

Научная статья

УДК 620.92, 620.97, 629.5.014

DOI 10.46845/1997-3071-2026-82-101-114

Классификация архитектурных типов судов с фотоэлектрическими панелями

Даниил Юрьевич Несин¹, Глеб Сергеевич Остюченко²✉

^{1,2} Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

¹ DanielNesin@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-7221-8496>

² Mr.Klinok.2000@mail.ru✉, <https://orcid.org/0000-0003-0732-8324>

Аннотация. Переход на возобновляемые источники энергии, такие как солнечная, является критически важным для снижения антропогенного воздействия морского транспорта на окружающую среду. Солнечные панели способны обеспечить как оптимизацию операционных затрат, так и значительное сокращение вредных выбросов, способствуя декарбонизации морской отрасли. Отсутствие системного подхода и структурированных данных затрудняет оптимизационное проектирование судов с фотоэлектрическими панелями. Классификация судов по архитектурным признакам, как это сделано в статье, является фундаментом для формализации процесса проектирования, упорядочивания информации и выявления закономерностей. Наибольшее применение концепция «солнечного судна» находит в сегменте малотоннажных пассажирских судов (паромы, круизные яхты), характеризующихся относительно небольшой длиной, большой шириной (катамараны, тримараны), невысокой скоростью хода и использованием легких композитных материалов. Выделено пять основных архитектурных типов судов с фотоэлектрическими панелями, различающихся по площади и способу размещения панелей (на палубах, боковых поверхностях, выносных конструкциях, вертикальных крыльях-парусах). Максимальное относительное покрытие поверхности судна панелями достигается при использовании палубы и боковых поверхностей надстройки, однако «эффективная» площадь может быть выше за счет систем слежения за солнцем. Статья подчеркивает актуальность и перспективность использования солнечной энергии в морском транспорте, выявляет существующие проблемы в проектировании и предлагает системный подход к их решению через классификацию архитектурных типов судов с фотоэлектрическими панелями.

Ключевые слова: фотоэлектрические панели, проектирование судов, пассажирские паромы, солнечная энергия, архитектурный тип судна, солнечные суда.

Для цитирования: Несин Д. Ю., Остюченко Г. С. Классификация архитектурных типов судов с фотоэлектрическими панелями // Известия КГТУ. 2026. № 82. С. 101–114. DOI 10.46845/1997-3071-2026-82-101-114.

Original article

Classification of architectural types of ships with photovoltaic panels

Daniil Yu. Nesin¹, Gleb S. Ostyuchenko²✉

^{1,2} Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

¹ DanielNesin@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-7221-8496>

² Mr.Klinok.2000@mail.ru✉, <https://orcid.org/0000-0003-0732-8324>

Abstract. Transition to renewable energy sources, such as solar power, is critical for reducing the anthropogenic impact of maritime transport on the environment. Solar panels can optimize operating costs and significantly reduce harmful emissions, contributing to the decarbonization of the maritime industry. The lack of a systematic approach and structured data makes it difficult to optimize the design of ships with photovoltaic panels. Classification of ships according to their architectural features, as done in this article, is the foundation for formalization of the design process, organizing information, and identifying patterns. The concept of a "solar ship" is most widely used in the segment of small-tonnage passenger ships (ferries, cruise yachts), which are characterized by relatively short length, large width (catamarans, trimarans), low speed, and the use of lightweight composite materials. Five main architectural types of ships with photovoltaic panels have been identified, differing in area and placement of panels (on decks, side surfaces, external structures, vertical wing sails). Maximum relative coverage of the ship's surface with panels is achieved by using the deck and side surfaces of the superstructure, but the "effective" area can be increased by using sun tracking systems. The article highlights the relevance and prospects of using solar energy in maritime transport, identifies existing design problems, and proposes a systematic approach to solving them through the classification of architectural types of ships with photovoltaic panels.

Keywords: photovoltaic panels, ship design, passenger ferries, solar energy, architectural type of ship, solar ship.

For citation: Nesin D. Yu., Ostyuchenko G. S. Classification of architectural types of ships with photovoltaic panels. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2026;(82):101–114. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2026-82-101-114.

ВВЕДЕНИЕ

Современная морская индустрия, основанная на ископаемом топливе, оказывает значительное антропогенное воздействие на окружающую среду. Выбросы оксидов азота и углекислого газа негативно влияют на морские экосистемы и атмосферу, особенно в уязвимых регионах, поэтому крайне важно внедрять передовые технические решения для уменьшения воздействия морского транспорта на окружающую среду.

Использование фотоэлектрических систем в качестве источника энергии, в том числе основного, способно обеспечить как оптимизацию операционных затрат, так и минимизацию вредных выбросов [1, 2]. Повышенный интерес к применению солнечной энергии на морских судах открывает перспективы для декарбонизации

отрасли и снижения зависимости от традиционных углеводородных источников, в частности, дизельного топлива.

