

УДК 502.131.1; 620.92; 656.629
DOI: 10.18799/24131830/2025/1/4589
Шифр специальности ВАК: 1.5.15, 1.6.21, 2.4.5

Методика расчёта запаса хода электромоторной лодки на солнечной энергии

В.В. Каплина✉

Московский политехнический университет, Россия, г. Москва

✉kaplinavv25@gmail.com

Аннотация. Актуальность: необходимость внедрения альтернативных источников энергии и электрификации транспортных средств, используемых для обеспечения транспортной доступности местонахождения природных ресурсов. Данный подход обеспечит транспортную доступность к закрытым природоохранным зонам, в которых запрещено движение транспорта с двигателями внутреннего сгорания. Кроме отсутствия выборов CO₂, решаются такие проблемы, как высокий уровень шума, а также проблемы малой самодостаточности за счёт зависимости от заправочных станций. **Цель:** расчёт генерируемой фотоэлементами электроэнергии исходя из показателей инсоляции для выбранной широты местности и определение непрерывного времени движения лодки на электротяге с использованием солнечных панелей для применения в исследовательских работах. **Объект:** электромоторная лодка, построенная студенческой командой в рамках дисциплины «Проектная деятельность» Московского политехнического университета, используемая в качестве спортивного инвентаря для участия в соревнованиях, а также для проведения испытаний в различных областях науки. **Методика:** расчёт электроэнергии, получаемой от солнечной батареи лодки, исходя из открытых статистических данных инсоляции и последующая аппроксимация результатов относительно условного угла, зависящего от времени светового дня рассматриваемой широты; составление уравнения энергетического баланса всех источников и потребителей электроэнергии на борту лодки; решение уравнения графо-аналитическим методом. **Результаты.** Предложен метод расчёта времени движения электромоторной лодки с солнечными панелями на борту в качестве дополнительного источника электроэнергии. Получен аппроксимационный график генерируемой солнечными панелями электроэнергии для широты Томска. По итогам работы было рассчитано время движения лодки в летний день со скоростью 7 км/ч. Результаты исследования могут быть применены для расчётов энергобаланса судов, а также плавучих автономных платформ, обладающих самодостаточностью и необходимых для исследований, добычи и транспортировки георесурсов из закрытых природоохраняемых зон.

Ключевые слова: солнечная энергетика, зелёная энергетика, альтернативные источники энергии, возобновляемые источники энергии, устойчивое развитие, электротранспорт, водный транспорт, инсоляция, экология

Благодарности: Исследование проведено при финансовой поддержке Московского политехнического университета в рамках гранта имени В.Е. Фортова.

Для цитирования: Каплина В.В. Методика расчёта запаса хода электромоторной лодки на солнечной энергии // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2025. – Т. 336. – № 1. – С. 139–146. DOI: 10.18799/24131830/2025/1/4589

UDC 502.131.1; 620.92; 656.629
DOI: 10.18799/24131830/2025/1/4589

Method for calculating the range of an electric motorboat using solar energy

V.V. Kaplina✉

Moscow Polytechnic University, Moscow, Russian Federation

✉kaplinavv25@gmail.com

Abstract. Relevance. The need to shift the focus to renewable energy sources and increase the usage of the electric vehicles. This gives us the access to the areas where conventional combustion engines are forbidden. The goal is not only reducing CO₂ emissions, but it is necessary as well to increase the autonomy of vehicles and their independence from infrastructure. **Aim.** To calculate the power generated by photovoltaic panels based on the insolation of the area of Tomsk, Russia, to define the efficiency of electrically driven research boat powered by the solar energy. **Subject.** An electrically driven motorboat, built by a student team according to the "Project Activity" training program at Moscow Polytechnical University. **Methodology.** Calculation using empirically and experimental data and the data from the open source. **Results.** We have defined the method for calculating the running time of the electrically driven solar powered boat. We obtained as well an approximate amount of the electrical power generated by the solar panels for the area of Tomsk in summer. As a result, we calculated the boat running time for a summer day at a speed of 7 km/h. This method can be used for the calculation of the energy balance of infrastructure-independent vessels, as well as floating autonomous platforms for research, mining, and transportation at restricted areas.

Keywords: solar energy, green energy, alternative energy sources, renewable energy sources, sustainable development, electric transport, water transport, insolation, ecology

Acknowledgements: The research was conducted with financial support from Moscow Polytechnic University under the V.E. Fortov grant.

For citation: Kaplina V.V. Method for calculating the range of an electric motorboat using solar energy. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2025, vol. 336, no. 1, pp. 139–146. DOI: 10.18799/24131830/2025/1/4589

Введение

Непрерывное обнаружение новых местоположений полезных ископаемых приводит к необходимости обеспечивать транспортную доступность на всём цикле работ [1]. Ввиду большого разнообразия георесурсов северных регионов России может возникнуть необходимость транспортного сообщения в закрытых природных зонах при помощи управляемого или автономного судна [2–5].

