

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ И РЕСТАВРАЦИЯ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 624.954

DOI: 10.22227/1997-0935.2025.1.11-19

Интегрированные типы производственных зданий на основе использования солнечной энергии для условий Сирии

Ахмад Майя, Александр Иванович Финогенов

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Рассматривается актуальная проблема, связанная с развитием промышленного потенциала городов Сирии. С учетом географического размещения страны в условиях жаркого климата предлагается широкое использование воспроизводимых источников солнечной энергии с применением высокоэффективных энергогенерирующих устройств в виде параболических солнечных концентраторов. Изложены результаты исследований по формированию энергоэффективных производственных зданий с интеграцией в их структуре солнечных концентраторов, системно размещаемых в верхнем пространстве зданий над покрытием.

Материалы и методы. Принципиальная возможность использования энергогенерирующих солнечных концентраторов проиллюстрирована на основе вариантного анализа возможных приемов конструктивного размещения и ориентации энергетических модулей для различных типов производственных зданий. Новые решения показаны как для условий конструктивно независимого опирания систем наружных энергетических модулей, так и для условий их частичного или полного опирания на конструкции каркаса производственного здания.

Результаты. Рекомендованные новые решения обеспечивают энергетическую автономность предприятия, возможность гибкого, компактного и независимого размещения энергогенерирующих устройств в условиях существующей производственной застройки, а также при совершенствовании и модернизации производственных зданий.

Выводы. Предлагаемые решения по формированию новых энергоэффективных типов производственных зданий на основе активного использования солнечной энергии рекомендуются к широкому практическому применению, что обеспечит условия устойчивого развития промышленных центров в городах Сирии.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: солнечная энергия, производственные здания, солнечные концентраторы, энергогенерирующие устройства, планировочная структура, интегрированные решения

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Майя А., Финогенов А.И. Интегрированные типы производственных зданий на основе использования солнечной энергии для условий Сирии // Вестник МГСУ. 2025. Т. 20. Вып. 1. С. 11–19. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.1.11-19

Автор, ответственный за переписку: Александр Иванович Финогенов, finogenov45@mail.ru.

Integrated types of industrial buildings based on the use of solar energy for Syrian conditions

Ahmad Maya, Aleksander I. Finogenov

*Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. The paper reflects an important problem related to the development of industrial potential of Syrian cities. Taking into account the geographical location of the country in hot climate conditions, it is proposed to widely use renewable sources of solar energy, using highly efficient energy-generating devices in the form of parabolic solar concentrators. The results of research on the formation of energy-efficient industrial buildings with the integration of solar concentrators in their structure, systematically placed in the upper space of buildings above the roof, are presented.

Materials and methods. The fundamental possibility of using energy-generating solar concentrators is illustrated in the paper based on a variant analysis of possible methods of constructive placement and orientation of energy modules for various types of industrial buildings. New solutions are shown both for conditions of structurally independent support of external energy module systems and for conditions of their partial or complete support on the frame structures of an industrial building.

Results. The recommended new solutions provide energy autonomy of the enterprise, the possibility of flexible, compact and independent placement of energy-generating devices in the conditions of the existing industrial development, as well as in the conditions of improvement and modernization of industrial buildings.

Conclusions. The proposed solutions for the formation of new energy-efficient types of industrial buildings based on the active use of solar energy are recommended for wide practical application, which will provide conditions for the sustainable development of industrial centres in the cities of Syria.

KEYWORDS: solar energy, industrial buildings, solar concentrators, energy-generating devices, planning structure, integrated solutions

FOR CITATION: Maya A., Finogenov A.I. Integrated types of industrial buildings based on the use of solar energy for Syrian conditions. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2025; 20(1):11-19. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.1.11-19 (rus.).

Corresponding author: Aleksander I. Finogenov, finogenov45@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Важными направлениями в проектировании промышленных предприятий являются требования роста экономической эффективности и снижения материалоемкости промышленных объектов [1]. Однако в мировой практике, ориентированной на устойчивое развитие, все большее значение приобретают требования по сокращению энергопотребления, повышению энергоэффективных качеств зданий и сооружений [2]. Один из перспективных методов разрешения этой задачи — использование в проектных решениях альтернативных источников энергии [1]. Эти тенденции во многом определены уменьшением мировых запасов традиционных топливных ресурсов, увеличением их стоимости и негативной динамикой состояния природной среды, обусловленной сжиганием углеводородного топлива [3]. Таким образом, в промышленных отраслях ключевой тенденцией станет ориентация проектной и строительной практики на применение возобновляемых природных источников энергии при сокращении объемов использования ископаемых видов топлива [4].

