УДК 620.92

© Ю. Н. Казаков, д-р техн. наук, профессор

© О. А. Тимошук, канд. техн. наук, доцент

© К. С. Попова, магистрант

(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Россия)

E-mail: kazakov@spbgasu.ru, Oleg-tima@mail.ru, kpopovaksenia@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-5-123-129

© Yu. N. Kazakov, Dr. Sci. Tech., Professor

© O. A. Timoschuk, PhD in Sci. Tech., Associate Professor

© K. S. Popova, undergraduate

(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, Russia)

E-mail: kazakov@spbgasu.ru, Oleg-tima@mail.ru, kpopovaksenia@mail.ru

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МОНТАЖА СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ НА КРЫШАХ ЗДАНИЙ МЕТОДОМ АВТОМАТИЧЕСКОГО СОЕДИНЕНИЯ ИХ ФИКСАТОРОВ С ПАЗАМИ КАРКАСА И УСТРОЙСТВА РЕБЕР

IMPROVING THE TECHNOLOGY OF INSTALLING SOLAR PANELS ON BUILDING ROOFS BY THE METHOD OF AUTOMATICALLY CONNECTING THEIR RETAINING CLIPS WITH THE SLOTS OF THE FRAME AND THE DEVICE OF EDGES

Описан способ модификации модели и конструктивно-технологического решения устройства солнечных панелей на крышах зданий: предложена новая конструкция солнечной панели, которая упростит монтаж, а также будет способствовать быстрому остыванию панелей, что увеличит их КПД в солнечные дни. Установлено, что новая технология монтажа будет практически вдвое дешевле, а также в пять раз быстрее по времени, чем традиционная; кроме этого, конструкцию будет удобнее монтировать и демонтировать в случае необходимости.

Ключевые слова: солнечная батарея, энергоэффективность, эффективное крепление, рама панели, интеграция, «солнечная» крыша, инновационная технология, солнечная энергия.

The article describes a way of modifying the model and structural and technological solution for installation of solar panels on the roofs of buildings, which will simplify installation of solar panels and contribute to the rapid cooling of them. The new design will increase the efficiency coefficient of the solar panels on sunny days. It has been established that the new installation technology will be almost twice as cheaper, and also 5 times faster in time, in addition, it will be more convenient to mount and dismount if necessary.

Keywords: solar battery, energy efficiency, effective fastening, panel frame, integration, «solar» roof, innovative technology, solar energy.

Актуальность темы. Солнечная энергия — один из самых известных мощных и возобновляемых источников энергии. Солнечную энергию, несущую свет и тепло, используют несколько постоянно развивающихся технологий: солнечное отопление, фотовольтаика, концентрированная солнечная энергия (CSP), концентраторная фотовольтаика (CPV), солнечная архитектура и искусственный фотосинтез [1]. Использование

солнечной энергии в качестве возобновляемого источника энергии при нынешней экологической ситуации стало более популярным в энергетической промышленности из-за ее неисчерпаемого запаса и незагрязняющего характера [2–5].

Солнечные батареи — это одна из технологий преобразования и использования солнечной энергии для обеспечения освещения и отопления зданий, нагрева воды для бытового, коммер-

ческого или промышленного употребления. Солнечные панели представляют собой комплекс соединенных фотоэлементов, обеспечивающих необходимую расчетную мощность.

Для удовлетворения современных требований к конструктивным решениям и методам монтажа необходима модернизация и оптимизация существующих технологий устройства солнечных панелей на крышах зданий путем внесения изменений в конструкцию панелей и технологию их монтажа [2].

Таким образом, **целью настоящего научного исследования** на кафедре ТСП в СПбГАСУ в 2019–2020 годах было проведение исследований, направленных на совершенствование конструктивно-технологического устройства солнечных батарей на крышах зданий для обеспечения необходимых параметров качества и удобства эксплуатации.

Согласно поставленной цели были определены следующие научные задачи:

- показать влияние климатических условий и других факторов на эффективность солнечных панелей;
- провести сравнительный анализ вариантов конструктивно-технологических решений устройства солнечных панелей, обосновать рациональные конструктивно-технологические решения устройства солнечных панелей на крышах зданий;
- усовершенствовать существующую конструкцию и технологию монтажа солнечных панелей на крышах зданий;
- определить влияние модификаций конструкции на технологию монтажа и затраты труда;
- подтвердить целесообразность и обосновать эффективность разработанных конструктивно-технологических решений по устройству солнечных панелей на крышах зданий, а также рациональность их применения на практике;
- установить технико-экономическую эффективность использования солнечных панелей.