Проблемы эксплуатации водных транспортных средств с ДВС заключаются в отсутствии заправочных станций и прочих береговых локаций, необходимых для пополнения запасов топлива [6]. Возможность применения данного типа транспорта также полностью исключена в случае исследовательских работ на охраняемых природных территориях, для которых действуют особые ограничения касаясь выбросов отработавших газов и уровня шума [7–9].

Альтернативные источники энергии набирают популярность в последние десятилетия за счёт своего главного качества – отсутствия выбросов парниковых газов в атмосферу, которое приводит к повышению среднего показателя температуры по планете. Во избежание дальнейшего повышения температуры в 2015 г. было подписано Парижское соглашение [10], суть которого состоит в снижении выбросов в окружающую среду, развитии тенденций к низкоуглеродному миру и осуществлении скоординированных действий всех стран, подписавших соглашение, для сокращения уровня повышения температуры в этом столетии до 2 градусов Цельсия.

Использование электрического водного транспорта с применением альтернативных источников энергии обеспечивает автономность и независимость от береговой линии и заправочных станций, что позволяет применять его с целью разведки, добычи и транспортировки георесурсов, в том числе в природоохраненных зонах [11–13].

Объект исследования

Объектом исследования является электромоторная лодка «Valentina Queen» (рис. 1, 2), построенная студентами Московского политехнического университета в рамках дисциплины «Проектная деятельность» в 2018 г. Лодка имеет фанерный корпус, ламинированный углетканью. В качестве силовой установки используется электрический мотор мощностью 5 кВт, 8 солнечных панелей суммарной мощностью 800 Вт, аккумуляторная батарея ёмкостью 1920 Вт·ч и номинальным напряжением 48 В. В состав дополнительного электрооборудования входят: контроллер электромотора; MPPT (Maximum Power Point Tracker)-контроллер солнечного заряда со слежением за точкой максимальной мощности; контактор; шунт; Bluetooth-модуль; преобразователь 48–12 В; трюмная помпа; насос; батарейный монитор, тумблеры и переключатели. Длина лодки 4,0 м; ширина 1,68 м; суммарный вес конструкции вместе с пилотом составляет 200 кг.

Данный прототип используется в качестве спортивного инвентаря для участия в соревнованиях, а также является платформой для опытов и исследований в области энергетики, фотовольтаики, гидродинамики и материаловедения.

Энерго-пропульсивная составляющая лодки имеет последовательный принцип работы. Генерируемая солнечной батареей электроэнергия поступает в аккумуляторную батарею, после чего передаётся электромотору. Одновременная зарядка и разрядка предполагают наличие аккумуляторов, обеспечивающих высокую производительность, долговечность и безопасность при большом количестве циклов заряда–разряда [14–18]. Соединение электрических компонентов лодки показано на рис. 3.