Несмотря на многочисленные примеры успешного применения фотоэлектрических панелей на судах различного назначения [3–8], процесс их проектирования остается крайне несистемным. Это связано с отсутствием целенаправленной структуризации накопленных данных по судам, имеющим определенный набор проектных признаков. Последнее обстоятельство делает невозможным оптимизационное проектирование судов данного типа.

В основе системного подхода при проектировании лежит классификация объектов проектирования, являясь своего рода фундаментом для формализации процесса и постановки задачи в целом. Она позволяет:

- упорядочить информацию, облегчить поиск и анализ данных;
- выявить закономерности и связи между объектом и предметом проектирования;
- создать иерархические модели для определения подмножеств области определения элементов и характеристик.

В настоящей статье выполнены классификация судов с фотоэлектрическими панелями, а также их анализ по основным архитектурным признакам: рассмотрены только суда, в конструкции которых предпринимается попытка использовать фотоэлектрические панели как основной источник энергии.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОВРЕМЕННЫХ СУДОВ С ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПАНЕЛЯМИ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВНОГО ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ

Известно, что поток солнечного излучения на входе в атмосферу Земли равен $1\,367\text{ Вт/м}^2$ (солнечная постоянная). Из-за поглощения при прохождении атмосферной массы Земли максимальный поток солнечного излучения на уровне моря (на экваторе) составляет всего лишь $1\,020\text{ Вт/м}^2$. При этом среднесуточное значение потока солнечного излучения через единичную горизонтальную площадку как минимум в три раза меньше (из-за смены дня и ночи и изменения угла солнца над горизонтом). С помощью промышленно производимых фотоэлектрических панелей можно преобразовать эту энергию в электричество с эффективностью до 24 % [9–15]. Чтобы обеспечить судно достаточной энергией для движения и работы судовых систем, требуется предусмотреть значительные свободные площади для размещения солнечных батарей, что, собственно, и является основным фактором, влияющим на архитектуру судна в целом.

Для анализа конструктивных особенности судов авторами была рассмотрена выборка из 42 построенных судов с применением фотоэлектрических панелей. В табл. 1 приводятся характеристики 19-ти наиболее интересных видов судов для коммерческого использования (исключая суда одной серии и суда, изготовленные для специализированных соревнований).

Компания «Solar Sailor» занимается разработкой и продвижением солнечных технологий во всех промышленных сферах. Компания презентовала гибридную электроэнергетическую систему, которая может применяться на любых транспортных средствах. Также она разработала и запатентовала «солнечный парус» с полупроводниковыми элементами вместо ткани. «Крыло» солнечной энергии ис-

пользует два источника – солнце и ветер. Его гибкость является ключевым моментом в дизайне, так как это позволяет эффективно отслеживать солнце для оптимального сбора солнечной энергии. Конструкция солнечного паруса-крыла рассчитана на нагрузки при скорости ветра до 60 м/с. Аккумуляторные батареи выполняют роль твердого балласта, аккумулированной энергии в них достаточно для использования без подзарядки в течение одной недели.

Таблица 1. Основные характеристики судов с фотоэлектрическими панелями
Table 1. Key characteristics of vessels with photovoltaic panels

№ п/п	Наименование судна	Тип корпуса	L , м	B , м	T , м	v_s , узлы	S_{SP} , м ²
1	Soelcat 12	катамаран	11,80	5,80	0,70	8,0–14,0	62,0
2	Soel Shuttle 14	катамаран	14,50	5,10	0,65	9,0–14,0	8,0
3	Soel Senses 62	катамаран	18,80	10,30	0,96	10,0–14,0	120,0
4	Soel Senses 48	катамаран	14,50	5,10	0,70	10,0–18,0	42,0
5	Soel Cruiser	катамаран	10,80	4,60	0,85	11,0–14,0	6,0
6	Solar Sailor Gili Keta-pang	катамаран	14,12	5,00	1,20	8,0–9,0	40,0
7	Solar Sailor Ocean Navigator	катамаран	19,55	8,40	1,04		45,0
8	Solar Sailor HK Tour-ist	катамаран	23,95	6,50	1,25	9,0	56,0
9	Solar Sailor One 2 three	катамаран	26,34	8,30	1,20		150,0
10	Solar Sailor Grahame Parker	тримаран	34,48	13,00	1,80	12,0	90,0
11	Solar Sailor Hong Kong Jockey	катамаран	23,95	6,50	1,25	16,0	44,0
12	Korona	однокорпусное	7,20	2,70	0,15	6,5	6,4
13	Volitan	катамаран	32,00	7,6-28,0	ок, 1,0	12,0–18,0	300,0
14	Genesis Solar	катамаран	15,40	5,73	0,32		30,0
15	Aquawatt 550	однокорпусное	5,50	1,84	0,40	4,7	12,0
16	Aquawatt 715	однокорпусное	7,15	2,25	ок, 0,5	8,0	32,0
17	SunCat 46	катамаран	14,00	5,00 (6,85)	1,20	7,5	30,0
18	Navalt Aditya	катамаран	21,00	7,00	0,95	5,5–7,5	140,0
19	Planet Solar	катамаран	31,00	15,00	1,55	10,0	537,0