Объектом исследования является технология устройства и сама конструкция солнечной панели, расположенной на крыше здания.

Методика исследований включает в себя сбор литературных данных; теоретический и аналитический анализ конструкций и технологий

устройства солнечных батарей на крышах зданий; графический и экономико-статистический анализ конструкций и технологий устройства солнечных батарей на крышах зданий; выявление существенных недостатков современных конструкций и технологий в данной сфере; анализ исследований в области солнечной энергии; предложение решения применения модифицированных солнечных панелей для крыш зданий; разработка рекомендаций по технологии монтажа панелей [2].

Научная новизна состоит в применении новых, модифицированных солнечных панелей на крышах зданий, а также в новой технологии их устройства, что позволяет сократить трудоемкость монтажа и повысить качество крепления [6–8].

Практическое значение полученных результатов: правильная оценка конструктивных схем, технологии монтажа позволит сделать верный и обоснованный выбор конструкции панели для устройства их на крышах зданий в каждом конкретном случае. Разработанная модель позволит проводить монтаж солнечных панелей с улучшенными характеристиками и технико-экономическими показателями, а также применять данные панели на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области [3].

Рекомендации по использованию результатов исследования: в проектных организациях для руководства при проектировании системы солнечного энергообеспечения здания с использованием модифицированных панелей.

Существует много вариантов монтажа системы солнечных панелей для крыш, наиболее распространенными считаются рельсовые, безрельсовые, общие рельсы, балластные монтажные системы (обычно это небольшая бетонная установка) и также специальные несущие конструкции для плоских крыш. Данные системы обеспечивают структурную поддержку солнечных панелей на оптимальном наклоне, а также могут влиять на общую температуру системы [8].

Рассмотрим недостатки солнечных панелей. Основной недостаток — это первоначальная высокая стоимость покупки такой системы. Солнечные фотоэлектрические панели требуют много места, и некоторые крыши недостаточно велики, чтобы разместить на них необходимое

количество солнечных панелей. Еще один недостаток заключается в том, что эффективность работы панелей напрямую зависит от погодных условий.

Относительное изменение физического свойства, связанного с заданным изменением температуры, описывает температурный коэффициент, который и обуславливает основные потери энергии при использовании солнечных панелей. Коэффициент показывает, насколько падает эффективность панели при повышении температуры воздуха на 1 градус. Обычно температурный коэффициент, полученный опытным путем, указывается производителем в технических характеристиках. Проверку параметров панели проводят при температуре +25 °С. Следовательно, например, если температурный коэффициент солнечной батареи равен –0,5, это будет означать, что при увеличении температуры воздуха на каждый градус выше +25 °С КПД уменьшится на 0,5 % [6]. Кажется, эти потери незначительны, но в солнечный день зимой панель может нагреться до +40 °С, а летом температура солнечной батареи может достигать 60–80 °С, что влечет за собой уменьшение КПД на 7–10 % и на 10–20 % соответственно.

Существует формула определения температуры поверхности панели, °С [5]:

$$T_{pi} = T_{возд} + E_i / 800 (T_{п.экс} - 20^\circ\text{C}), \quad (1)$$

где $T_{возд}$ — температура окружающей среды в расчетной точке, °С; E_i — приход солнечного излучения; $T_{п.экс}$ — нормальная температура эксплуатации солнечной панели.

При этом КПД солнечной панели, определяется согласно зависимости [5]

$$\eta_{pi} = \eta_0 (1 - 0,0045 (T_{pi} - 25)), \quad (2)$$

где η_0 — КПД солнечной панели при температуре 25 °С, %; T_{pi} — температура поверхности солнечной панели, °С.

Следовательно, с конструктивной точки зрения следует избегать излишнего нагрева панели.

Технологии устройства панелей на крыше предусмотрены для разных типов крыш, и у каждой технологии имеется ряд недостатков. Остановимся на наиболее часто применяемой монтажной системе: рельсовое крепление. Необходимо обеспечить точность фиксации панели при устройстве, а также ускорить монтаж. Решить задачу предлагается с помощью обеспечения на-

дежного и легкого крепления солнечных панелей на крышах, которое улучшит существующую технологию монтажа солнечных панелей на крышах зданий.

Учитывая выявленные недостатки, нами разработано следующее предложение по совершенствованию конструктивно-технологических решений при устройстве солнечных панелей на крышах зданий.