Рис. 1. Электрическая лодка «Valentina Queen», вид сбоку

Fig. 1. Electric boat "Valentina Queen", side view

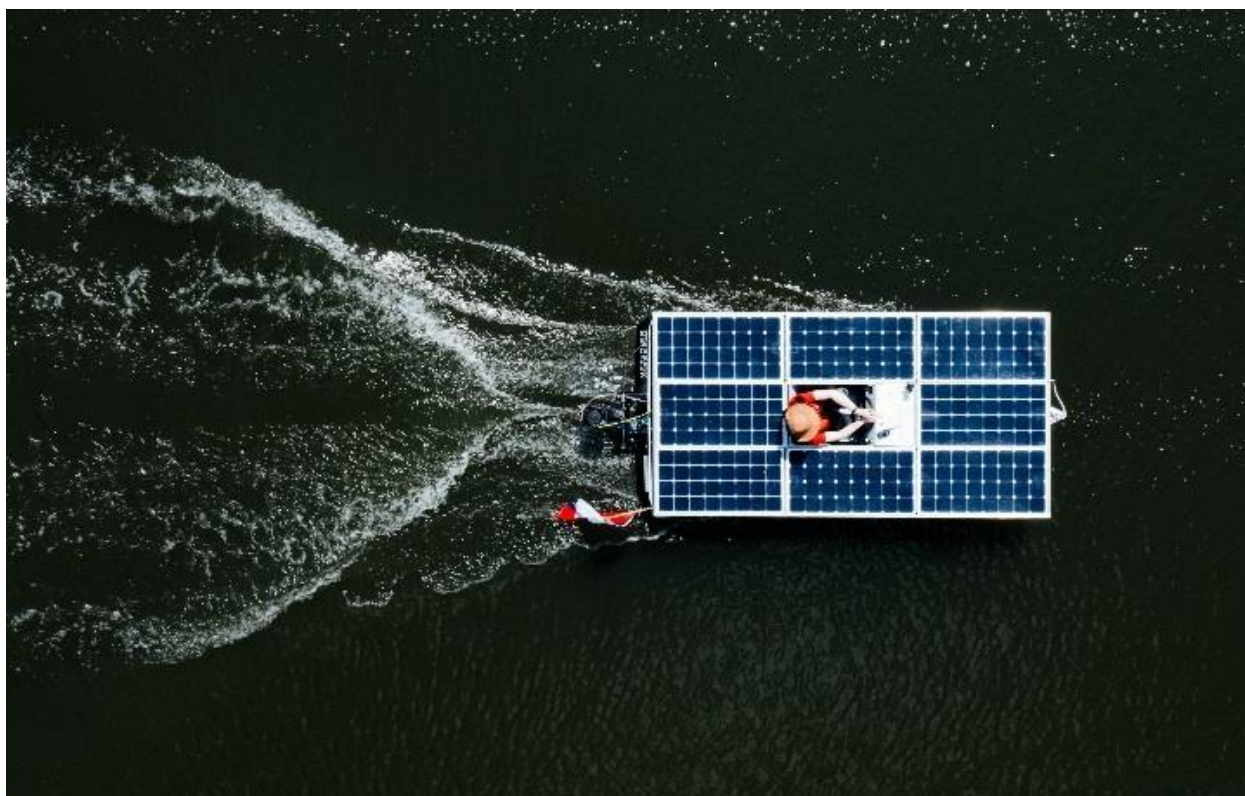


Рис. 2. Электрическая лодка «Valentina Queen», вид сверху

Fig. 2. Electric boat "Valentina Queen", top view

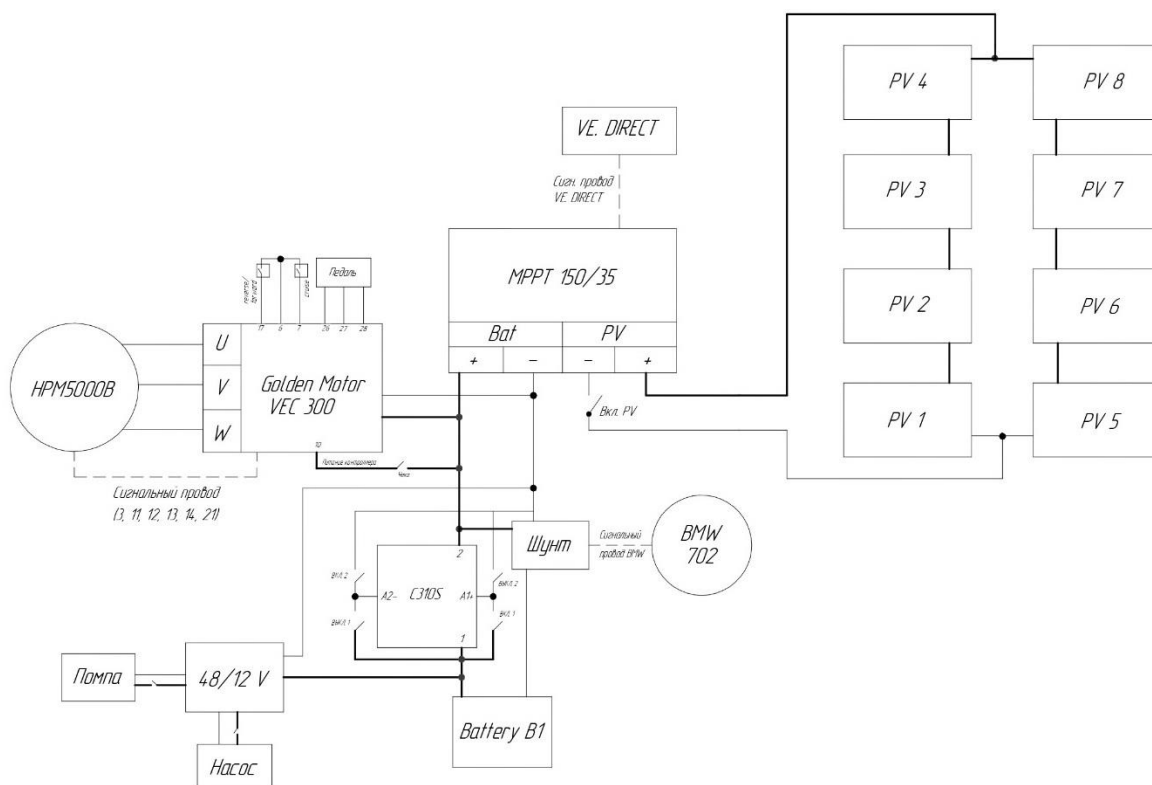


Рис. 3. Электрическая схема лодки «Valentina Queen»
Fig. 3. Electrical diagram of the "Valentina Queen" boat

Солнечные панели соединяются параллельно-последовательным методом – два комплекта из четырёх последовательно соединённых панелей подключены параллельно. Такой подход обеспечивает необходимые для корректной работы системы напряжение и силу тока 72 В и 11,1 А, соответственно. В случае выхода из строя одной из панелей сохраняется работоспособность второго контура. Для обеспечения непрерывного мониторинга состояния солнечной батареи используется МРРТ-контроллер заряда. Использование данного типа контроллеров позволяет отслеживать максимальную мощность, генерируемую солнечными панелями, и подстраивать напряжение и ток заряда для обеспечения максимальной эффективности и производительности системы [19, 20].

