

10. Halladay J. Prakticheskoe primeneniye metodov termicheskogo i elektrokhimicheskogo udaleniya zaustentsev [Practical application of thermal and electrochemical deburring methods] [Electronic media]. URL: <http://stankoforward.ru/tehnologii-udaleniya-zaustentsev> (Accessed January 27, 2020).

11. Sovershennyye tekhnologicheskiye resheniya [Perfect technological solutions] [Electronic media]. URL: <https://produkttech.com/wp-content/uploads/kennametal-brochure.pdf> (Accessed January 27, 2020).

12. Sovremennyye tekhnologii udaleniya zaustentsev v otverstiyakh malykh diametrov pri izgotovlenii detalei gidravlicheskogo oborudovaniya [Modern technologies for deburring holes in small diameters in the manufacture of parts for hydraulic equipment] [Electronic media]. URL: <https://stanko-arena.ru/article/sovremennyye-tekhnologii-udaleniya-zaustentsev-v-otverstiyakh-malykh-diametrov.html> (Accessed January 27, 2020).

13. Gillespie L. Deburring and edge finishing hand-book. New York City: Industrial Press, 1999, 404 p.

14. Titov S.N. Snyatiye zaustentsev termoimpul'snoi ustanovkoi Pulsar TI-576 [Deburring with a Thermo-Polar Installation Pulsar TI-576]. *Vestnik nauchnykh konferentsii* [Bulletin of scientific conferences], 2016, No. 12-4, pp. 176–177.

15. Zhdanov A.A. Termoimpul'snyye tekhnologii ochistki poverkhnostnykh detalei agregatov aviatsionnykh dvigatelei: dis...kand. tekhn. nauk: 05.07.04 [Thermopulse technologies for cleaning surface parts of aircraft engine units: Ph.D. (Engineering) diss.: 05.07.04]. Kharkov, 2003, 120 p.

16. Slominskaya E.N. Termoimpul'snaya otdelka poverkhnosti detalei letatel'nykh apparatov: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.07.04. [Thermal impulse surface treatment of aircraft parts: Ph.D. (Engineering) diss.: 05.07.04]. Kharkov, 1996, 165 p.

17. Checheta I.A., Zenin V.L., Checheta A.E. Vysokoeffektivnyye metody proizvodstva dlya udaleniya zaustentsev frontom plameni [Highly efficient production methods for deburring by a flame front]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Voronezh State Technical University], 2012, Vol. 8, No. 4, pp. 118–121.

Информация об авторах

Карлина Юлия Игоревна – научный сотрудник Научно-исследовательской части, аспирант, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск e-mail: karlinigor@mail.ru

Гозбенко Валерий Ерофеевич – д. т. н., профессор, Иркутский государственный университет путей сообщения, Ангарский государственный технический университет, e-mail: vgozbenko@yandex.ru.

Каргапольцев Сергей Константинович – д. т. н., профессор, Иркутский государственный университет путей сообщения, e-mail: kck@irgups.ru

Information about the authors

Yuliya I. Karlina – Researcher of Research Department, Ph.D. student, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, e-mail: karlinigor@mail.ru

Valerii E. Gozbenko – Doctor of Engineering Science, Prof., Irkutsk State Transport University, Angarsk State Technical University, e-mail: vgozbenko@yandex.ru.

Sergei K. Kargapol'tsev – Doctor of Engineering Science, Prof., Irkutsk State Transport University, e-mail: kck@irgups.ru

DOI 10.26731/1813-9108.2020.2(66).22-27

УДК 621.3

Ограниченность возобновляемых источников энергии. Возможность преобразования энергии колебаний физического маятника в электроэнергию

С. А. Трёмбач ✉

Череповецкий государственный университет, г. Череповец, Российская Федерация

✉ satrembach@yandex.ru

Резюме

В статье рассматривается способ преобразования энергии маятниковых колебаний в электрическую энергию, а также рассчитывается выработка и потребление системы генерации энергии через маятниковые колебания. Система для преобразования энергии гравитации в электрическую энергию состоит из физического маятника, каркаса, на котором он закреплен с помощью подшипников, минимум одной ведомой и одной ведущей шестерни передаточного механизма, самого генератора, присоединяющегося к маятнику через передаточный механизм, аккумулятора, куда поступает вся вырабатываемая энергия и из которого берется энергия на поддержание системы, двух электромагнитов, поддерживающих колебания маятника незатухающими, и двух реле времени, оптимизирующих энергопотребление электромагнитов и задающих режим их работы согласно периоду полного колебания маятника. Исходя из результатов расчета, возможность, получения электроэнергии с помощью такой системы подтверждена посредством выработки мощности 2,7 Вт и потребления 2,26 Вт, вследствие чего было запущено изготовление прототипа данного генератора электрической энергии. Ввод генератора в эксплуатацию положительно повлияет на энергетическую обстановку во всем мире. Данный генератор электрической энергии не имеет привязок к определенным географическим объектам, а также не зависит от