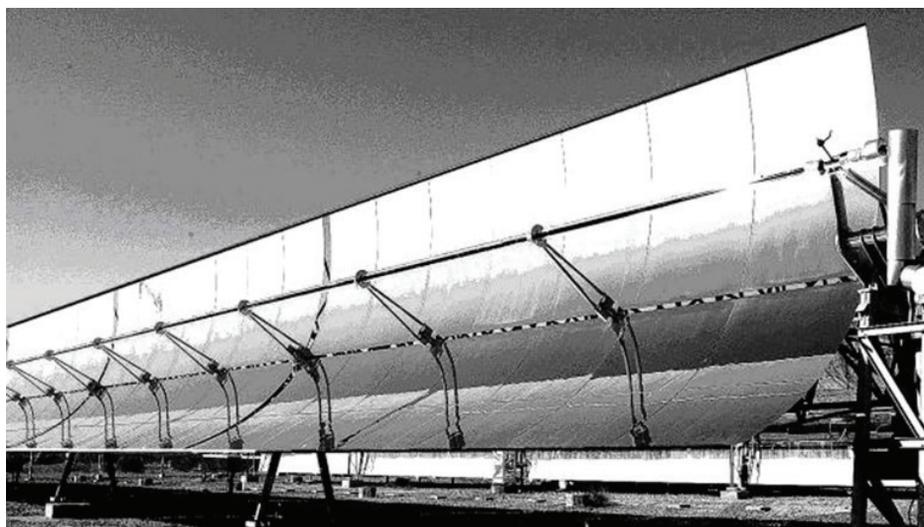
В настоящее время практика показывает различные направления в выборе и использовании альтернативных источников энергии, таких как геотермальное тепло, энергия ветра, воды и солнца. Эффективность их применения в промышленном строительстве будет во многом определяться географическим размещением объектов строительства, их отраслевым назначением, а также конкретными архитектурно-типологическими решениями зданий и сооружений.

Современные исследования указывают на значительный потенциал в использовании источников солнечной энергии в странах с устойчивым жарким климатом. В рассматриваемых природно-географических условиях Сирии, характеризующихся высокой интенсивностью солнечной радиации, применение солнечных энергогенерирующих устройств служит наиболее эффективным направлением в энергообеспечении городов и их промышленных центров [5]. Сегодня эти решения особенно актуальны, учитывая негативные экономические последствия послевоенного периода в Сирии и необходимость форсированного воспроизводства в этой стране собственных энергетических ресурсов [6].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Производство энергетических ресурсов станет основным направлением для современной экономики Сирийской Арабской Республики и развития ее промышленного потенциала. Определяющими предпосылками для такого развития являются особенности географических и климатических факторов в размещении страны. По своему географическому положению территория Сирии прилегает к экваториальной зоне, где количество солнечных дней составляет максимальную часть годового периода, при этом количество солнечных часов имеет значения 2700–3700. Среднегодовой уровень солнечной радиации достигает весьма высоких значений и составляет 700–2000 Вт/м², что в сравнении с другими странами обуславливает особую эффективность использования энергии солнца как основного источника возобновляемой энергии [6].

Практика показывает, что одно из перспективных направлений в использовании солнечных энергогенерирующих устройств — применение солнечных параболических концентраторов. Солнечные концентраторы — это технические устройства, которые концентрируют интенсивность солнечного излучения при помощи продольных сферических зеркальных отражающих поверхностей для разогрева и преобразования циркулирующего теплоносителя в пар высокого давления с последующим преобразованием этой тепловой энергии в электропаротурбинных установках. Параболические концентраторы характеризуются наибольшей энергоэффективностью по сравнению с солнечными плоскостными батареями и солнечными коллекторами. Более того, как показывает практика, использование этих устройств обеспечивает возможность их упорядоченного компактного плоскостного размещения и монтажа [7]. Таким образом, солнечные концентраторы могут быть интегрированы в структуру производственного здания, например, во внешнем пространстве плоскости покрытия. Данное решение, по мнению авторов, является наиболее целесообразным, учитывая архитектурную типологию промышленных зданий, значительную площадь наружных поверхностей покрытий, обеспечивающих возможность пространственно компактного многорядного размещения систем солнечных энергогенерирующих устройств. Кроме того, предлагаемая компоновка позволяет эффективно использовать фактическую площадь застройки промышленного здания, не занимая при этом допол-



Энергогенерирующий параболический солнечный концентратор, рекомендуемый для применения в климатических условиях Сирии

Energy-generating parabolic solar concentrator recommended for use in the climatic conditions of Syria

нительных земельных территорий в границах участков производственной застройки (рис.).