Результаты исследования

Время движения лодки определяется уравнением баланса источников и потребителей энергии (1):

$$\Sigma W_{\text{н}} + \Sigma W_{\text{pv}} - \Sigma W_{\text{п}} = 0, \quad (1)$$

где $\Sigma W_{\text{н}}$ – сумма энергий всех накопителей электрической энергии, Вт·ч; ΣW_{pv} – сумма получаемой электрической энергии за время движения от всех солнечных панелей, Вт·ч; $\Sigma W_{\text{п}}$ – сумма потребляемой электрической энергии всеми потребителями лодки, Вт·ч.

В данной лодке установлена одна литий-ионная аккумуляторная батарея ёмкостью 1920 Вт·ч. Для сохранения эксплуатационного ресурса АБ необходимо избегать его полного разряда и ограничить его до уровня, рекомендованного производителем и указанного в паспорте продукта. Для литий-ионных АБ допустимая глубина разряда составляет DOD (Depth of Discharge)=80 %. Таким образом полезная ёмкость, доступная для использования данным транспортом средством, составляет 1536 Вт·ч.

Для получения данных о поступающей энергии от солнечных панелей воспользуемся открытыми базами данных по инсоляции [21]. Значения средних почасовых показателей инсоляции были взяты для широты города Томска за июль 2023 г. Данные приведены в табл. 1

Рассчитаем количество энергии, вырабатываемой солнечной батареей лодки за каждый час, по формуле (2):

$$W_{\text{pv}} = \frac{E_{\text{инс}} \cdot P_{\text{сп}}}{P_{\text{инс}}}, \quad (2)$$

где $E_{\text{инс}}$ – значение инсоляции за выбранный период для заданной широты, Вт·ч/м²; $P_{\text{сп}}$ – суммарная мощность всех солнечных панелей, Вт; $P_{\text{инс}}$ – максимальное значение солнечной радиации на 1 м² земной поверхности, принимается равным 1000 Вт/м².

Таблица 1. Почасовые показатели инсоляции

Table 1. Hourly solar insolation data

Часы/Hours	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00
Излучение всего неба (Втч/м²) All sky surface shortwave downward irradiance (Wh/m²)	0,00	0,00	0,00	0,00	23,04	89,98	183,90	287,22
Часы/Hours	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00
Излучение всего неба (Втч/м²) All sky surface shortwave downward irradiance (Wh/m²)	387,87	471,99	529,66	564,68	596,61	575,90	525,82	455,17
Часы/Hours	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
Излучение всего неба (Втч/м²) All sky surface shortwave downward irradiance (Wh/m²)	364,21	261,49	162,54	73,42	17,29	0,00	0,00	0,00

