. URL: <https://geoportal.rgo.ru/record/7453> (дата обращения: 10.04.2026).

⁵ Схема и программа развития электроэнергетических систем России на 2023-2028 годы Оренбургской области // Системный оператор Единой энергетической системы. URL: https://www.sops-ops.ru/fileadmin/files/company/future_plan/public_discussion/2023/final/35_Orenburgskaja_oblast_fin.pdf (дата обращения: 10.04.2026).

⁶ Там же.

городской среде находится на начальной стадии. Это обуславливает необходимость систематизации способов их размещения с учётом архитектурно-пространственных и конструктивных характеристик, а также оценки их формообразующего и энергетического потенциала в конкретных условиях застройки.

Ограничение предметной области фотоэлектрическими установками определяется их специфическими архитектурно-технологическими свойствами. В отличие от гелиотермических систем, ориентированных на крупномасштабные станции и пока слабо применимых в условиях рассматриваемого региона, а также световодных устройств, решающих локальные задачи освещения, ФЭУ допускают использование в широком диапазоне масштабов и ситуаций [5]. Они могут применяться как в составе отдельных элементов зданий (светопрозрачные заполнения, солнцезащитные устройства, покрытия входных групп), так и в виде протяжённых конструкций (навесы, павильоны, шумозащитные экраны). Такая вариативность позволяет рассматривать ФЭУ как инструмент архитектурно-пространственной организации среды на разных уровнях: от объектного до территориального, имеющего специфические качества для создания современной образной выразительности.

Дополнительным усложняющим фактором является морфологическая неоднородность застройки региона, включающая исторические кварталы конца XIX – начала XX века [6], индустриальные территории и массовую жилую застройку советского и постсоветского периодов. Каждая из этих групп задаёт различные условия размещения ФЭУ: историческая среда ограничивает их применение требованиями сохранения стилевой и композиционной целостности; индустриальные территории, напротив, допускают их масштабное использование благодаря значительным площадям и отсутствию жёстких композиционных регламентов; массовая жилая застройка ориентирует на типовые и воспроизводимые решения. Таким образом, региональный контекст выступает одним из факторов, дифференцирующих подходы к применению фотоэлектрических систем [7].

Однако требуется предварительная фиксация специфики самих фотоэлектрических установок, отличающей их от прочих систем преобразования солнечного излучения. Фотоэлектрический модуль представляет собой тип гелиопреобразователя, допускающий замещение материала ограждающих конструкций здания. Он способен функционировать в качестве кровельного, фасадного или светопрозрачного элемента, одновременно выполняя ограждающие, теплотехнические, звукоизолирующие и светорегулирующие функции. Этим ФЭУ принципиально отличаются от прочих «солнечных установок», которые, как правило, сохраняют статус автономного инженерного оборудования. В международной практике данное различие закреплено в понятиях: BIPV (Building-Integrated Photovoltaics) – встроенные системы, в которых модуль является частью ограждающей конструкции, и BAPV (Building-Applied Photovoltaics) – системы, монтируемые поверх существующей оболочки без изменения её конструктивной функции [3]. Дополнительный аргумент – жизненный цикл фотоэлектрических модулей: срок эксплуатации 25-30 лет при сохранении высокого КПД допускает поэтапную реализацию и модернизацию объекта без существенного вмешательства в его архитектурно-конструктивную структуру.

Такое понимание соотносится с представлением об архитектурной среде как целостной композиции, в которой любая функциональная составляющая, включая инженерные элементы, участвует в формировании визуального облика. Как отмечал В. Гропиус, «окружающий нас рукотворный ландшафт – это огромная пространственная композиция <...>, где даже утилитарные элементы участвуют в формировании общего визуального восприятия»⁷.

С учётом указанных факторов можно выделить три основных способа размещения ФЭУ: кровельное, фасадное и наземное (рис. 5).

⁷ Гропиус В. Круг тотальной архитектуры. Москва: Ад Маргинем Пресс, 2017. С.197.



Рис. 5. Способы размещения ФЭУ: кровельное, фасадное и наземное

Кровельное размещение ФЭУ является наиболее распространённым и технологически простым. Приоритет решения обусловлен совокупностью объективных факторов: открытым характером кровельной поверхности, минимальным уровнем затенения и возможностью оптимальной ориентации модулей относительно солнечного излучения в актуальные сезоны года. Указанные условия обеспечивают высокую энергетическую эффективность без существенного усложнения объёмно-планировочной структуры. Реализация осуществляется в большей степени в форме BAPV; выбор обусловлен типом покрытия здания, стадией жизненного цикла объекта и архитектурно-проектными задачами.