В этой связи важным последующим направлением станет изучение приемов рационального интегрирования солнечных энергогенераторов с планировочной и конструктивной структурой конкретных производственных зданий, используя их изначальную конструктивную жесткость, а также большие плоскостные поверхности наружных кровельных покрытий для размещения на них энергогенерирующих устройств.

Наряду с этим актуальной представляется задача выбора оптимальной планировочной ориентации размещаемых систем параболических солнечных концентраторов, конструктивно интегрируемых в пространстве покрытия зданий, по отношению к потоку солнечной радиации. Следует также учитывать неравномерность поступления радиационных потоков в зависимости от объективных сезонных изменений положения солнца по отношению к земной поверхности. В то же время, как показывает анализ, жесткая привязка пространственной структуры концентраторов к конструктивной основе промышленного здания-аналога может изначально не соответствовать выбору эффективного направления на солнечный источник [7, 8].

Эти особенности послужили основой для проведения комплексных исследований по выбору и разработке новых приемов независимого энергетически эффективного размещения солнечных концентраторов, обеспечивающих конструктивно гибкие способы их компоновки для различных условий конкретного планировочного размещения и конфигурации профиля производственного здания, используемого в качестве исходной конструктивной базовой основы.

В ходе исследования рассмотрены и проработаны различные приемы размещения систем солнечных

концентраторов, а именно: стационарно размещаемые на плоскости покрытия здания и конструктивно привязанные к направлению его планировочных осей; с независимой осевой ориентацией концентраторов на плоскости покрытия здания для выбора их энергетически эффективного направления. В основе других вариантов были приняты решения по размещению концентраторов с независимой наклонной или вертикальной ориентацией их монтажной плоскости по отношению к конструктивным планировочным осям базового производственного здания. В ряде случаев проработаны решения по полному выносу верхней монтажной плоскости крепления концентраторов за пределы здания с частичным опиранием ее на конструкции крайнего ряда колонн каркаса здания.

Предлагаемые приемы размещения и монтажа интегрированных солнечных установок учитывают различные ситуации развития промышленной застройки производственной зоны города: они могут монтироваться в структуре уже существующего здания, устанавливаться на зданиях, находящихся в процессе строительной реконструкции, или предусматриваться в составе вновь проектируемого энергоинтегрированного производственного здания. В каждом случае для проработки таких принципиальных решений требуется совместное участие конструкторов, архитекторов и технологов. Кроме того, формирование таких энергоинтегрированных зданий определяет новые возможности в создании выразительных архитектурно-композиционных решений производственных объектов [9, 10].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

С целью формирования эффективных приемов интеграции солнечных энергогенерирующих

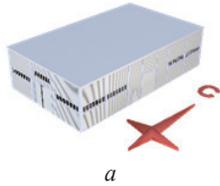
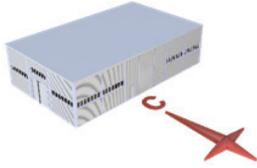
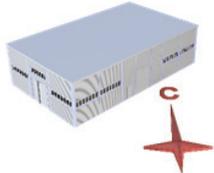
устройств в структуру производственных зданий в составе исследований предусмотрены варианты проектные проработки по их адаптации. В основу типологии размещения солнечных концентраторов параболического типа положен прием их интегрированного многорядного плоскостного расположения в конструктивной системе промышленного здания с частичным или полным использованием его верхнего пространства над покрытием [11, 12]. При таком размещении важно учитывать оптимальную планировочную ориентацию и угол наклона зеркал для обеспечения максимальной эффективности в утилизации солнечного излучения, его последующего преобразования в энергию пара и конечного производства электроэнергии [13–16].