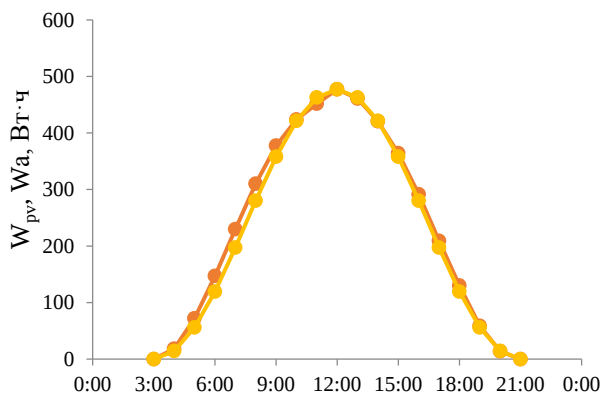


Рис. 4. Аппроксимация данных по выработке электроэнергии по местному времени

Fig. 4. Data approximation on electricity generation by local time

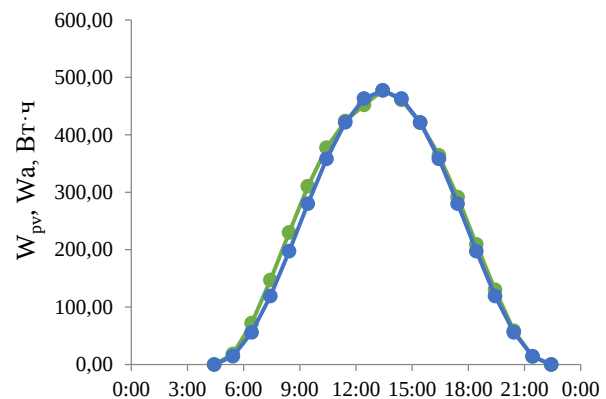


Рис. 5. Аппроксимация данных по выработке электроэнергии по истинному времени

Fig. 5. Data approximation on electricity generation by apparent time

Для упрощения дальнейшей интеграции данных была выполнена аппроксимация функцией косинуса. Ниже представлены графики аппроксимирующей функции в сравнении с вычисленными значениями для местного (рис. 4) и истинного времени (рис. 5). Для Томска разница времени в июле составляет 86 минут. Данную величину необходимо учитывать при определении времени восхода и захода солнца при расчётах по истинному времени для конкретного дня.

Из графика для местного времени видно, что в период с 3:00 до 21:00 вырабатываемая солнечной батареей электроэнергия практически идеально совпадает с описывающей её функцией косинуса (3):

$$W_a = (1 - \cos \alpha) \frac{W_{\max}}{2}, \quad (3)$$

где $W_{\max}$ – максимальное значение получаемой электроэнергии, Вт.

Для построения графика функции косинуса использовалась величина условного угла наклона солнца относительно линии горизонта α (4):

$$\alpha = 2\pi \frac{t - t_b}{t_3 - t_b}, \quad (4)$$

где t – фактическое время, для которого рассчитывается угол α ; t_b – время восхода солнца; t_3 – время захода солнца.

Значения условного угла α для каждого часа приведены в табл. 2.

Таблица 2. Значения условного угла α

Table 2. Values of the conditional angle α

Часы/Hours	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00
α , рад	–	–	–	0,00	0,35	0,70	1,047	1,396
Часы/Hours	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00
α , рад	1,745	2,094	2,443	2,793	3,142	3,491	3,840	4,189
Часы/Hours	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
α , рад	4,538	4,887	5,236	5,585	5,934	6,283	–	–

Для определения показателей расхода электрической энергии всеми системами лодки были проведены испытания. Скорость движения замерялась при помощи GPS-трекера Garmin eTrex 32x. Данные о расходе электроэнергии были сняты с батарейного монитора Victron Energy BMV-702.

Полученные данные были аппроксимированы линейной функцией и показаны на рис. 6.

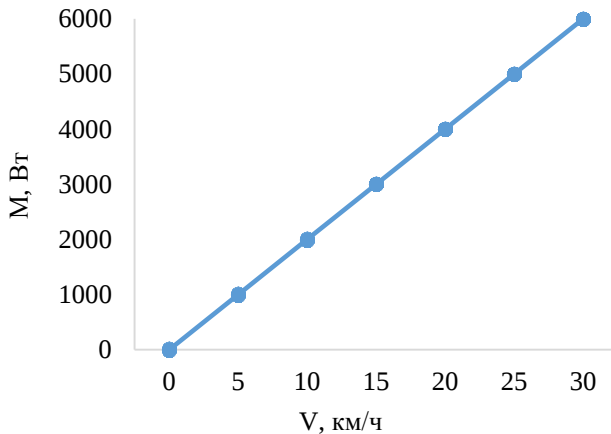


Рис. 6. Зависимость расхода электроэнергии от скорости движения

Fig. 6. Dependency of electricity consumption on speed

Для использования графика в дальнейших расчётах показатель расхода электрической энергии выбирается исходя из постоянной скорости движения лодки.

Составим уравнение движения лодки, учитывающее все накопители и потребители энергии (5):

$$\int_{\alpha_c}^{\alpha_\phi} W_a d\alpha + W_n \cdot \eta - Mt = 0, \quad (5)$$

где W_a – аппроксимирующая функция показателей вырабатываемой солнечными панелями электроэнергии относительно условного угла α ; α_c – условный угол α , соответствующий времени старта лодки; α_ϕ – условный угол α , соответствующий времени финиша лодки; W_n – энергоёмкость аккумуляторной батареи; η – суммарный КПД АБ и зарядного устройства, которым в данном случае является контроллер заряда; Вт·ч; M – мощность, затрачиваемая на выбранной скорости, Вт; t – время движения лодки, ч.