прочих факторов, таких как время суток, время года, и других проблем, возникающих при работе известных источников возобновляемой энергии.

Ключевые слова

возобновляемый источник энергии, энергия гравитации, физический маятник, генерация электрической энергии

Для цитирования

Трембач С. А. Ограниченность возобновляемых источников энергии. Возможность преобразования энергии колебаний физического маятника в электроэнергию // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – Т. 66 № 2. – С. 22–27. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.2(66).22-27

Информация о статье

поступила в редакцию: 18.02.2020, поступила после рецензирования: 15.03.2020, принята к публикации: 20.04.2020

Limited availability of renewable energy sources. A method for converting the energy of oscillations of a physical pendulum into electricity

S. A. Trembach✉

Cherepovets State University, Cherepovets, the Russian Federation

✉ satrembach@yandex.ru

Abstract

This article describes a method for converting the energy of pendulum oscillations into electrical energy, and also calculates the output and consumption of the energy generation system through pendulum oscillations. A system for converting energy of gravity into electrical energy consists of the physical pendulum, the frame on which the pendulum is mounted on ball bearings, at least one driven and at least one driving gear of the transmission mechanism, the generator, attached to the pendulum via the transmission mechanism, the battery, where all the generated energy is supplied and from which the energy is drawn on to maintain the system, two electromagnets that keep the pendulum oscillating continuous, and the two relays that optimize the energy consumption of the electromagnets and set their operation mode, according to the period of full-wave oscillation of the pendulum. Based on the results of the calculation, the possibility of obtaining electrical energy was confirmed by a power output of 2,7 W and a consumption of 2,26 W. As a result of which, the production of a prototype of this electric power generator was started. Putting this generator into operation will have a positive impact on the energy situation around the world – this electric power generator does not depend on the geographical location, as well as other factors, such as the time of day, time of year, and other problems of known renewable energy sources.

Keywords

renewable energy source, gravity energy, physical pendulum, generation of electric energy

For citation

Trembach S. A. Ogranichenost' vozobnovlyayemykh istochnikov energii. Vozmozhnost' preobrazovaniya energii kolebaniy fizicheskogo mayatnika v elektroenergiyu [Limited availability of renewable energy sources. A method for converting the energy of oscillations of a physical pendulum into electricity]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovaniye* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2020, Vol. 66, No. 2, pp. 22–27. DOI: 10.26731/1813-9108.2020.2(66).22-27

Article info

Received: 18.02.2020, Revised: 15.03.2020, Accepted: 20.04.2020

Введение

Среди существующих возобновляемых источников энергии выделяют следующие ее виды: энергия ветра, гидроэнергия, энергия приливов и отливов, энергия волн и температурного градиента морской воды, энергия солнечного света, геотермальная энергия и биоэнергетика. У всех перечисленных источников есть свои недостатки, в основном это зависимость генератора от его географического положения и таких факторов, как скорость ветра, время суток, наличие волн или геотермальных источ-

ников и т. д. В биоэнергетике применяется биотопливо, которое можно было бы использовать в других областях. Также большая часть генераторов на возобновляемых источниках энергии в той или иной степени наносит ущерб окружающей среде.

Преобразование маятниковых колебаний в электрическую энергию

Рассмотрим другой возобновляемый источник энергии – силу гравитации. Использовать силу гра-

витации для превращения ее в электрическую энергию можно при помощи маятникового механизма.

Для подтверждения работоспособности системы были произведены расчеты генерируемой электрической мощности генератора и сравнение с общей потребляемой мощностью на энергию элементы, которые нужны для поддержания работоспособности системы. Результаты расчетов следующие: генерируемая электрическая мощность 2,7 Вт, потребляемая мощность всех элементов системы 2,45 Вт.