В процессе исследований были проработаны основные принципиальные варианты пространственного размещения и ориентации солнечных энергетических устройств применительно к поверхностям условно выбранного экспериментального типа производственного здания-аналога. Вариантные решения предусматривают формирование единой многорядной структуры продольных параболических зеркал. Крепление протяженных зеркальных поверхностей в одних вариантах предполагает использование неза-

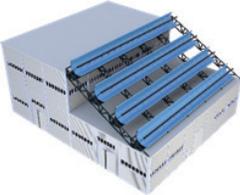
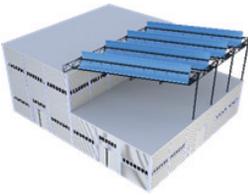
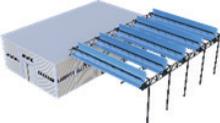
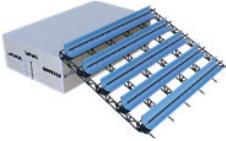
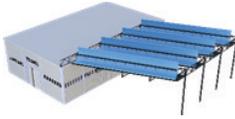
висимых большепролетных металлических конструкций с их периметральным опиранием на внешний каркас производственного здания. В других вариантах проработаны решения с частичным односторонним примыканием большепролетных конструкций концентраторов с их опиранием на колонны внешнего стенового каркаса здания. В ряде вариантов предусмотрено частично независимое самостоятельное опирание пространственных систем энергетических модулей за пределами стен корпуса здания-аналога. Системный вариантный анализ предложенных решений представлен в графической табл. 1.

Как видно из табл. 1, требования по выбору оптимальной направленности элементов солнечных энергетических устройств, представленных в виде единого пространственного модуля, являются определяющими в формировании энергоинтегрированного производственного объекта. Таблица иллюстрирует четыре принципиальные группы вариантов графических схем в качестве наиболее возможных практических ситуаций размещения полей концентраторов при формировании конкретного исходного энергоэффективного здания-аналога, а именно: однопролетное или многопролетное здание с единой высотой покрытия; производственное здание с разной

Табл. 1. Сравнительная таблица вариантов экспериментальных исследований по выбору возможных схем совместной интегрированной компоновки производственного здания и конструктивной системы солнечного энергетического модуля
Table 1. Comparative table of options for experimental studies on the selection of possible schemes for a joint integrated layout of a production building and a structural system of a solar energy module

<p>Варианты возможного размещения и ориентации производственного здания по отношению к географическим координатам Options for possible location and orientation of the production building in relation to geographic coordinates</p>	 <p style="text-align: center;">a</p>	 <p style="text-align: center;">b</p>	 <p style="text-align: center;">c</p>
<p>1. Приемы оптимального размещения систем солнечных концентраторов при разнонаправленной фактической осевой ориентации производственного здания / Techniques for optimal placement of solar concentrator systems in case of different actual axial orientation of a production building</p>	 <p style="text-align: center;">Схема 1 / Scheme 1</p>	 <p style="text-align: center;">Схема 2 / Scheme 2</p>	 <p style="text-align: center;">Схема 3 / Scheme 3</p>

Окончание табл. 1 / End of the Table 1

<p>2. Приемы оптимального размещения систем солнечных концентраторов в зданиях с различными высотами технологических пролетов</p> <p>Techniques for optimal placement of solar concentrator systems in buildings with different heights of technological spans</p>	 <p>Схема 4 / Scheme 4</p>	 <p>Схема 5 / Scheme 5</p>	 <p>Схема 6 / Scheme 6</p>
<p>3. Приемы размещения солнечных концентраторов с односторонним независимым примыканием к фасадной плоскости производственного здания / Solar concentrators with one-sided independent connection to the facade plane of a production building</p>	 <p>Схема 7 / Scheme 7</p>	 <p>Схема 8 / Scheme 8</p>	 <p>Схема 9 / Scheme 9</p>
<p>4. Приемы размещения системы солнечных концентраторов с независимым полным опиранием их на дополнительные конструктивные опоры за пределами стен здания-аналога</p> <p>Methods of placing the solar concentrator system with independent full support on additional structural supports outside the walls of the analogue building</p>	 <p>Схема 10 / Scheme 10</p>	 <p>Схема 11 / Scheme 11</p>	 <p>Схема 12 / Scheme 12</p>

высотой смежных пролетов; использование смежного прищехового пространства с частичным продольным конструктивным опиранием пространственного энергетического модуля на каркас здания; независимое периметральное опирание энергетического модуля с выносом опорных конструкций его несущего каркаса за пределы каркаса здания.