Примечание. L – длина корпуса; B – ширина корпуса; T – осадка; S_{SP} – общая площадь фотоэлектрических панелей

Типичный паром, проект которого был разработан австралийской компанией «Solar Sailor», показан на рис. 1 [6].



Рис. 1. Общий вид пассажирского парома компании «Solar Sailor»
Fig. 1. General view of the Solar Sailor passenger ferry

Общие виды пассажирского парома с двумя крыльями показаны на рис. 2 [6].

Также широкое применение панелей с фотоэлементами получили круизные яхты премиум-класса. Типичным проектом такой яхты, работающей на солнечной энергии, является Soel Senses 62, серийно производимая компанией «Soel Yachts» [1, 2]. Для создания изящного 18-метрового корпуса катамаранного типа использован сэндвич-композит. В обычных погодных условиях дальность плавания судна на скорости до 10 узлов не ограничена. В ночное время скорость и дальность движения зависят от емкости батарей, количество которых может меняться опционно, в зависимости от потребностей владельца яхты.



Рис. 2. Общий вид пассажирского парома компании «Solar Sailor»
с двумя парусами-крыльями
Fig. 2. General view of the Solar Sailor passenger ferry with two wing-sails

На крыше яхты находится массив солнечных фотогальванических панелей мощностью 18,5 кВт. В стандартной комплектации они соединены с батареями емкостью 282 кВт/ч, яхта оснащена двумя электрическими двигателями мощностью 100 кВт каждый и способна идти на скоростях от 8 до 12 узлов.

В комплектацию яхты входит выдвижная крыша, 6-метровый гараж для водных мотоциклов, носовая и кормовая солнечные террасы. На яхте от 3 до 5 кают для гостей и 1 каюта для экипажа, кроме того, имеется кухня с легкой и компактной мебелью. Общий вид яхты показан рис. 3.

Анализ построенных судов позволяет дополнительно выделить еще несколько характерных особенностей этого типа судов:

- сравнительно небольшая наибольшая длина судна – не более 35 м, как правило не более 25 метров;
- относительно большая ширина судна: корпус катамаранного или тримаранного типа;
- наибольшая скорость хода не более 13 узлов, наиболее характерными являются скорости в диапазоне 7–10 узлов;
- назначение судов в основном пассажирские паромы или круизные яхты;
- «легкий» материал основного корпуса – алюминий-магний-сплав, композиты на основе стеклопластиков и т. п.;
- для нормального функционирования судна необходим запас энергии в аккумуляторных батареях, который способен обеспечить работу главного двигателя при экономичной скорости хода на всю дальность плавания, предусмотренную ТЗ;
- аккумуляторные батареи дополнительно выполняют роль твердого балласта.



Рис. 3. Общий вид круизной яхты Solarwave 62' турецкой судовой верфи «Nedship»
Fig. 3. General view of the Solarwave 62' cruise yacht built by the Turkish shipyard Nedship

АНАЛИЗ АРХИТЕКТУРНЫХ ТИПОВ

Детальный анализ существующих архитектурных типов судов с фотоэлектрическими панелями в случае, когда солнечная энергия является основной или представляет значительную составляющую в общем энергетическом балансе судна, позволяет выделить пять принципиальных архитектурных типов. Их устройство и основные элементы преимущественно определяются конструктивными особенностями «солнечных» панелей.

Тип I: для размещения фотоэлектрических панелей используются открытые участки палуб, свободные от палубного оборудования. Боковые поверхности не задействованы, форма надстройки имеет традиционный вид для данного, с точки зрения функциональности, типа судов. Дополнительные конструкции для увеличения площадей панелей не применяются. Общая площадь панелей составляет $(0,34...0,98) LB$, где L – наибольшая длина корпуса, B – наибольшая ширина корпуса. Общий вид архитектурного типа I представлен на рис. 5. Здесь и далее на рисунках районы размещения панелей показаны оранжевой штриховкой.

Тип II: для размещения фотоэлектрических панелей помимо открытых участков палуб также используются боковые поверхности. Форма надстройки может иметь полуциркулярную и скругленную форму в местах перехода крыши надстройки в боковые поверхности. Дополнительные конструкции для увеличения площадей панелей не применяются. Общая площадь панелей составляет $(1,20...1,78) LB$. Общий вид архитектурного типа II представлен на рис. 6.