С архитектурной точки зрения кровельное размещение, как правило, обладает ограниченным выразительным потенциалом: модули оказываются вне зоны основного визуального восприятия, кроме высотных жилых и офисных зданий, что снижает вероятность конфликта с окружающей застройкой. Вместе с тем такое положение ограничивает использование ФЭУ как активного средства формообразования. В международной практике данное ограничение преодолевается за счёт выноса фотоэлектрических модулей за пределы плоскости покрытия и их размещения на самостоятельных конструкциях. Так, в проекте библиотеки в Портленде, реализованном в рамках адаптивного повторного использования здания, часть из более чем 600 фотоэлектрических модулей размещена на выносных консольных элементах, формирующих силуэт сооружения и выполняющих функцию солнцезащитных устройств для фасадов и открытых террас (рис. 6а). Аналогичный подход прослеживается в комплексе Central Energy Facility несмотря на то, что данный объект относится к категории инфраструктурных сооружений. В этом случае фотоэлектрические модули используются не только как источник генерации, но и как элемент пространственной организации прилегающей территории (рис. 6б).

В условиях Оренбургского региона кровельное размещение выступает наиболее универсальным и технологически доступным способом включения ФЭУ в структуру здания. Преобладание мало- и среднеэтажной застройки формирует следующее восприятие: кровельные поверхности частично или полностью просматриваются с улицы и, следовательно, участвуют в формировании архитектурного облика городской среды. В этих условиях фотоэлектрические модули приобретают статус значимого композиционного элемента, влияющего на силуэтные характеристики застройки, её колористическое решение и ритмическую организацию. Указанные обстоятельства обуславливают необходимость согласования ФЭУ с традиционными кровельными материалами региона (металлочерепица, профилированный лист, рулонные покрытия), а также учёта геометрии

скатных крыш, характерной для индивидуального и малоэтажного строительства. Иная ситуация складывается в массовой жилой застройке с плоскими и малоуклонными покрытиями: здесь фотоэлектрические поля, организованные по регулярной сетке, не вступают в противоречие со сложившимся контекстом.



а)



б)

Рис. 6. Кровельное размещение ФЭУ: а) фрагмент фасада библиотеки, Портленд; б) центральный энергетический комплекс Central Energy Facility, Калифорния

Существенным недостатком кровельных ФЭУ в условиях Оренбургской области является снежный покров, снижающий их КПД в зимний период. Устойчивый снежный покров в регионе держится в среднем 135-150 дней в году (с третьей декады ноября до конца марта), а его высота к концу зимы достигает 20-40 см, в северных районах – до 50 см⁸. Ветровая активность провоцирует метелевый перенос и образование снежных наддувов, что вызывает локальное затенение модулей и неравномерную нагрузку на конструкции. В тёплый период эксплуатацию осложняют пыльные бури, типичные для степной зоны: ежегодно фиксируется от 3 до 15 дней с такими явлениями, преимущественно в апреле–июне. Оседающая пыль снижает выработку электроэнергии на 5-20 % и требует регулярной очистки панелей.

Фасадное размещение ФЭУ обладает наибольшим архитектурно-композиционным потенциалом, поскольку связано с преобразованием ограждающей структуры объекта. ФЭУ могут применяться в составе навесных фасадных систем, солнцезащитных устройств, остекления или в виде самостоятельных панелей. Используются BAPV и BIPV; в последнем случае ФЭУ выполняют функции ограждающей конструкции, включая защиту от внешних воздействий, участие в теплотехническом и акустическом режимах, регулирование светопропускания.

Высокая степень включения в структуру фасада изменяет статус ФЭУ: они становятся полноправным компонентом архитектурного решения. Параметры модульной системы, размер, ритм, цвет и фактура непосредственно влияют на композицию, тектонику, масштаб и образ фасада. В отличие от кровельного варианта, где модули чаще сохраняют нейтральный характер, фасадные решения способны выступать активным инструментом архитектурного формообразования. Современные технологии (цветные и тонкоплёночные элементы, панели с вариативной текстурой) расширяют возможности адаптации к различным проектным задачам и позволяют рассматривать ФЭУ не только как источник энергии, но и как средство архитектурной выразительности.