Каждая принципиальная группа вариантов, представленных в табл. 1, требует конкретной оценки реальной ситуации размещения производственного здания, определения потенциальной возмож-

ности максимального применения существующего пространства покрытия здания, а также возможности использования несущих конструкций его каркаса для опирания и выбора оптимальной ориентации большепролетных конструкций пространственного энергетического модуля. Данные приемы отражены в схемах по варианту 1.

В случае недостаточной площади пространства верхнего покрытия, например при однопролетном типе здания, целесообразно использование приемов в соответствии со схемами по варианту 3 — с ча-

стичным выносом конструкций энергетического поля концентраторов за пределы здания в пространство смежной прицеховой территории. При такой компоновке конструктивная система концентраторов может предусматривать существенное расширение полезного энергетического пространства, при этом будет частично опираться на дополнительные наружные опоры.

Аналогичный вариант с использованием дополнительных опорных конструкций показан также на примере схем по варианту 2 (табл. 1), где энергетическое поле концентраторов полностью размещается в планировочной структуре производственного здания, имеющего значительные перепады высот смежных технологических пролетов.

Следует отметить, что при общем рассмотрении вариантов использования различных приемов размещения интегрированных энергосистем важным принципиальным фактором является также оценка типов применяемых строительных конструкций в конкретном здании-аналоге, а именно: применение стального или железобетонного каркаса, а также смешанного использования каркасных и стеновых конструкций. В случаях недостаточной несущей способности каркаса конкретного здания-аналога конструктивное решение пространственной энергетической системы целесообразно выполнять в виде независимой большепролетной металлической рамной конструкции с выносом конструкций опор за пределы периметра здания, что показано на схемах в составе варианта 4 (см. табл. 1, вариант 4, схемы 10–12) [17, 18].

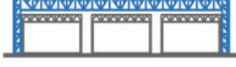
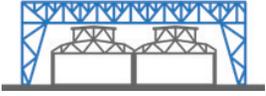
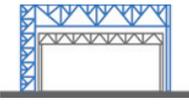
Предложенные принципиальные приемы, как правило, не требуют изменений в основной структуре здания и позволяют разместить солнечные концентраторы в оптимальном эффективном положении. Бо-

лее того, использование конструктивно независимых большепролетных рамных конструкций может применяться в случаях сложного конструктивного профиля здания, в схемах с неодинаковой протяженностью пролетов или в случаях принятия принципиального проектного решения по сохранению существующей конструктивной схемы здания в неизменяемом состоянии.

Другим принципиальным направлением в исследовании энергоинтегрированных систем стали варианты планировочных и конструктивных схем с применением большепролетных опорных рамных конструкций для крепления параболических зеркал, обеспечивающих высокую конструктивную прочность, полную независимость компоновки энергетического поля концентраторов от конфигурации поперечного профиля производственного здания-аналога и эффективность пространственной ориентации энергетического модуля на солнечный источник. Данные решения представлены в табл. 2. В отличие от схем 10–12 по варианту 4 (см. табл. 1) решения, показанные в табл. 2, целесообразны для применения в случаях сложного поперечного профиля производственного здания-аналога (наличия элементов светоаэрационных фонарей, высоких пролетов-вставок или дополнительных пристроек к основному зданию), а также в случаях использования в основном здании облегченных конструкций несущего каркаса.

Таким образом, использование независимых большепролетных металлических рамных конструкций обеспечивает выбор оптимальной продольной, поперечной или диагональной компоновки элементов солнечных концентраторов, а также полную независимость пространственной надстройки от конкретной схемы плана и поперечного профиля производственного здания-аналога [18–21].

Табл. 2. Варианты применения большепролетных опорных рамных конструкций как принципиального приема в обеспечении конструктивно независимого основания для размещения элементов пространственного энергетического модуля
Table 2. Variants of application of large-span support frame structures as a principle technique in providing a structurally independent base for placing the elements of the spatial energy module

		
Схема 1. Сплошная рама Scheme 1. Solid frame	Схема 2. Рама с жесткими стойками Scheme 2. Frame with rigid struts	Схема 3. Двухконсольная рама Scheme 3. Double cantilever frame
		
Схема 4. Сквозная рама с гибкими стойками Scheme 4. Lattice frame with flexible struts	Схема 5. Двухшарнирная рама Scheme 5. Double hinged frame	Схема 6. Одноконсольная рама Scheme 6. Single cantilever frame
		
Схема 7. Рама с одной гибкой стойкой Scheme 7. Frame with one flexible strut	Схема 8. Рама с наружными подкосами Scheme 8. Frame with external struts	Схема 9. Консольная рама Scheme 9. Cantilever frame

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Показана важность использования воспроизводимых природных источников энергии для обеспечения перспективного развития отраслевых объектов промышленности на территории Сирийской Арабской Республики. Как показывает климатогеографический анализ, важнейшим энергетическим ресурсом для такого развития в условиях размещения Сирии является использование энергии солнечного излучения.