Механизм состоит из физического маятника в форме морского якоря (рис. 1), центр тяжести которого сильно смещен к нижней его части. Возьмем для примера маятник массой 20 кг и общей длиной около 20 см. Период колебания такого маятника, исходя из представленных далее расчетов, равен 1,12 сек. с амплитудой 130° [1–5].

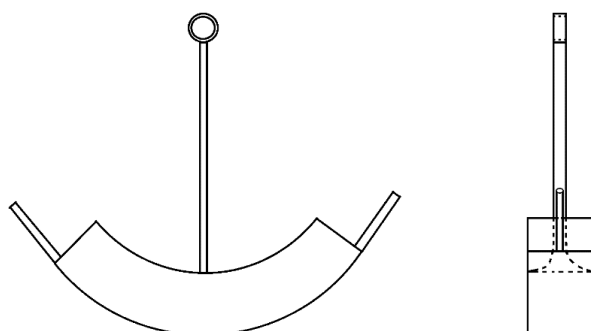


Рис. 1. Эскиз маятника
Fig. 1. Sketch of the pendulum

Через повышающий редуктор с коэффициентом повышения 4 присоединим к точке опоры физического маятника синхронный генератор постоянного тока на постоянных магнитах, переделанный из коленчатого генератора в обычный [6]. Характеристиками, заявленными производителем данного генератора, являются: генерируемый ток 0,3 А и генерируемое напряжение 9 В при скорости вращения вала 150 об./мин. В данной системе количество оборотов генератора составит примерно 150 в минуту. Рассчитаем возможную выработку системы.

Далее схематично показана 3D модель системы для преобразования энергии гравитации в электроэнергию (рис. 2). При колебательных движениях маятника, крутящий момент через повышающий редуктор (он же передаточный механизм) будет передаваться на вал синхронного генератора, характеристики которого указаны выше, вследствие чего будет вырабатываться электрический ток. На рисунке схематично показано присоединение четырех синхронных генераторов к маятнику, в статье же рассматривается присоединение всего одного такого генератора. Вырабатываемый синхронными генераторами электрический

ток далее поступает в аккумулятор через трехфазный выпрямитель [7].

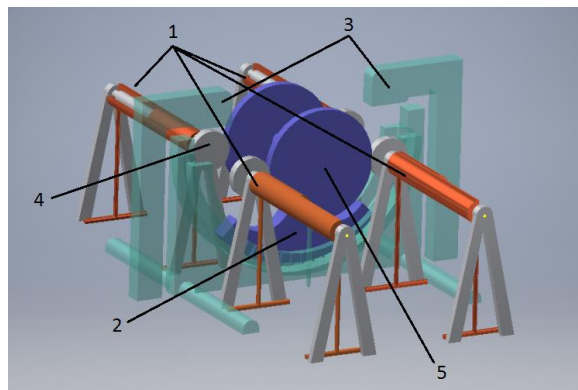


Рис. 2. Схематичная модель системы для преобразования энергии гравитации в электроэнергию: 1 – синхронные генераторы (статор показан с разрезом); 2 – маятник; 3 – поддерживающие колебания электромагниты; 4 – ведомая шестерня передаточного механизма, закрепленная на роторе генератора; 5 – ведущая шестерня, закрепленная на оси маятника

Fig. 2. A schematic model of a system that converts gravity energy into electricity: 1 – synchronous generators (the stator is shown with a cut); 2 – pendulum; 3 – electromagnets that sustain oscillations; 4 – driven gear of the transmission mechanism, mounted on the generator rotor; 5 – driving gear fixed on the axis of the pendulum

Для генерации электрической энергии в системе будет использован ранее указанный синхронный генератор постоянного тока, выполненный на постоянных магнитах [6], с заявленными производителем характеристиками. Шестерни редуктора, исходя из колебательных движений физического маятника, будут вращаться поочередно – сначала в одном направлении, затем в другом с постоянно меняющейся скоростью. Однако, исходя из того, что весь генерируемый ток будет постоянным, то скорость и направление вращения ротора синхронного генератора не повлияют на эффективность его зарядки [8–11].

Скорость ротора генератора будет изменяться по траектории, схожей с синусоидальной, и в среднем будет составлять, исходя из дальнейших расчетов, 154,76 об./мин. (данное значение для удобства расчетов было округлено до 150).

Расчет эффективности системы

Для расчетов выбран физический маятник массой $m = 20$ кг, длиной $l = 20$ см = 0,2 м и расстоянием от точки подвеса до центра тяжести маятника $h = 16$ см = 0,16 м.