⁸ Географический атлас Оренбургской области // Институт степи УрО РАН. URL: <https://geoportal.rgo.ru/record/7453> (дата обращения: 10.04.2026).

Так, в ряде общественных зданий применяются полупрозрачные фотоэлектрические модули на основе сенсibilизированных красителем элементов (DSSC), которые, будучи включёнными в фасадную оболочку, одновременно обеспечивают генерацию электроэнергии, регулируют уровень инсоляции и сохраняют визуальную проницаемость ограждения. Например, юго-западный фасад конференц-центра SwissTech оснащён 355 модулями DSSC (рис. 7а). В то же время в общественном здании (ратуша и детский сад) во Фрайбурге фотоэлектрические панели используются как средство пластической организации фасада: ритмически смещённые вертикальные модули формируют тектонический образ ограждающей поверхности и участвуют в энергоснабжении здания (рис. 7б).



а)



б)

Рис. 7. Фасадное размещение ФЭУ: а) фрагмент фасада конференц-центра SwissTech, Швейцария; б) ратуша Фрайбурга, Германия

Фасадное размещение ФЭУ в условиях Оренбурга непосредственно связано с проблемой их контекстуальной совместимости с существующей архитектурной средой. В исторически сложившейся застройке центральных районов, с развитым пластическим декором и соразмерным человеку масштабом, введение стандартных фотоэлектрических модулей, характеризующихся нейтральным тёмно-синим или чёрным цветом, отражающей поверхностью и жёсткой модульной геометрией, приводит к выраженному визуальному диссонансу. Это ограничивает возможности их применения в рамках задач сохранения историко-архитектурного наследия.

В то же время иная ситуация наблюдается в застройке советского и постсоветского периодов, представленной панельными жилыми зданиями с плоскими, слабо дифференцированными по пластике и цвету фасадами и повторяющимся ритмом проёмов. Наблюдается снижение требований к стилистической согласованности, что формирует благоприятные предпосылки для включения ФЭУ без ущерба для архитектурного облика. Более того, в условиях визуально монотонной среды фасадные ФЭУ могут рассматриваться как средство её архитектурной трансформации: регулярная модульная структура, их цветофактурные характеристики могут рассматриваться как средство композиционного упорядочения и визуальной трансформации среды.

Наземное размещение ФЭУ связано с организацией открытых пространств и реализуется на двух уровнях – территориальном и объектном. Территориальный уровень представлен СЭС, формирующими элементы энергетической инфраструктуры. Объектный уровень включает малые формы (павильоны, осветительные установки, навесы), где ФЭУ обеспечивают локальную генерацию и автономность отдельных элементов среды. В региональном контексте оба уровня уже представлены: СЭС формируют основу энергетической системы, тогда как локальные решения получили распространение в городской среде и могут рассматриваться как начальный этап более широкого применения.

Архитектурно-композиционное значение указанных уровней различно. Территориальные комплексы формируют техногенный ландшафт, основанный на регулярности модульных структур, протяжённости и взаимодействии с рельефом. Объектный уровень, напротив, носит дисперсный характер и формирует распределённую систему ФЭУ в повседневной городской среде, обеспечивая непосредственное взаимодействие пользователя с технологиями солнечной энергетики. В качестве репрезентативного примера может быть рассмотрен проект «Smart Tree», в рамках которого фотоэлектрические модули интегрированы в несущую конструкцию павильонного типа (рис. 8а,б). Конструктивное решение предполагает фиксацию ФЭУ на каркасе, обеспечивающем как затенение прилегающей общественной территории, так и поддержание оптимального угла инсоляции рабочих поверхностей модулей. Аналогичный принцип реализован при проектировании биоморфных фотоэлектрических навесов парковочной зоны культового сооружения на территории КНР, суммарная площадь которых составляет порядка 13 000 м² (рис. 8в).