Тип III: здесь фотоэлектрические панели расположены горизонтально, выходят за габариты и опираются на специальные конструкции. Возможно решение конструкции в двух основных вариантах: подтип А – панели выносятся на кронштейнах как крылья (рис. 7), общая площадь панелей составляет $(0,77... 1,30) LB$; подтип В – панели лежат на крыше или расположены над ней (рис. 8), общая площадь панелей составляет $(1,04...1,30) LB$.

Тип IV: помимо размещения на открытых палубах (как правило на крыше возвышенной рубки, на рисунках показано фиолетовой штриховкой) панели располагаются на вертикальном крыле-парусе. В данном и для типа V размещение на открытых палубах не всегда применяется. Конструкция может быть как стационарная, так и с возможностью флюгирования вокруг своей оси или укладки крыла на палубу. Поворот фотоэлектрических панелей может обеспечивать отслеживание движения солнца по азимуту. Общая площадь панелей составляет $(0,45...1,05) LB$. Общий вид архитектурного типа IV представлен на рис. 9.

Тип V: аналогичен типу IV, но количество крыльев два и более. Общая площадь панелей составляет $(0,64...1,18) LB$. Общий вид архитектурного типа V показан на рис. 10.

На рис. 4 представлена диаграмма, демонстрирующая относительное покрытие поверхности судна фотоэлектрическими панелями в зависимости от выбранного архитектурного типа.

Анализ диаграммы показывает, что максимальное относительное покрытие достигается при использовании архитектурного типа II, тогда как минимальное – при типе I.

Тем не менее необходимо учитывать, что «эффективная» площадь панелей, то есть та, которая активно функционирует в определенный момент времени, может существенно отличаться от общей установленной площади. Эффективность определяется такими условиями, как положение солнца, попадание прямых солнечных лучей, а также затененные участки и зоны самозатенения. В частности, для архитектурных типов IV и V, несмотря на относительно низкий коэффициент покрытия корпуса панелями, их эффективность может быть значительно выше по сравнению со стационарными решениями за счет применения систем слежения за солнцем.

Определение эффективной площади фотоэлектрических панелей для различных архитектурных типов является предметом отдельного исследования и не рассматривается в рамках данной работы.

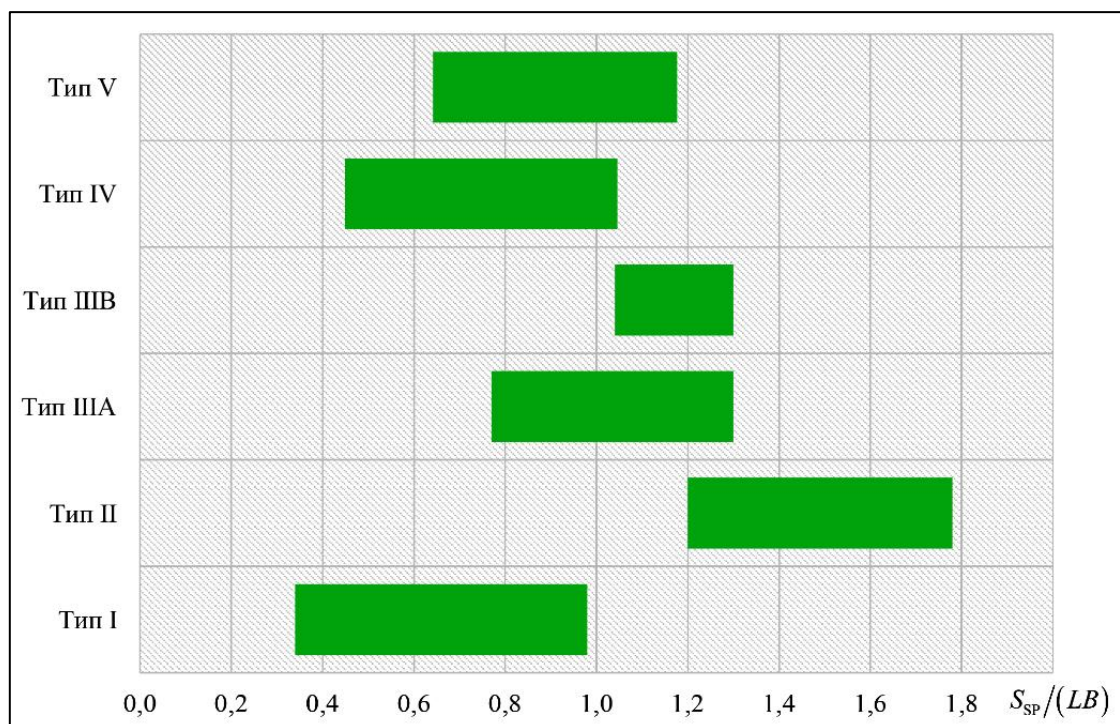


Рис. 4. Диаграмма относительного покрытия судна фотоэлектрическими панелями; S_{SP} – общая площадь фотоэлектрических панелей, LB – произведение наибольшей длины корпуса на ширину