Период колебания физического маятника рассчитывается по формуле

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{J}{m \cdot g \cdot l}},$$

где $m = 20$ кг; $g = 9,8$ м/с², $l = 0,2$ м, J – момент инерции, рассчитывающийся следующим образом:

$$J = m \cdot (r^2 + h^2),$$

где r – радиус инерции относительно оси, проходящей через центр тяжести; h – расстояние от точки подвеса до центра тяжести маятника [12–17].

Положим $r = h = 0,16$ м. Тогда $J = 1,024$ кг·м², $T = 1,12$ сек., т. е. период полного колебания маятника 1,12 сек.

Амплитуда колебания физического маятника за полупериод $A = 130^\circ$. Амплитуду колебания задаем самостоятельно, отклонив маятник на определенный угол от положения равновесия на $A/2$, т. е. на 65° .

Передаточный коэффициент редуктора $Z = 4$.

Для расчета скорости вращения вала генератора необходимо амплитуду полного колебания маятника $A_{\text{полн}}$, состоящей из двух амплитуд колебания за полупериод A , разделить на период одного полного колебания T . Таким образом, получим V_m – количество градусов, которое проходит физический маятник генератора за 1 сек. Для получения значения скорости вращения ротора генератора W необходимо V_m умножить на передаточный коэффициент редуктора Z и умножить на 60 и поделить на 360, чтобы получить количество оборотов (360°) за одну минуту (60 сек.).

Скорость вращения ротора генератора W рассчитывается по формуле

$$W = \frac{V_m \cdot Z \cdot 60}{360},$$

где $A_{\text{полн}} = 2 \cdot A$, $V_m = \frac{A_{\text{полн}}}{T}$.

Подставляя известные значения величин в данные формулы, получаем $W = 154,76$ об./мин. (для удобства дальнейших расчетов округлим данное значение до 150).

Необходимо уточнить, что 150 об./мин. – это средняя скорость вращения вала генератора. Особенность движения маятника в том, что скорость то увеличивается, то уменьшается до 0, следовательно, скорость вращения вала генератора также будет изменяться во времени, образуя усредненное значение.

Учитывая данные генератора, указанные производителем на сайте [6], вырабатываемый ток $I = 0,3$ А, вырабатываемое напряжение при 150 об./мин. $U = 9$ Вт, рассчитаем вырабатываемую мощность P Вт маятниковым генератором [18–19]:

$$P = U \cdot I = 9 \cdot 0,3 = 2,7.$$

Далее рассчитаем потребление $P_{\text{эм-общ}}$ двух электромагнитов, поддерживающих колебания физического маятника незатухающими (см. рис. 2), число которых не зависит от количества присоединенных

генераторов. Их мощность $P_{\text{эм}}$ равна 7 Вт, но так как их в системе два, то количество затрачиваемой энергии на их поддержание возрастает вдвое:

$$P_{\text{эм-общ}} = P_{\text{эм}} \cdot 2 = 7 \cdot 2 = 14.$$

Как видим из расчетов, потребляемая мощность данных электромагнитов при генерируемой мощности 2,7 Вт составляет уже 14 Вт. Исходя из этого, генератор не может работать при таком большом потреблении электромагнитов.

Для оптимизации потребления электромагнитов были использованы два реле времени [20]. Электрическими характеристиками данных реле являются напряжение 12 Вт, потребляемый ток $P_{\text{рв1}} = 10$ мА = 0,01 А в режиме ожидания, $P_{\text{рв2}} = 50$ мА = 0,05 А при срабатывании. Время срабатывания равно 0,1 сек., за полный период колебания маятника – 1,12 сек., из чего следует, что потребляемая мощность сразу двух реле $P_{\text{рв-общ}}$ (Вт) в системе будет равна:

$$P_{\text{рв-общ}} = 2 \cdot \left(P_{\text{рв1}} + \frac{P_{\text{рв1}} \cdot 0,1}{1,12} \right),$$

или

$$P_{\text{рв-общ}} = 2 \cdot \left(0,01 + \frac{0,05 \cdot 0,1}{1,12} \right) = 0,29.$$