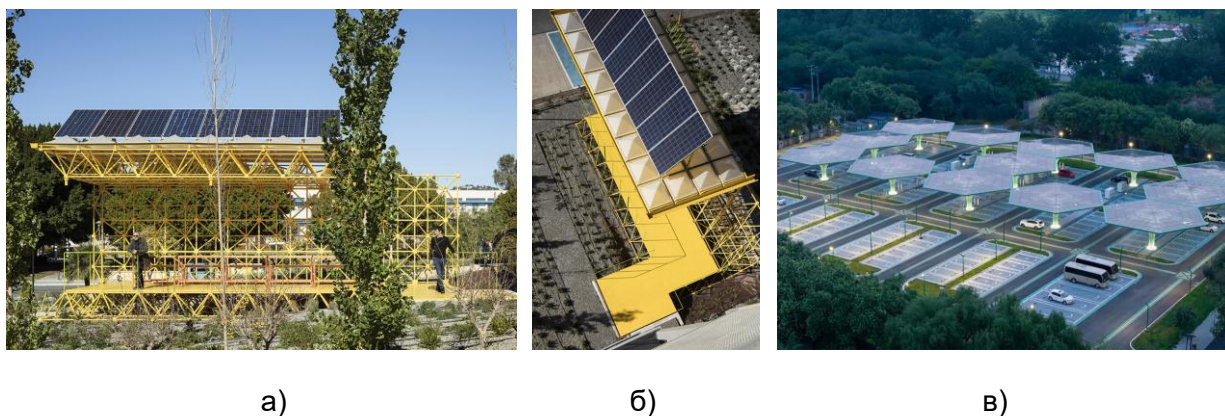


Рис. 8. Наземное размещение ФЭУ: а) общий вид павильона Smart Tree, Испания; б) фрагмент павильона Smart Tree, Испания; в) фотоэлектрические навесы над парковкой, Китай

Применительно к Оренбургской области наземное размещение актуализирует задачу согласования масштабов солнечной генерации с архитектурно-ландшафтным контекстом. Территориальный уровень представлен СЭС, составляющими основу региональной энергетической инфраструктуры. Объектный уровень уже получил распространение в виде автономных осветительных и светофорных установок, остановочных павильонов и информационных конструкций. Данные решения типологически нейтральны по отношению к застройке и могут рассматриваться как начальный этап формирования распределённой системы солнечной генерации. Тем самым оба уровня в совокупности обеспечивают формирование энергетического каркаса региона и последовательное включение ФЭУ в повседневную городскую среду, что определяет значимость и перспективность данного направления для архитектурно-градостроительной практики.

Сопоставление типов размещения показывает, что кровельные и крупномасштабные наземные решения обеспечивают максимальную энергетическую отдачу, тогда как фасадные и объектные формы обладают более выраженным архитектурным потенциалом. Выбор конкретного решения определяется балансом энергетических, композиционных и градостроительных требований, задаваемых условиями конкретного объекта и контекста. В условиях Оренбургской области эффективное развитие солнечной энергетики требует перехода от преимущественно инфраструктурной модели к комплексному архитектурно-градостроительному освоению фотоэлектрических технологий. Это предполагает сочетание различных типов размещения в зависимости от морфологии застройки и масштабного уровня среды, от запросов заказчика и технико-экономических возможностей (рис. 9).

Оренбург



ул. Постникова



пер. Свободина



ул. Советская

критерии	КРОВЕЛЬНОЕ размещение	ФАСАДНОЕ размещение	НАЗЕМНОЕ размещение
энергетическая эффективность	высокая: обусловлена благоприятными условиями инсоляции и минимальным затенением, характерным для малоэтажной застройки	средняя: определяется ориентацией фасадных плоскостей и степенью затенения в условиях плотной городской застройки	высокая: обеспечивается возможностью оптимальной ориентации модулей и размещения на открытых незастроенных территориях
архитектурная выразительность	оказывает существенное влияние на силуэт, визуальный облик малоэтажной застройки; предполагает колористическую и геометрическую согласованность модулей с кровельными материалами	формирует тектонику и пластику фасадной поверхности; требует композиционной и стилистической интеграции в существующий архитектурный контекст	формирует элементы техногенного ландшафта; степень визуального воздействия определяется масштабом установки и характером окружающей среды
архитектурно-градостроительная уместность	наиболее применимо в зонах индивидуальной и среднеэтажной жилой застройки, преобладающей в структуре города	ограниченно применимо в зонах исторической застройки (ул. Советская, ул. Правды и др.); перспективно для объектов общественного назначения, промышленных сооружений и новых жилых комплексов	наиболее целесообразно для периферийных и незастроенных территорий; в пределах центральной части города рекомендует локальное точечное размещение
эксплуатационная целесообразность	отличается относительной простотой монтажа и технического обслуживания; допускает поэтапное наращивание установленной мощности	предполагает повышенную сложность проектных и конструктивных решений, а также специализированные требования к техническому обслуживанию	обеспечивает упрощенный доступ к оборудованию; эффективно в условиях централизованного технического обслуживания
региональная специфика	распространенность скатных кровель в городской застройке обуславливает повышенные требования к колористической и геометрической совместимости модулей с контекстом	применение требует детальной визуальной и композиционной адаптации к сложившемуся архитектурному контексту города	регион располагает опытом реализации крупных СЭС; перспективным направлением является развитие локальных решений в составе городской инфраструктуры