Результатами исследования обоснована целесообразность использования энергогенерирующих источников на основе широкого применения устройств в виде параболических типов солнечных концентраторов. Представлена концепция формирования энергоавтономных производственных зданий с интеграцией в их структуре солнечных энергогенерирующих систем в виде пространственно развитых установок солнечных концентраторов.

Важной особенностью предлагаемых решений является их компактное размещение в пределах планировочной структуры конкретного модернизируемого производственного здания без использования дополнительных земельных территорий. Кроме того,

предлагаемая интегрированная компоновка пространственных энергетических модулей обеспечивает практическую возможность их планировочной организации в виде любой независимой схемы для обеспечения оптимальной планировочной ориентации концентраторов с учетом суточного движения солнца.

Рекомендованы принципиальные решения по эффективному размещению этих устройств с максимальным использованием планировочного пространства над покрытием существующих зданий. Представлены принципиальные приемы размещения пространственных энергетических модулей в виде систематизированных вариантов их планировочных и конструктивных решений. Предлагаемые приемы конструктивного размещения встраиваемых энергогенерирующих устройств учитывают возможность их размещения в структуре зданий с различным количеством пролетов, различным поперечным профилем и типами несущих конструкций.

Практической ценностью этих решений является возможность использования и модернизации существующих промышленных зданий, размещающихся в производственных центрах сирийских городов, в целях их автономного энергообеспечения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ильвицкая С.В., Поляков И.А. Этапы развития архитектуры и природы как единой системы // Естественные и технические науки. 2014. № 11–12 (78). С. 443–444. EDN TJVVUJ.
2. Корниенко С.В. Энергоэффективное производственное здание. Какое оно? // Энергосбережение. 2019. № 2. С. 38–41. EDN YZSKMX.
3. Фисенко А.А., Бассе М.Е. Энергоэффективность промышленной архитектуры: Современная теория и практика // Архитектура и современные информационные технологии. 2013. № 2 (23). С. 13. EDN QAQVCV.
4. Баринаева В.А., Ланьшина Т.А. Особенности развития возобновляемых источников энергии в России и в мире // Российское предпринимательство. 2016. Т. 17. № 2. С. 259–270. DOI: 10.18334/tp.17.2.2214. EDN VOCHOV.
5. Бутко В.Н., Украинец М.С. Состояние и мировые перспективы развития солнечной электроэнергетики // Вестник науки Костанайского социально-технического университета имени академика З. Алдамжар. 2012. № 3. С. 49–57.
6. ضارعتس ال، يلودل اوعتلا او طيخعتلا ئىءه، قامادتس مل ءىمنتل ا فاده ا نع لوال ا يوطلا ين طول ا [Орган планирования и международного сотрудничества // Первый национальный добровольный обзор по целям устойчивого развития. Сирийская Арабская Республика : Администрация Совета Министров, 2020. 85 с.]. URL: file:///D:/PHD/اعج ارم/_2020_Syria_Report_Arabic.pdf
7. Li G., Xuan Q., Akram M.W., Akhlaghi Y.G., Liu H., Shittu S. Building integrated solar concentrating systems : a review // Applied Energy. 2020. Vol. 260. P. 114288. DOI: 10.1016/j.apenergy.2019.114288
8. Good C., Chen J., Dai Y., Hestnes A.G. Hybrid photovoltaic-thermal systems in buildings : a review // Energy Procedia. 2015. Vol. 70. Pp. 683–690. DOI: 10.1016/j.egypro.2015.02.176
9. Николаева И.О. Особенности интеграции фотоэлектрических установок в архитектуру зданий (на примере научно-производственных комплексов) // Архитектура и современные информационные технологии. 2023. № 2 (63). С. 115–129. DOI: 10.24412/1998-4839-2023-2-115-129. EDN VZDYPK.
10. Андреев В.М., Грилихес В.А., Румянцев В.Д. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения. Л. : Наука : Ленингр. отд-ние, 1989. 308 с.
11. Cappelletti A., Nelli L.C., Reatti A. Integration and architectural issues of a photovoltaic/thermal linear solar concentrator // Solar Energy. 2018. Vol. 169. Pp. 362–373. DOI: 10.1016/j.solener.2018.05.013
12. Cappelletti A., Catelani M., Ciani L., Kazimierzczuk M.K., Reatti A. Practical issues and characterization of a photovoltaic/thermal linear focus 20X solar concentrator // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 2016. Pp. 2464–2475. DOI: 10.1109/TIM.2016.2588638