Особенность реле времени в том, что его можно настроить на включение на время t_1 , равное 0,1 сек., один раз на t_2 , равное 1,12 сек., идеально подходящее под период колебания маятника, для включения электромагнита в необходимое время для добавления энергии маятнику. Данный процесс снизит потребление энергии электромагнита в n раз:

$$P > P_{\text{нотр}} \cdot 1,1 = 2,7 > 1,54 \cdot 1,1 = 2,7 > 1,694,$$

$$P_{\text{нотр}} \cdot 1,1 = 2,7 > 1,54 \cdot 1,1 = 2,7 > 1,694,$$

$$n = \frac{t_2}{t_1} = \frac{1,12}{0,1} = 11,2$$

исходя из этого, потребление $P_{\text{эм-общ2}}$ будет равно

$$P_{\text{эм-общ2}} = \frac{P_{\text{эм}}}{n} \cdot 2.$$

В нашем случае:

$$P_{\text{эм-общ2}} = \frac{7}{11,2} \cdot 2 = 0,625 \cdot 2 = 1,25.$$

Из расчетов потребляемой мощности видно, что два электромагнита после оптимизации работы при помощи реле времени уменьшают потребление мощности до 0,625 Вт каждый, и до 1,25 Вт в совокупности.

Общее потребление мощности системы маятникового генератора $P_{\text{нотр}}$ рассчитывается путем суммы потребления обеих катушек $P_{\text{эм-общ2}}$ и потребление двух реле времени $P_{\text{рв-общ}}$:

$$P_{\text{нотр}} = P_{\text{эм-общ2}} + P_{\text{рв-общ}},$$

или

$$P_{\text{номр}} = 1,25 + 0,29 = 1,54.$$

Исходя из расчетов, общее потребление мощности системы $P_{\text{номр}}$ равно 1,54 Вт.

Для того, чтобы сделать вывод о работоспособности системы, необходимо сравнить показатели выработки системы в ваттах в час P (2,7 Вт) и общее потребление системы $P_{\text{номр}}$ (1,54 Вт) также в ваттах в час $P > P_{\text{номр}}$.

Так как генерируемая мощность системы превосходит по величине потребляемую, можно сделать вывод, что данная система работоспособна.

Данная установка может производить 2,7 Вт мощности, 1,54 Вт из них затрачивая на поддержание своей работоспособности. Даже при потерях в редукторе мощность на поддержание системы увеличится в 1,1 раза, но система все равно имеет запас по вырабатываемой мощности.

Разница в генерируемой и потребляемой мощностях системы 1,006 Вт. Система производит положительную мощность даже при одном присоединенном генераторе. Количество присоединяемых генераторов зависит от многих факторов – силы трения во всех подшипниках, силы сопротивления ротора при генерации электрической энергии, потери в редукторе и даже силы трения маятника о воздух. Приемлемым будет количество генераторов, оказывающих останавливающее воздействие на маятник менее того значения, при котором маятник не сможет быть притянут электромагнитами к положению своей максимальной амплитуды, т. е. при том значении, при котором маятник продолжит свои колебания без остановки. В связи со сложностью данного расчета в дальнейшем будет создан прото-

тип этой системы генерации с указанными генераторами, а также для подтверждения результатов на практике.

Для проверки расчетных результатов и дальнейшей оптимизации системы принято решение по изготовлению прототипа данного генератора.

Ввод данного генератора в эксплуатацию повлияет положительно на глобальную энергетическую проблему – данный генератор электрической энергии не имеет привязок к определенным географическим объектам и природным явлениям, а также таким факторам, как время суток, время года, и другим проблемам, возникающим в процессе работы известных источников возобновляемой энергии.

Данный генератор может использоваться не только как стационарная установка, но также может применяться на таких видах транспорта, как катера, баржи, поезда и т. д. для частичного или полного питания внутренних электрических систем, в связи с тем, что энергия гравитации на них работает так же, как на суше.

Выводы

Все возобновляемые источники энергии имеют свои недостатки, препятствующие в той или иной степени выработке энергии, или негативно влияющие на окружающую среду.

В исследовании рассмотрен способ преобразования энергии гравитации в электрическую энергию.

Предлагаемый способ генерации с рассчитанными параметрами потребляемой (1,694 Вт) и генерируемой мощности (2,7 Вт), подтверждает работоспособность генератора.