Приведём уравнение энергетического баланса к одной неизвестной, выразив t через α . Конечное уравнение будет иметь вид (6):

$$\frac{W_{\max}}{2} \int_{\alpha_c}^{\alpha_\phi} (1 - \cos \alpha) d\alpha + W_n \cdot \eta - M(t_\phi - t_c) = 0, \quad (6)$$

Проинтегрируем уравнение, домножив подынтегральное значение на масштабирующий коэффициент (7):

$$\frac{(t_3 - t_b) \cdot W_{\max}}{2\pi} \cdot \frac{1}{2} (\alpha_\phi - \sin \alpha_\phi - \alpha_c + \sin \alpha_c) + W_n \cdot \eta - M(t_\phi - t_c) = 0, \quad (7)$$

Приведём полученное уравнение к t , подставив вместо α выражение (4) с соответствующими значениями t для α . Получим (8):

$$\frac{(t_3 - t_b) \cdot W_{\max}}{2\pi} \cdot \frac{1}{2} \left(2\pi \frac{t_\phi - t_b}{t_3 - t_b} - \sin \left(2\pi \frac{t_\phi - t_b}{t_3 - t_b} \right) - \left(-2\pi \frac{t_c - t_b}{t_3 - t_b} + \sin \left(2\pi \frac{t_c - t_b}{t_3 - t_b} \right) \right) \right) + W_n \cdot \eta - M(t_\phi - t_c) = 0. \quad (8)$$

где t_ϕ – время финиша лодки; t_c – время старта лодки.

Для решения данного уравнения рекомендуется применять графический метод или метод подбора значений в ПО Excel.

Примем начальные данные времени старта в 11:00 и скорости движения лодки 7 км/ч. Подставив значения времени старта и значение расходуемой мощности при заданной скорости движения, получим два графика, отображающие поступающую энергию от фотоэлектрических элементов и затрачиваемую электромотором энергию. Разницей графиков до точки пересечения является значение заряда АБ в конкретное время движения лодки. Точка пересечения графиков показывает момент остановки лодки.

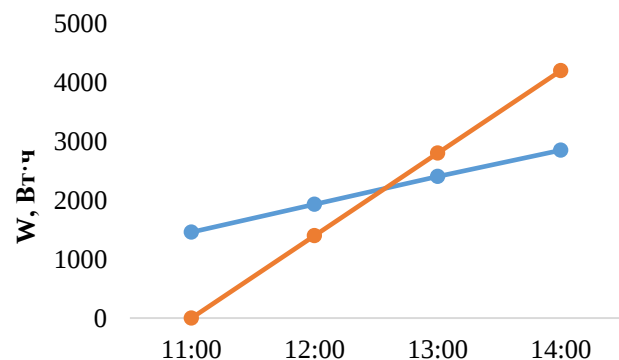


Рис. 7. Графический метод решения уравнения

Fig. 7. Graphical method for solving the equation

Из рис. 7 видим, что при начале движения в 11:00 по местному времени с постоянной скоростью 7 км/ч запас хода лодки для широты Томска составит 1 час 40 минут.

Заключение

Лодки на солнечной энергии, а также аналогичные им беспилотные плавсредства могут стать рациональной альтернативой привычным видам водного транспорта при работах по изысканию, добыче и транспортировке георесурсов в ограниченных условиях особых природных территорий. В данной работе была рассмотрена обобщённая методика расчёта времени движения электромоторной лодки с использованием солнечных панелей. Стоит отметить, что расчётные показатели со-