Fig. 4. Diagram showing the relative coverage of the ship with photovoltaic panels; S_{SP} – total area of photovoltaic panels, LB – product of the maximum length of the hull and its width

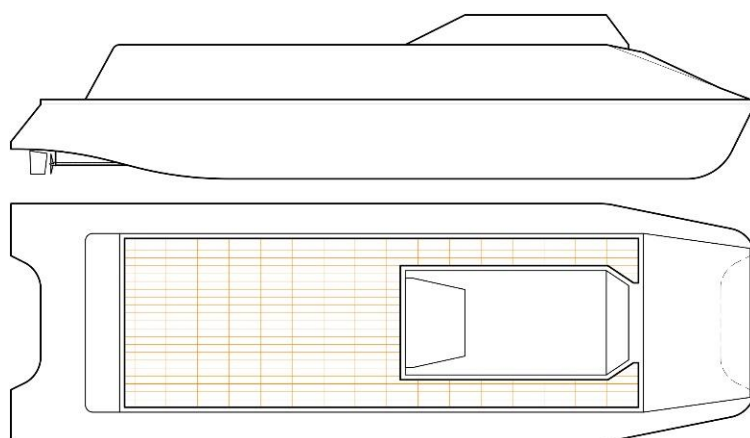


Рис. 5. Общий вид архитектурного типа I
Fig. 5. General view of the architectural type I

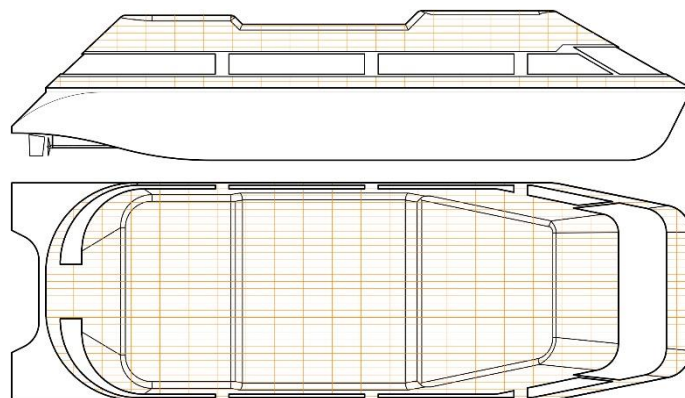


Рис. 6. Общий вид архитектурного типа II
Fig. 6. General view of the architectural type II

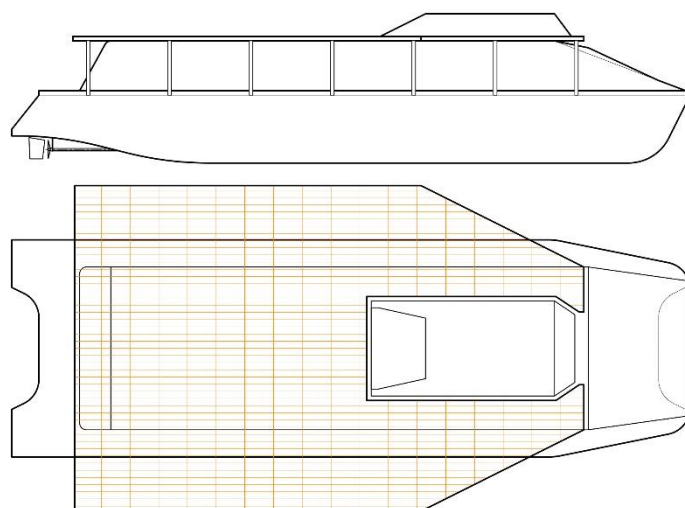


Рис. 7. Общий вид архитектурного типа III, подтип А
Fig. 7. General view of the architectural type III, subtype A

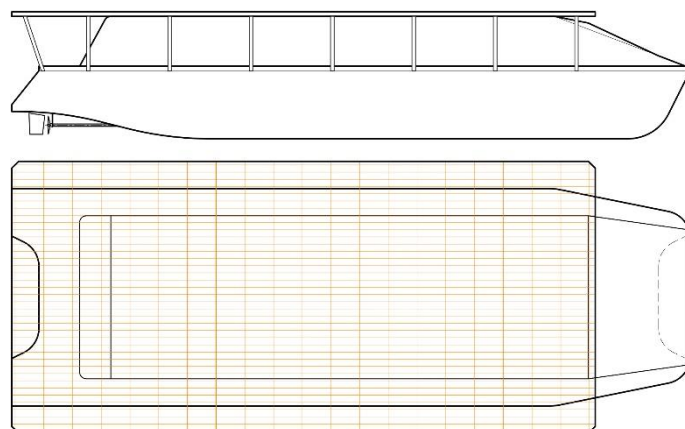


Рис. 8. Общий вид архитектурного типа III, подтип В
Fig. 8. General view of the architectural type III, subtype B