Следует снизить нагревание солнечной панели при высоких температурах, чтобы КПД панели не уменьшался или снижался незначительно. Для решения поставленной задачи, предлагается модернизировать каркас панели, а именно увеличить площадь металла на задней поверхности панели путем введения теплосбрасывающего оребрения в виде тонких пластин с определенным шагом [5]. Для выбора подходящего металла приведем таблицу теплопроводности наиболее подходящих металлов (табл. 1).

Исходя из теплотехнических характеристик, а также из экономических соображений наиболее подходящим металлом будет алюминий [9]. Размеры солнечных панелей варьируются, следовательно, габаритные размеры пластин будут: длина — в пределах ширины панели минус толщина рамы; ширина пластины — по расчету; толщина рамы 30–40 мм; толщина пластины — 0,5–1 мм.

Количество таких пластин будет разным в зависимости от длины солнечной панели, в среднем 15 штук. Таким образом, вес панели увеличится примерно на 1–3 кг максимум.

В технологии устройства предлагается модернизировать каркас панели. Помимо устройства оребрения раму предлагается устроить с выемкой по всему контуру для упрощения монтажа. Общий вид панели представлен на рис. 1.

Таблица 1
Теплопроводность металлов

Металл	Коэффициент теплопроводности
Алюминий	209,3
Медь	389,6
Сталь нержавеющая	45,4
Вольфрам	54,2

Рис. 1. Общий вид задней поверхности усовершенствованной конструкции панели и разрез

Новая технология предполагает быстрый и недорогой способ устройства солнечных панелей на скатных кровлях. Предлагаемая монтажная система сводит к минимуму точки крепления к крыше.

Первый этап не отличается от традиционной установки: кронштейн крепится к стропилам и непосредственно к кровле с помощью саморезов дрелью с соблюдением всех гидроизоляционных мер. Далее крепятся алюминиевые профили, соединенные между собой при необходимости, образуя рельс. Профили предлагается крепить поперек ската кровли, то есть относительно существующей технологии крепления — на 90° . Крепление производится с помощью зажимов для алюминиевого профиля 3: держатели 3 надеваются на профиль 2 непосредственно до необходимого уровня, где будет происходить крепление (рис. 2). Данные зажимы фиксируются к установленным местам крепления с помощью болта и гайки. Этот процесс повторяется во всех положенных местах крепления [10]. Установленные профили должны быть на одном уровне. Затем в предполагаемом месте расположения первого ряда панелей устанавливаются ножки 4 путем введения в паз алюминиевого профиля и поворота гаечным ключом специального механизма на 90° . После монтажа первого ряда установочных ножек 4 поддерживающие алюминиевые профили 5 собираются вместе с помощью

фиксатора 6 путем вставки в паз профиля и также поворота его на 90° с помощью шарнирного гаечного ключа. Как только поддерживающие профили собраны, они монтируются к установочным ножкам, крепление производится путем легкого поворота в паз профиля и происходит точная фиксация [10]. Далее устанавливается первый солнечный модуль 1. Модули устанавливаются короткой стороной на рельс. На первом ряду на один модуль приходится одна установочная ножка и часть фиксатора (фиксатор рассчитан на два модуля). Паз модуля устанавливается на эти два крепежных элемента и фиксируется наклоном вниз. Установочная ножка фиксирует противоположную сторону модуля. Далее такая же операция производится со вторым модулем, а два установленных модуля между собой соединяются фиксатором 6. Процесс повторяется для всех последующих рядов солнечных панелей. Рельсы располагаются по осям А-Г, а фиксация происходит непосредственно по осям 1–4 (см. рис. 2).

Разработанная новая технология устройства солнечных панелей на крышах зданий отличается от стандартных технологий тем, что крепление практически всех деталей осуществляется в заранее предусмотренные для этого пазы.

Анализ оптимизации технологии устройства солнечных панелей на крышах зданий

Далее выполним сравнительный анализ инновационных технологических преимуществ разработанной новой технологии рельсового крепления солнечных панелей на крышах зданий и существующей стандартной технологии.

Выполненный анализ показал, что новое конструктивно-технологическое решение обладает рядом достоинств, позволяющих улучшить существующие технологии устройства солнечных панелей на крышах зданий. За счет модернизации рамы панели с устройством паза и введения новых крепежных деталей — фиксатора и установочной ножки — улучшено конструктивно-технологическое решение: сокращено время монтажа, отсутствуют мелкие крепежные детали, снизились трудозатраты на установку и демонтаж. За счет введения поддерживающего профиля удалось устранить вероятность скатывания панелей.