13. Подковальников С.В., Поломошина М.А. Интеграция возобновляемых источников энергии в систему электроснабжения промышленного предприятия // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22. № 11 (142). С. 182–198. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-11-182-198. EDN YPWUJF.

14. Поляков И.А., Ильвицкая С.В. Использование средств альтернативной энергетики при формировании художественного образа в архитектуре // Архитектура и современные информационные технологии. 2017. № 1 (38). С. 160–173. EDN YGIKZV.

15. Семкин П.П. Принципы формирования архитектуры высотных зданий с возобновляемыми источниками энергии : дис. ... канд. арх. М., 2014. С. 40–41. EDN FPOSSO.

16. Чесноков С.А., Чесноков А.Г., Прилипко С.Г. Использование тонкопленочных солнечных модулей в архитектуре // ОАО «ГИС». 2014.

17. Бузало Н.А., Пономарев Р.Р. Типовые решения производственных зданий с металлическим

каркасом, построенных в советский период // Информационные технологии в обследовании эксплуатируемых зданий и сооружений : мат. 18-й Междунар. науч.-практ. конф. 2019. С. 9–14. EDN TOUCPZ.

18. Финогенов А.И. Интегрированные типы промышленных зданий с использованием ветроэнергетических установок // Промышленное и гражданское строительство. 2022. № 2. С. 36–42. DOI: 10.33622/0869-7019.2022.02.36-42. EDN CSLLNW.

19. Androusoopoulos A., Drosou V., Christodoulaki R., Rovira A.J., Enriquez J., Abbas R. et al. Energy saving in industrial buildings using advanced concentrated solar thermal systems // IOP Conference Series : Earth and Environmental Science. 2023. Vol. 1196. Issue 1. P. 012024. DOI: 10.1088/1755-1315/1196/1/012024

20. Parthiv K., Turchi C. Initial Investigation into the Potential of CSP Industrial Process Heat for the Southwest United States. National Renewable Energy Laboratory, 2015.

21. Дятков С.В., Михеев А.П. Архитектура промышленных зданий. М. : Изд-во АСВ, 2008. 550 с.

Поступила в редакцию 4 июня 2024 г.

Принята в доработанном виде 20 октября 2024 г.

Одобрена для публикации 20 октября 2024 г.

ОБ АВТОРАХ: Ахмад Майя — аспирант; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; mayahamad8877@gmail.com;

Александр Иванович Финогенов — кандидат архитектуры, доцент кафедры архитектуры Института архитектуры и градостроительства, старший научный сотрудник; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 5969-0492, Scopus: 57200279286, ORCID: 0000-0003-2835-599X; finogenov45@mail.ru.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Ilvitskaya S.V., Polyakov I.A. Stages of development of architecture and nature as a single system. *Natural and Technical Sciences*. 2014; 11-12(78):443-444. EDN TJVVUJ. (rus.).

2. Kornienko S.V. Energy-efficient industrial building. What is it? *Energy Saving*. 2019; 2:38-41. EDN YZSKMX. (rus.).

3. Fisenko A.A., Basse M.E. Energy efficiency of industrial architecture: Modern theory and practice. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2013; 2(23):13. EDN QAOVCV. (rus.).

4. Barinova V.A., Lanshina T.A. Development of renewable energy sources in Russia and in the world. *Russian Journal of Entrepreneurship*. 2016; 17(2): 259-270. DOI: 10.18334/rp.17.2.2214. EDN VOCHOB. (rus.).

5. Butko V.N., Ukrainets M.S. Status and world prospects for the development of solar power engineer-

ing. *Bulletin of Science of the Kostanay Social and Technical University named after Academician Z. Aldamzhar*. 2012; 3:49-57.