поставимы с реальными для данной лодки в описанной комплектации, что говорит о корректности выбранного метода. Предложенная методика может быть использована для предварительных расчётов плавучих средств: как пассажирских, так и беспилотных исследовательских платформ. Для дальнейшего совершенствования расчётов методика может быть дополнена учётом зависимости выработки солнечной энергии от ориентации панелей, а также от температуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гасанова Э.Р., Мананков А.В. Проблемы транспортной инфраструктуры и пути их решения // 65-я юбилейная университетская научно-техническая конференция студентов и молодых ученых: Труды научно-тех. конф. – Томск, 25 апреля 2019. – Томск: Томск. гос. арх.-стр. ун-т, 2019. – С. 367–373.
2. Martínez-Díaz M., Soriguera F. Autonomous vehicles: theoretical and practical challenges // *Transportation Research Procedia*. – 2018. – Vol. 33. – P. 275–282. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.10.103.
3. Асанов А.А., Мекенбаев Б.Т., Турдакун уулу Нургазы. Разработка автономных плавучих водозаборов и гидростанций // *Известия кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова*. – 2022. – № 4. – С. 505–510.
4. Григорьев М.Н. Создание новой логистики экспорта арктических минеральных ресурсов как условие их устойчивого освоения // *Георесурсы*. – 2023. – № 2. – С. 36–46. DOI: 10.18599/grs.2023.2.3.
5. Лебедева М.А. Управление развитием альтернативной энергетики в северном регионе России // *Вестник владимирского государственного университета им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых*. – 2021. – № 3. – С. 48–64. DOI: 10.18413/2409-1634-2021-7-2-0-2.
6. Марченко М.А., Войтенко О.В., Демехин Ф.В. Проблемные вопросы организации заправки маломерных судов // *Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России*. – 2011. – № 4. – С. 7–9.
7. Ерофеева Н.В. Шум на судах: расчет, нормирование и методы борьбы // *Неделя науки Санкт-петербургского государственного морского технического университета: Труды Всерос. фест. науки*. – СПб, 22–26 ноября 2021. – СПб: Санкт-Пет. гос. мор. тех. ун-т, 2021. – С. 536–539.
8. Остапенко С.П., Месяц С.П. Оценка потенциала восстановления экологического состояния природных экосистем, нарушенных при освоении георесурсов, по спутниковым данным // *Горная промышленность*. – 2023. – № 5S. – С. 80–86. DOI: 10.30686/1609-9192-2023-5S-80-86.
9. Маломерные суда: спектр их использования и проблемы / М.Н. Покусаев, К.Е. Хмельницкий, А.А. Кадин, Б.С. Айдынбеков, С.В. Власов // *Вестник астраханского государственного технического университета*. – 2023. – № 2. – С. 47–53. DOI: 10.24143/2073-1574-2023-2-47-53.
10. United Nations Climate Change. The Paris Agreement // UNCC. URL: https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf (дата обращения 10.09.2023).
11. Павленко И.В., Никитенко В.А., Авдеев Б.А. Разработка электроэнергетической установки маломерного судна с электродвижением // *Образование, наука и молодёжь: Труды научно-практ. конф.* – Керчь, 2–13 апреля 2018. – Керчь: Керч. гос. мор. тех. ун-т, 2018. – С. 156–160.
12. Егорова Н.И., Митяков О.И. Экологические инновации и устойчивое развитие // *Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева*. – 2015. – № 3 – С. 299–305.
13. Пичугин Д.Д., Чабанов Е.А. Использование солнечных батарей в качестве альтернативного источника энергии на водном транспорте // *Транспорт: проблемы, цели, перспективы: Труды Всерос. научно-техн. конф.* – Пермь, 15 февраля 2020. – Пермь: Перм. фил. Волж. гос. ун-т водн. тран., 2020. – С. 220–223.
14. Лукутина Б.В., Муравлева И.О., Плотникова И.А. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 81 с.
15. Кулова Т.Л., Скундин А.М. Проблемы развития литий-ионных аккумуляторов в мире и России // *Электрохимическая энергетика*. – 2023. – № 3. – С. 111–120. DOI: 10.18500/1608-4039-2023-23-3-111-120.
16. Larsson F., Andersson P., Mellander B. Lithium-ion battery aspects on fires in electrified vehicles on the basis of experimental abuse tests // *Batteries*. – 2016. – Vol. 2. – P. 1–13. DOI: 10.3390/batteries2020009.
17. Knoop J.E., Ahn S. Recent advances in nanomaterials for high-performance Li-S batteries // *Energy Chemistry*. – 2020. – Vol. 47. – P. 86–106. DOI: 10.1016/j.jchem.2019.11.018.
18. Grey C.P., Hall D.S. Prospects for lithium-ion batteries and beyond – a 2030 vision // *Nature communication*. – 2020. – Vol. 11. – P. 1–4. DOI: 10.1038/s41467-020-19991-4.
19. Canny D., Yusivar F. Maximum Power Point Tracking (MPPT) algorithm simulation based on fuzzy logic controller on solar cell with boost converter // *International Conference on Smart Grid and Smart Cities*. – Kuala Lumpur, Malaysia, 12–14 August 2018. – P. 117–121.
20. A Review on MPPT algorithms for solar PV systems / S. Senthilkumar, V. Mohan, R. Deepa, M. Nuthal Srinivasan, T.S. Kumar, S.B. Thanikanti, N. Prathap // *Granthaalayah*. – 2023. – Vol. 11. – P. 25–64. DOI: 10.29121/granthaalayah.v11.i3.2023.5086.
21. Data Access Viewer. URL: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (дата обращения 28.08.2023).

Информация об авторе

Валентина Васильевна Каплина, преподаватель Центра проектной деятельности и кафедры технической механики и компьютерного моделирования, Московский политехнический университет, Россия, 107023, г. Москва, ул. Большая Семёновская, 38; kaplinavv25@gmail.com