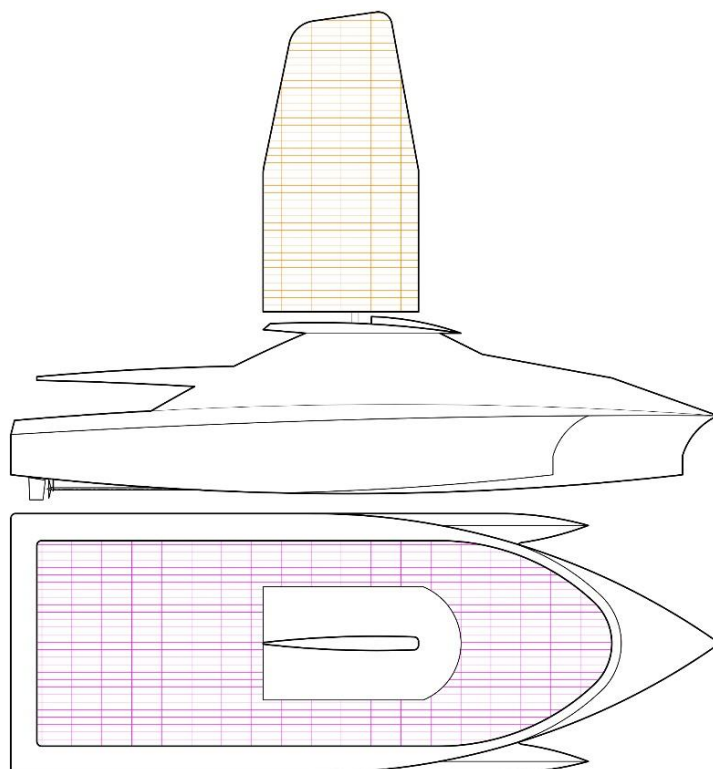


Рис. 9. Общий вид архитектурного типа IV
Fig. 9. General view of the architectural type IV

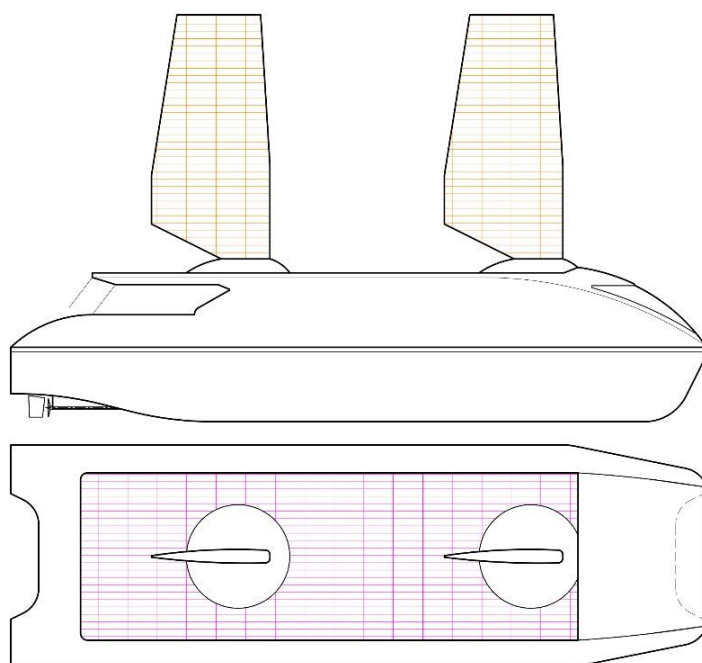


Рис. 10. Общий вид архитектурного типа V
Fig. 10. General view of the architectural type V

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье представлена классификация судов с фотоэлектрическими панелями, использующими солнечную энергию в качестве основного источника. Анализ архитектурных признаков таких судов позволил выделить пять основных типов, различающихся по способу размещения и площади фотоэлектрических панелей.

Максимальное относительное покрытие поверхности судна панелями достигается при использовании типа II (палубы и боковые поверхности), однако «эффективная» площадь может быть выше у типов IV и V за счет систем слежения за солнцем. Определение эффективной площади фотоэлектрических панелей для различных архитектурных типов является предметом отдельного исследования, которое авторы собираются провести в будущем.

В статье подчеркивается актуальность и перспективность использования солнечной энергии в морском транспорте, выявлены существующие проблемы в проектировании и предлагается системный подход к их решению через классификацию архитектурных типов судов с фотоэлектрическими панелями.