Рис. 9. Сопоставительная характеристика основных способов размещения ФЭУ применительно к условиям г. Оренбурга

Заключение

В результате проведенного исследования было уточнено соотношение понятий «гелиоархитектура» и «солнечная энергетика». Фотоэлектрические установки рассмотрены как один из инструментов реализации энергетической составляющей гелиоархитектуры. Показано, что в архитектурном контексте солнечное излучение выступает не только как источник энергии, но и как фактор формирования пространственно-композиционных и визуально-образных характеристик среды, что определяет необходимость комплексного подхода к его использованию.

На примере Оренбурга и Оренбургской области выявлен дисбаланс между высоким ресурсным потенциалом солнечной энергии и ограниченным характером его архитектурно-технического освоения: при развитой практике крупномасштабной наземной генерации применение фотоэлектрических установок в структуре зданий и объектов городской среды остаётся фрагментарным.

Установлено, что ключевым ограничением выступает не ресурсный или технологический фактор, а недостаточная разработанность архитектурно-пространственных подходов к размещению фотоэлектрических систем. В этой связи принципиальное значение приобретает рассмотрение ФЭУ не только как инженерного оборудования, но и как элемента архитектурной структуры, способного участвовать в формировании современного облика зданий и городской среды.

Выделение трёх базовых типов размещения ФЭУ – кровельного, фасадного и наземного – позволило выявить их функционально-пространственную специфику и область рационального применения. Кровельные и территориальные наземные решения характеризуются наибольшей энергетической эффективностью, тогда как фасадные и объектные наземные формы обладают более высоким архитектурно-композиционным потенциалом. Их сопоставление показывает, что данные типы не являются взаимоисключающими, а формируют взаимодополняющую систему, в которой распределение функций определяется условиями конкретного архитектурно-градостроительного контекста.

Дополнительно установлено, что морфологическая неоднородность застройки оренбургского региона выступает определяющим фактором дифференциации подходов к размещению ФЭУ. Историческая среда накладывает ограничения на визуально выраженные решения, тогда как индустриальные и массовые жилые территории, напротив, создают предпосылки для их широкого применения и типизации. Это подтверждает необходимость контекстно-ориентированного проектирования, учитывающего типологические, конструктивные и композиционные параметры среды.

Источники иллюстраций

Рис. 1. Иллюстрация составлена автором Щепетковым Н.И.

Рис. 2 а) URL: <https://www.archdaily.com/1013310/kalyon-karapinar-50-mwp-spp-central-control-building-bilgin-architects> (дата обращения: 10.04.2026); б) URL: https://www.cleanenergo.ru/2018/vnedrenie-solnechnoj-energii-v-stroitelstvo-i-arhitekturu/?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera (дата обращения: 10.04.2026).

Рис. 3 а) URL: <https://www.mosessco.com/en/projects/ashalim-power-station/> (дата обращения: 10.04.2026); б) URL: <http://www.iinr.ru/posts/oiyai-uzbekistan/> (дата обращения: 10.04.2026); в) URL: <https://www.blackfishengineering.com/post/exploring-the-noor-ouarzazate-solar-complex-a-powerful-symbol-of-renewable-innovation> (дата обращения: 10.04.2026); г) URL: <https://helioscsp.com/concentrated-solar-power-industry-will-usher-in-large-scale-development-opportunities/#post/0> (дата обращения: 10.04.2026).

Рис. 4. <https://minstroyrf.gov.ru/docs/432245/> (дата обращения: 10.04.2026).

Рис. 5. Иллюстрация составлена автором Николаевой И.О.