Рис. 2. Общая схема новой технологии устройства солнечных панелей на крыше: 1 — солнечный модуль; 2 — алюминиевый профиль; 3 — зажим для алюминиевого профиля; 4 — установочная ножка; 5 — поддерживающий алюминиевый профиль; 6 — фиксатор

Стоимость 1 м² устройства солнечных панелей на крышу по стандартной технологии:

$$C^1 = C^1_{\text{п}} + C^1_{\text{у}} + C^1_{\text{м}} = 18\,852 \text{ руб./м}^2, \quad (3)$$

где $C^1_{\text{п}}$ — стоимость панелей; $C^1_{\text{у}}$ — стоимость установки; $C^1_{\text{м}}$ — стоимость монтажной системы.

Стоимость 1 м² устройства солнечных панелей на крышу по новой технологии:

$$C^2 = C^2_{\text{п}} + C^2_{\text{у}} + C^2_{\text{м}} = 9146 \text{ руб./м}^2, \quad (4)$$

где $C^2_{\text{п}}$ — стоимость панелей; $C^2_{\text{у}}$ — стоимость установки; $C^2_{\text{м}}$ — стоимость монтажной системы.

Получаем $C^2 < C^1$.

Время монтажа 18 панелей по стандартной рельсовой технологии — 5 ч.

Время монтажа 18 панелей по новой разработанной технологии — 1 ч.

Таким образом, разработанная технология устройства солнечных батарей на крышах зданий практически вдвое экономичнее существующей стандартной рельсовой технологии, а также в пять раз быстрее по времени.

Полученные результаты расчета говорят о высокой эффективности предложенной новой технологии устройства солнечных панелей на крышах зданий, реализация которой новой технологии позволит получить значительный экономический эффект [3].

Выводы

1. Выявлено, что существующие модели и теории конструктивно-технологических решений устройства солнечных батарей на крышах зданий не до конца удовлетворяют современным требованиям.

2. Предложен новый теоретический подход к разработке усовершенствованной конструкции солнечной панели, а именно предложена новая конструкция рамы панели, которая упростит монтаж. Предложено теплосбрасывающее ребро, которое будет способствовать быстрому остыванию панели, и, как следствие, КПД сол-

Таблица 2

Сравнительный анализ технологических преимуществ разработанной технологии устройства солнечных панелей на крышах зданий с существующей технологией

№	Показатели технологических преимуществ	Виды технологий устройства панелей	
		Стандартная рельсовая технология	Новая разработанная технология
1	Удобство монтажа/демонтажа	–	+
2	Вероятность скатывания панелей при установке	Высокая	Исключена
3	Время установки, ч	1	5
4	Стоимость монтажа, усл. ед.	1	2
5	Количество мелких деталей	Очень много	Практически отсутствуют
6	Трудозатраты, чел.	2	1
7	Эстетика	–	+
8	Длина монтажных рельсов	Большая	Снижена
9	Возможность горизонтального размещения панелей	–	+
10	Надежность конструкции	Низкая	Высокая
11	Точность фиксации	Низкая	Высокая

нечной панели будет меньше падать в солнечные дни.

3. Разработана новая технология устройства оптимизированных солнечных панелей на крышах зданий и обоснованы усовершенствованные конкретные технологические решения по монтажу панелей. Технология отличается от аналога тем, что крепление всех деталей происходит непосредственно в предусмотренные пазы, исключая наличие большого количества мелких деталей для монтажа. Данная инновация помогла исключить вероятность скатывания солнечных панелей, а также снизила длину монтажных рельс и обеспечила надежность конструкции и точность фиксации панелей. Кроме этого, появилась возможность другой ориентации панелей.

4. Установлено, что новая технология монтажа будет практически вдвое дешевле, а также в пять раз быстрее по времени, кроме этого конструкцию будет удобнее монтировать и демонтировать в случае необходимости.

Библиографический список

1. Стребков Д. С. Перспективы развития возобновляемой энергетики // Труды междунар. науч.-техн. конф. «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». 2012. Т. 1. С. 3–13.
2. Дизендорф А. В., Усков А. Е. Перспективы возобновляемой энергетики // Научный журнал КубГАУ. 2016. № 124. С. 1403–1416.
3. Копылова Л. Дальневосточный прорыв // Эка.ру. 2009, июнь. URL: http://ec-a.ru/index.php?mn=razdel&mns=e51p8l2fm26sl_ru
4. Троицкий А. О., Серадская О. В., Соломин Е. В. Устройство ликвидации загрязнений солнечных модулей на основе механической тяги пленки // Энерго- и ресурсосбережение в теплоэнергетике и социальной сфере: материалы междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов, ученых. Челябинск: Южно-Уральский гос. ун-т, 2016. Т. 4, № 1. С. 284–287.
5. Шарафян В. Солнечные модули как элемент архитектурного дизайна // Зеленый город. 17 ноября 2015. URL: <https://green-city.su/%EF%BB%BFsolnechnye-moduli-kak-element-arxitekturnogo-dizajna/>
6. Павлов Н. Солнечная энергия — энергия будущего // Электроника: наука, технология, бизнес. 2013. № 1 (123). С. 130–137.