Список источников

1. Марончук, И. И., Солнечные элементы: современное состояние и перспективы развития / И. И. Марончук, Д. Д. Саникович, В. И. Мирончук. – DOI: 10.21122/1029-7448-2019-62-2-105-123 // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2019. – Т. 62, № 2. – С. 105–123.
2. Ahmad, K. Incorporating perovskites in photovoltaic-powered electrochemical cells for a sustainable future: an inclusive review / K. Ahmad. – DOI: 10.1016/j.solener.2024.112965 // Solar Energy. – 2024. – Vol. 282. – P. 1–23.
3. Soel Senses 62. – Текст: электронный // Технический паспорт: сайт. – URL: https://www.soelyachts.com/press/SoelSenses62_TechnicalSheet.pdf (дата обращения: 10.02.2026).
4. Каплина, В. В. Методика расчета запаса хода электромоторной лодки на солнечной энергии / В. В. Каплина. – DOI: 10.18799/24131830/2025/1/4589 // Инжиниринг георесурсов. Известия Томского политехнического университета. – 2025. – Т. 336, № 1. – С. 139–146.
5. Minak, G. Solar Energy-Powered Boats: State of the Art and Perspectives / G. Minak. – DOI: 10.3390/jmse11081519 // Journal of Marine Science and Engineering. – 2023. – Vol. 11. – P. 1519–1537.
6. Hirdaris, S. E. The Role of Technology in Green Ship Design / S. E. Hirdaris, F. Cheng // The role of technology in the design of environmentally friendly ships: materials 11th International Marine Design Conference (Scotland, 11–14 June 2012) / Department of Ship Architecture and more. eng. Strat. University. – Scotland: Ph DNAMEs, 2012. – Vol. 1. – P. 21–40.
7. Uroda, T. Design, production, testing and exploitation of solar coastal passenger ferry / T. Uroda. – DOI: 10.21278/brod71207 // Journal of Energy. – 2021. – Vol. 71, № 2. – P. 111–121.
8. Kumarasamy, S. Offshore floating solar with electrofuels for refuelling small ferries: a techno-economic-environmental study / S. Kumarasamy. – DOI:

10.1016/j.ecmx.2025.101234 // Energy Conversion and Management. – 2025. – Vol. 28, № 101234. – P. 1–19.

9. Кирпичникова, И. М. Построение энергетических характеристик солнечных модулей с учетом условий окружающей среды / И. М. Кирпичникова, И. Б. Махсумов. – DOI: 10.15593/2224-9397/2020.1.05 // Вестник Пермского государственного технического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2020. – № 34. – С. 56–74.

10. Chatzipanagi, A. An Updated Simplified Energy Yield Model for Recent Photovoltaic Module Technologies / A. Chatzipanagi. – DOI: 10.1002/pip.70025 // Progress in Photovoltaics: Research and Applications. – 2025. – Vol. 33, № 4. – P. 511–528.

11. Sepúlveda-Oviedo, E. H. Impact of environmental factors on photovoltaic system performance degradation / E. H. Sepúlveda-Oviedo. – DOI: 10.1016/j.esr.2025.101682 // Energy Strategy Reviews. – 2025. – Vol. 59. – P. 1–21.

12. Yang, H. A Comprehensive Review of Solar Panel Performance Degradation and Adaptive Mitigation Strategies / H. Yang, Y. Yin. – DOI: 10.1049/cth2.70040 // IET Control Theory & Applications. – 2025. – Vol. 19, № 70040. – P. 1–20.

13. Кирпичникова, И. М. Особенности эксплуатации солнечных энергоустановок в различных климатических условиях / И. М. Кирпичникова. – DOI: 10.54398/20741707_2022_127 // Энергоэффективность. Ценология. Экология и энергобезопасность. – 2021. – С. 46–55.

14. Tian, X. Optical-electrical-thermal model of flexible non-planar photovoltaic modules: Decoupling, validation, and photoelectric performance analysis / X. Tian. – DOI: 10.1016/j.energy.2025.134843 // Energy. – 2025. – Vol. 318. – P. 1–24.

15. Патент № 2772101 С1. Российская Федерация. Устройство для автоматической очистки фотоэлектрических модулей в условиях повышенной запыленности: № 2022101234: заявл. 20.01.2022: опубл. 17.05.2022 / Р. Р. Каримов, И. Ф. Сулейманов. – 10 с.

References

1. Maronchuk, I. I., Solar cells: current state and development prospects / I. I. Maronchuk, D. D. Sanikovich, V. I. Mironchuk. – DOI: 10.21122/1029-7448-2019-62-2-105-123 // Energy. Izvestia of Higher Educational Institutions and Energy Associations of the CIS. – 2019. – Vol. 62, № 2. – P. 105–123.