Рис. 6 а) URL: https://www.archdaily.com/1037675/multnomah-county-library-operations-center-hennebery-eddy-architects?ad_medium=office-landing&ad_name=featured-image (дата обращения: 10.04.2026); б) URL: https://www.archdaily.com/786168/stanford-university-central-energy-facility-zgf-architects?ad_source=myad_bookmarks&ad_medium=bookmark-open (дата обращения: 10.04.2026).

Рис. 7 а) URL: <https://www.archdaily.com/491135/richter-dahl-rocha-develop-innovative-facade-for-swisstech-convention-center> (дата обращения: 10.04.2026); б) URL: <https://www.archdaily.com/885885/freiburg-town-hall-ingenhoven-architects> (дата обращения: 10.04.2026).

Рис. 8 а,б) URL: https://www.archdaily.com/962211/smart-tree-reusing-umas-waste-aq8arquitectura-plus-marinaunoarquitectos?ad_source=myad_bookmarks&ad_medium=bookmark-open (дата обращения: 10.04.2026); в) URL: https://mp.weixin.qq.com/s/q_hZ9aQclipPyAqEEdRGQ (дата обращения: 10.04.2026).

Рис. 9. Иллюстрация составлена автором Николаевой И.О.

Список источников

1. Щепетков Н.И. Световая архитектура и световой дизайн города и интерьера: иллюстрированный терминологический словарь-справочник: глоссарий. Москва: Перо, 2004. 312 с.
2. Дубовицкий В.В. Архитектурное формирование солнечных энергетических станций: в 2-х томах: дис. ... канд. архитектуры: 18.00.02 / Дубовицкий Владимир Викторович. Москва, 1989. 183 с.
3. 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 (дата обращения: 10.04.2026).
4. Щепетков Н.И. Физика света в архитектуре будущего // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2021. № 1(54). С. 248-261. URL: https://marhi.ru/AMIT/2021/1kvart21/PDF/16_shchepetkov.pdf (дата обращения: 10.04.2026).
5. 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.
6. Шлеюк С.Г. Эстетика индустриальной архитектуры Оренбурга XIX-XX вв.: монография. Оренбург: Оренбургская книга, 2025. 311 с.
7. Есаулов Г.В. От экологии культуры к идентичности месту и времени // *Academia. Архитектура и строительство*. 2025. № 4. С. 15-23. DOI: <https://doi.org/10.22337/2077-9038-2025-4-15-23>

References

1. Shchepetkov N.I. *Svetovaya arhitektura i svetovoj dizajn goroda i inter'era* [Light architecture and light design of the city and interior]. Moscow, 2004, 312 p.
2. Dubovickij V.V. *Arhitekturnoe formirovanie solnechnyh energeticheskikh stancij* [Architectural formation of solar power plants]. Moscow, 1989, 183 p.
3. 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
4. Shchepetkov N.I. Physics of Light in the Architecture of the Future. *Architecture and Modern Information Technologies*, 2021, no. 1(54), pp. 248-261. Available at: https://marhi.ru/AMIT/2021/1kvart21/PDF/16_shchepetkov.pdf
5. Selivanov N.P., Melua A.I., Zokoley S.V. et al. *Energoaktivnye zdaniya* [Energy-active buildings]. Moscow, 1988, 373 p.

6. Shleyuk S.G. *Estetika industrial'noj arhitektury Orenburga XIX-XX vv.* [Aesthetics of industrial architecture of Orenburg of the XIX-XX centuries]. Orenburg, 2025, 311 p.
7. Esaulov G.V. *Ot ekologii kul'tury k identichnosti mestu i vremeni* [From the ecology of culture to the identity of place and time]. Academia. Architecture and construction, 2025, pp. 15-23. DOI: <https://doi.org/10.22337/2077-9038-2025-4-15-23>

ОБ АВТОРАХ

Щепетков Николай Иванович

Доктор архитектуры, профессор, заведующий кафедрой «Архитектурная физика», Московский архитектурный институт (государственная академия), Москва, Россия
n_shchepetkov@inbox.ru

Николаева Ирина Олеговна

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

ABOUT THE AUTHORS

Shchepetkov Nikolay I.

Doctor of Architecture, Professor, Head of the Department of Architectural Physics, Moscow Architectural Institute (State Academy), Moscow, Russia
n_shchepetkov@inbox.ru

Nikolaeva Irina O.

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