7. Li Li, Yonglong Lu, Yajuan Shi, Tieyu Wang, Wei Luo, Jorrit Gosens, Peng Chen, Haiqian Li. Integrated technology selection for energy conservation and PAHs control in iron and steel industry: Methodology and case study // Energy Policy. 2013. Vol. 54 (c). Pp. 194–203.

8. Jäger-Waldau A. PV status report 2017: Research, Solar Cell Production and Market Implementations of Photovoltaics. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Energy and Transport. Italy, 2017. 90 p.

9. Jormalainen J., Käkälä P. Sustainability of Polyurethane Thermal Insulation // NSB-2011. 9th Nordic Symposium on Building Physics. Tampere, Finland. 29 May – 2 June 2011. P. 6.

10. Попова К. С. Совершенствование технологии устройства солнечных батарей на крышах зданий: дис. ... магистра. СПб., 2020. 123 с.

References

1. Strebkov D. S. *Perspektivy razvitiya vozobnovlyаемой energetiki* [Prospects for the development of renewable energy]. *Trudy mezhdunar. nauch.-tekhn.konf. «Energoobespechenie i energosberezhenie v sel'skom khozyaystve»* [Proc. of the Int. scientific and technical conf. "Energy supply and energy saving in agriculture"]. 2012, vol. 1, pp. 3–13.
2. Dizendorf A. V., Uskov A. E. *Perspektivy vozobnovlyаемой energetiki* [Prospects for renewable energy]. *Nauchnyy zhurnal KubGAU – Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University*, 2016, no. 124, pp. 1403–1416.
3. Kopylova L. *Dal'nevostochniy proryv* [Eastern breakthrough]. *Internet-zhurnal Eka.ru*. 2009, iyun'. Available at: http://ec-a.ru/index.php?mn=razdel&mns=e51p8l2fm26sl_ru
4. Troitskiy A. O., Seradskaya O. V., Solomin E. V. *Ustroystvo likvidatsii zagryazneniy solnechnykh moduley na osnove mekhanicheskoy tyagi plenki* [Device for liquidation of pollution of the solar modules on the basis of the mechanical thrust of the film]. *Trudy mezhdunar. nauch.-tekhn.konf. studentov, aspirantov, uchenykh «Energo- i resursosberezhenie v teploenergetike i sotsial'noy sfere»* [Proc. of the International. sci. and tech. conf. of students, postgraduates, scientists "Energy and resource conservation in thermal power engineering and social sphere"]. Chelyabinsk, Yuzhno-Ural'skiy gos. un-t – South Ural State University, 2016, vol. 4, no. 1, pp. 284–287.
5. Sharafyan V. *Solnechnye moduli kak element arkhitekturnogo dizayna* [Solar modules as an element of architectural design]. *Zeleniy gorod – Green city*, November 17, 2015. Available at: <https://green-city.su/%EF%BB%BFsolnechnye-moduli-kak-element-arxitekturnogo-dizajna/>

6. Pavlov N. *Solnechnaya energiya — energiya budushchego* [Solar energy as the energy of the future]. *Elektronika: nauka, tekhnologiya, biznes – Electronics: science, technology, business*, 2013, no. 1 (123), pp. 130–137.
7. Li Li, et al. Integrated technology selection for energy conservation and PAHs control in iron and steel industry: Methodology and case study. *Energy Policy*, 2013, vol. 54 (c), pp. 194–203.
8. Jäger-Waldau A. *PV status report 2017: Research, Solar Cell Production and Market Implementations of Photovoltaics*. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Energy and Transport. Italy, 2017, 90 p.
9. Jormalainen J., Käkelä P. *Sustainability of polyurethane thermal insulation*. NSB-2011. Proceedings of the 9th Nordic Symposium on Building Physics. Tampere, Finland. 29 May –2 June 2011, p. 6.
10. Popova K. S. *Sovershenstvovanie tekhnologii ustroystva solnechnykh batarey na kryshakh zdaniy*. Diss. Magistra [Improving the technology of solar panels on the roofs of buildings. MSc diss.]. St. Petersburg, 2020, 123 p.