2. Ahmad, K. Incorporating perovskites in photovoltaic-powered electrochemical cells for a sustainable future: An inclusive review / K. Ahmad. – DOI: 10.1016/j.solener.2024.112965 // Solar Energy. – 2024. – Vol. 282. – P. 1–23.

3. Soel Senses 62. – Text: electronic // Technical data sheet: site. – URL: https://www.soelyachts.com/press/SoelSenses62_TechnicalSheet.pdf (accessed on 02.10.2026).

4. Kaplina, V. V. Methodology for calculating the power reserve of an electric motor boat powered by solar energy / V. V. Kaplina. – DOI: 10.18799/24131830/2025/1/4589 // Engineering of georesources. Proceedings of Tomsk Polytechnic University. – 2025. – Vol. 336, № 1. – P. 139–146.

5. Minak, G. Solar Energy-Powered Boats: State of the Art and Perspectives / G. Minak. – DOI: 10.3390/jmse11081519 // Journal of Marine Science and Engineering. – 2023. – Vol. 11. – P. 1519–1537.

6. Hirdaris, S. E. The Role of Technology in Green Ship Design / S. E. Hirdaris, F. Cheng // The role of technology in the design of environmentally friendly ships: materials of the 11th International Marine Design Conference (Scotland, 11–14 June 2012) / Department of Ship Architecture and more. eng. Strat. University – Scotland: Ph D NAMES. – 2012. – Vol. 1. – P. 21–40.
7. Uroda, T. Design, production, testing and exploitation of solar coastal passenger ferry / T. Uroda. – DOI: 10.21278/brod71207 // Journal of Energy. – 2021. – Vol. 71, № 2. – P. 111–121.
8. Kumarasamy, S. Offshore floating solar with electrofuels for refuelling small ferries: a techno-economic-environmental study / S. Kumarasamy. – DOI: 10.1016/j.ecmx.2025.101234 // Energy Conversion and Management. – 2025. – Vol. 28, № 101234. – P. 1–19.
9. Kirpichnikova, I. M. Construction of energy characteristics of solar modules taking into account environmental conditions / I. M. Kirpichnikova, I. B. Makhsumov. – DOI: 10.15593/2224-9397/2020.1.05 // Bulletin of the Perm State Technical University. Electrical engineering, information technology, control systems. – 2020. – № 34. – P. 56–74.
10. Chatzipanagi, A. An Updated Simplified Energy Yield Model for Recent Photovoltaic Module Technologies / A. Chatzipanagi. – DOI: 10.1002/pip.70025 // Progress in Photovoltaics: Research and Applications. – 2025. – Vol. 33, №. 4. – P. 511–528.
11. Sepúlveda-Oviedo, E. H. Impact of environmental factors on photovoltaic system performance degradation / E. H. Sepúlveda-Oviedo. – DOI: 10.1016/j.esr.2025.101682 // Energy Strategy Reviews. – 2025. – Vol. 59. – P. 1–21.
12. Yang, H. A Comprehensive Review of Solar Panel Performance Degradation and Adaptive Mitigation Strategies / H. Yang, Y. Yin. – DOI: 10.1049/cth2.70040 // IET Control Theory & Applications. – 2025. – Vol. 19, № 70040. – P. 1–20.
13. Kirpichnikova, I. M. Features of the operation of solar power plants in various climatic conditions / I. M. Kirpichnikova. – DOI: 10.54398/20741707_2022_127 // Energy efficiency. Cenology. Ecology and energy security. – 2021. – P. 46–55.
14. Tian, X. Optical-electrical-thermal model of flexible non-planar photovoltaic modules: Decoupling, validation, and photoelectric performance analysis / X. Tian. – DOI: 10.1016/j.energy.2025.134843 // Energy. – 2025. – Vol. 318. – P. 1–24.
15. Patent № 2772101 C1. Russian Federation. Device for automatic cleaning of photovoltaic modules in conditions of high dust: № 2022101234; application 20.01.2022; published 17.05.2022 / R. R. Karimov, I. F. Suleymanov. – 10 p.

Информация об авторах

Д. Ю. Несин – кандидат технических наук, доцент кафедры «Океанотехника и инновационное судостроение»

Г. С. Остюченко – магистрант 2-го курса кафедры «Океанотехника и инновационное судостроение»

Information about the authors

D. Yu. Nesin – Candidate of Technical sciences., Associate Professor, Department of Ocean Engineering and Innovative Shipbuilding

G. S. Ostyuchenko – 2nd year Master's student, Department of Ocean Engineering and Innovative Shipbuilding

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 13.05.2026; одобрена после рецензирования 23.05.2026; принята к публикации 07.06.2026.

The article was submitted 13.05.2026; approved after reviewing 23.05.2026; accepted for publication 07.06.2026.