Поступила в редакцию: 22.02.2024

Поступила после рецензирования: 14.03.2024

Принята к публикации: 28.11.2024

REFERENCES

1. Gasanova E.R., Manankov A.V. Problems of transport infrastructure and ways to solve them. *65th Anniversary University Scientific and Technical Conference of Students and Young Scientists*. Tomsk, April 25, 2019. Tomsk, Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering Publ., 2019. pp. 367–373. (In Russ.)
2. Martínez-Díaz M., Soriguera F. Autonomous vehicles: theoretical and practical challenges. *Transportation Research Procedia*, 2018, vol. 33, pp. 275–282. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.10.103.
3. Asanov A.A., Mekenbaev B.T., Turdakun uulu Nurgazy Development of autonomous floating water intakes and hydropower plants. *Proceedings of the Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov*, 2022, vol. 4, pp. 505–510. (In Kyrg.)
4. Grigoryev M.N. Creation of a new logistics system for the export of Arctic mineral resources as a condition for their sustainable development. *Georesources*, 2023, vol. 2, pp. 36–46. (In Russ.) DOI: 10.18599/grs.2023.2.3.
5. Lebedeva M.A. Management of alternative energy development in the northern region of Russia. *Bulletin of the Vladimir State University named after Alexander Grigoryevich Stoletov and Nikolai Grigoryevich Stoletov*, 2021, vol. 3, pp. 48–64. (In Russ.) DOI: 10.18413/2409-1634-2021-7-2-0-2.
6. Marchenko M.A., Voytenok O.V., Demekhin F.V. Problems of refueling small vessels. *Bulletin of the St. Petersburg State University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia*, 2011, vol. 4, pp. 7–9. (In Russ.)
7. Erofeeva N.V. Noise on ships: calculation, regulation, and methods of combating. *Week of Science of the Saint Petersburg State Maritime Technical University*. St. Petersburg, November 22–26, 2021. St. Petersburg, St. Petersburg State Marine Technical University Publ., 2021. pp. 536–539. (In Russ.)
8. Ostapenko S.P., Mesyats S.P. Assessment of the potential for restoring the ecological state of natural ecosystems disrupted during the development of georesources, using satellite data. *Mining industry*, 2023, vol. 5S, pp. 80–86. (In Russ.) DOI: 10.30686/1609-9192-2023-5S-80-86.
9. Pokusaev M.N., Khmelniyskiy K.E., Kadin A.A., Aydynbekov B.S., Vlasov S.V. Small vessels: their range of use and issues. *Bulletin of Astrakhan State Technical University*, 2023, vol. 2, pp. 47–53. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-1574-2023-2-47-53.
10. *United Nations Climate Change. The Paris Agreement. UNCC*. Available at: https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf (accessed 10 September 2023).
11. Pavlenko I.V., Nikitenko V.A., Avdeev B.A. Development of an electric power installation for a small vessel with electric propulsion. *Education, Science, and Youth*. Kerch, April 2–13, 2018. Kerch, Kerch State Maritime Technological University Publ., 2018. pp. 156–160. (In Russ.)
12. Egorova N.I., Mityakov O.I. Ecological innovations and sustainable development. *Proceedings of R.E. Alekseyev Nizhny Novgorod State Technical University*, 2015, vol. 3, pp. 299–305. (In Russ.)
13. Pichugin D.D., Chabanov E.A. The use of solar panels as an alternative energy source in water transport. *Transport: Problems, Goals, Perspectives*. Perm, February 15, 2020. Perm, Perm Branch of the Volga State University of Water Transport Publ., 2020. pp. 220–223. (In Russ.)
14. Lukutina B.V., Muravleva I.O., Plotnikova I.A. *Electric power supply systems with wind and solar power plants*. Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ. house, 2015. 81 p. (In Russ.)
15. Kulova T.L., Skundin A.M. Problems of development of lithium-ion batteries in the world and Russia. *Electrochemical energy industry*, 2023, vol. 3, pp. 111–120. (In Russ.) DOI: 10.18500/1608-4039-2023-23-3-111-120.
16. Larsson F., Andersson P., Mellander B. Lithium-ion battery aspects on fires in electrified vehicles on the basis of experimental abuse tests. *Batteries*, 2016, vol. 2, pp. 1–13. DOI: 10.3390/batteries2020009.
17. Knoop J.E., Ahn S. Recent advances in nanomaterials for high-performance Li–S batteries. *Energy Chemistry*, 2020, vol. 47, pp. 86–106. DOI: 10.1016/j.jchem.2019.11.018.
18. Grey C.P., Hall D.S. Prospects for lithium-ion batteries and beyond - a 2030 vision. *Nature communication*, 2020, vol. 11, pp. 1–4. DOI: 10.1038/s41467-020-19991-4.
19. Canny D., Yusivar F. Maximum Power Point Tracking (MPPT) algorithm simulation based on fuzzy logic controller on solar cell with boost converter. *International Conference on Smart Grid and Smart Cities*. Kuala Lumpur, Malaysia, April 12–14, 2018. pp. 117–121.
20. Senthilkumar S., Mohan V., Deepa R., Nuthal Srinivasan M., Kumar T.S., Thanikanti S.B., Prathap N. A Review on MPPT algorithms for solar PV Systems. *Granthaalayah*, 2023, vol. 11, pp. 25–64. DOI: 10.29121/granthaalayah.v11.i3.2023.5086.
21. *Data Access Viewer*. Available at: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (accessed 28 August 2023).

Information about the autor

Valentina V. Kaplina, Lecturer, Moscow Polytechnic University, 38, Bolshaya Semenovskaya street, Moscow, 107023, Russian Federation, kaplinavv25@gmail.com

Received: 22.02.2024

Revised: 14.03.2024

Accepted: 28.11.2024