6. ضارعتسالا، يلودل نواعتل او طبيطختلا ءئيه. ءيرومءءلا، ءمءءءءمءلا ءمءءءلا فءءءمءلا نء لءءل ءءءءءءل ءءءءءءل [Planning and International Cooperation Authority. First National Voluntary Review on the Sustainable Development Goals. Syrian Arab Republic : Prime Minister's Office, 2020; 85]. URL: file:///D:/PHD/ءءءءءء/_2020_Syria_Report_Arabic.pdf

7. Li G., Xuan Q., Akram M.W., Akhlaghi Y.G., Liu H., Shittu S. Building integrated solar concentrating systems : a review. *Applied Energy*. 2020; 260:114288. DOI: 10.1016/j.apenergy.2019.114288

8. Good C., Chen J., Dai Y., Hestnes A.G. Hybrid photovoltaic-thermal systems in buildings : a review. *Energy Procedia*. 2015; 70:683-690. DOI: 10.1016/j.egypro.2015.02.176

9. 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; 2(63):115-129. DOI: 10.24412/1998-4839-2023-2-115-129. EDN VZDYPK. (rus.).
10. Andreev V.M., Grilikhes V.A., Romyantsev V.D. *Photoelectric conversion of concentrated solar radiation*. Leningrad, Nauka, Leningrad Department, 1989; 308. (rus.).
11. Cappelletti A., Nelli L.C., Reatti A. Integration and architectural issues of a photovoltaic/thermal linear solar concentrator. *Solar Energy*. 2018; 169:362-373. DOI: 10.1016/j.solener.2018.05.013
12. Cappelletti A., Catelani M., Ciani L., Kazimierzczuk M.K., Reatti A. Practical issues and characterization of a photovoltaic/thermal linear focus 20X solar concentrator. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. 2016; 2464-2475. DOI: 10.1109/TIM.2016.2588638
13. Podkovaalnikov S.V., Polomoshina M.A. Integration of renewable energy sources into the industrial enterprise electric power supply system. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2018; 22(11):(142): 182-198. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-11-182-198. EDN YPWUJF. (rus.).
14. Polyakov I., Ilvitskaya S. The artistic image of architecture using alternative energy devices. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2017; 1(38):160-173. EDN YGIKZV. (rus.).
15. Semikin P.P. *Principles of formation of architecture of high-rise buildings with renewable energy sources : diss. ... cand. arch.* Moscow, 2014; 40-41. EDN FPOSSO. (rus.).
16. Chesnokov S.A., Chesnokov A.G., Prilipko S.G. Use of thin-film solar modules in architecture. *JSC "GIS"*. 2014. (rus.).
17. Buzalo N.A., Ponomarev R.R. Standard solutions for industrial buildings with a metal frame built in the Soviet period. *Information technologies in the survey of operating buildings and structures : materials of the 18th International scientific and practical conference*. 2019; 9-14. EDN TOUCPZ. (rus.).
18. Finogenov A.I. Integrated types of industrial buildings using wind power plants. *Industrial and Civil Engineering*. 2022; 2:36-42. DOI: 10.33622/0869-7019.2022.02.36-42. EDN CSLLNW. (rus.).
19. Androutsopoulos A., Drosou V., Christodoulaki R., Rovira A.J., Enríquez J., Abbas R. et al. Energy saving in industrial buildings using advanced concentrated solar thermal systems. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2023; 1196(1):012024. DOI: 10.1088/1755-1315/1196/1/012024
20. Parthiv K., Turchi C. *Initial Investigation into the Potential of CSP Industrial Process Heat for the Southwest United States*. National Renewable Energy Laboratory, 2015.
21. Dyatkov S.V., Mikheev A.P. *Architecture of industrial buildings*. Moscow, ASV Publishing House, 2008; 550. (rus.).

Received June 4, 2024.

Adopted in revised form on October 20, 2024.

Approved for publication on October 20, 2024.

BIONOTES: Ahmad Maya — postgraduate student; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; maya.ahmad8877@gmail.com;

Alexsander I. Finogenov — Candidate of Architecture, Associate Professor of the Department of Architecture of the Institute of Architecture and Urban Planning, Senior Researcher; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 5969-0492, Scopus: 57200279286, ORCID: 0000-0003-2835-599X; finogenov45@mail.ru.

Contribution of the authors: all authors made equivalent contributions to the publication.

The authors declare that there is no conflict of interest.