Список литературы

1. Определение периода больших колебаний маятника (до 90°) / В. В. Талалай, А. В. Кочетков, П. В. Федотов и др. // Наукоедение, 2016. Т. 8. № 5. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/73TVN516.pdf> (дата обращения 14.01.2020).
2. Аппель П. Теоретическая механика. Т. 1. М.: Физматгиз. 1960.
3. Динамический расчет зданий и сооружений (Справочник проектировщика) / М.Ф. Барштейн, В.А. Ильичев, Б.Г. Корнев и др. / под ред. Б.Г. Коренева, И.М. Рабиновича. М.: Стройиздат. 1984. 303 с.
4. Сагитов М. У. Постоянная тяготения и масса Земли. М.: Наука. 1969. 188 с.
5. Кочетков А. В., Челпанов И. Б., Федотов П. В. Определение периода больших колебаний маятника в элементарных функциях // Измерительная техника. 2016. № 6. С. 39–41.
6. Ручной генератор // AliExpress : сайт – URL: https://ru.aliexpress.com/item/32761636793.html?spm=a2g0v.search0302.3.120.859e5dbenW8ofp&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_0,searchweb201603_0,ppcSwitch_0&algo_pvid=8c0b2a5d-d8e9-4683-a607-6a3b1be9ffd7&algo_expid=8c0b2a5d-d8e9-4683-a607-6a3b1be9ffd7-17 (дата обращения 14.01.2020)
7. Брылина О. Г., Гельман М. В. Исследование трехфазного активного выпрямителя напряжения // Электротехнические системы и комплексы. 2014. № 1. С. 47–50.
8. Исследование зависимости мощности синхронных электрических машин от главных размеров и частоты вращения ротора / Я. М. Кашин, А. Я. Кашин, А. С. Князев и др. // Вестник Адыгейск. гос. ун-та. Сер. 4: естественно-математические и технические науки. 2016. № 3. С. 99–108.
9. Pakhomin S. A. Designing of synchronous generators: a manual on the course project for Electromechanics. Novocheboksary: YuRGU, 2007. Pp. 8.
10. Balagurov V. A. Designing of special electrical AC machines. М.: Vyssh. Shk., 1982. Pp. 32.
11. Goldberg O. D., Sviridenko I. S. Designing of electrical machines. М.: Vyssh. Shk., 2006. Pp. 18.
12. Лельчук Л. Ю. Физический маятник. М.: Изд-во Томск. гос. политехн. ун-та. 2012.
13. Горбатый И. Зависимость периода колебания маятника от амплитуды // Квант. 2005. № 2. С. 27–29.
14. Пилипосян С. Е. Измерение момента инерции произвольного твердого тела // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2010. № 4. С. 100–110.

15. Стороженко В.А. Синхронизация вращения в задаче определения главной центральной оси инерции неоднородного твёрдого тела. Проблемы механики. М. : Физматлит, 2003.
16. Гернет М. М., Ратобильский В. Ф. Определение моментов инерции. М. : Машиностроение, 1969. 315 с.
17. Лаврентьев М. А., Шабат Б. В. Методы теории функции комплексного переменного. М. : Наука, 1973. 736 с.
18. Пахомин С. А. Проектирование синхронных генераторов : учеб. пособие к курсовому проекту по электромеханике. Новочеркасск : ЮРГТУ, 2007. С. 8.
19. Балагуров В. А. Проектирование специальных электрических машин переменного тока. М. : Высш. шк., 1982. С. 32.
20. Реле задержки 12V включения или выключения с индикацией // Elemag : сайт. URL: <https://elemag.dp.ua/p548674810-rele-zaderzhki-12v.html> (дата обращения 15.01.2020).

References

1. Talalai V.V., Kochetkov A.V., Fedotov P.V., Talalai M.V. Opredelenie perioda bol'shikh kolebaniy mayatnika (do 90°) [Determination of the period of large oscillations of the pendulum (up to 90°)]. Internet-zhurnal «Naukovedenie» [Internet journal "Science Studies"], 2016, Vol. 8, No. 5. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/73TVN516.pdf> (free access). In Russ., Eng.
2. Appel' P. Teoreticheskaya mekhanika [Theoretical Mechanics]. In 2 vols. Vol. 1. Moscow: Fizmatgiz Publ., 1960.
3. Barshtein M.F., P'ichev V.A., Korenev B.G. et al; Dinamicheskii raschet zdaniy i sooruzheniy (Spravochnik proektirovshchika) [Dynamic calculation of buildings and structures (A designer's reference book)]. In Korenev B.G., Rabinovich I.M. (eds.) Moscow: Stroiizdat Publ., 1984, 303 p.
4. Sagitov M.U. Postoyannaya tyagoteniya i massa Zemli [Constant gravity and Earth mass]. Moscow: Nauka Publ., 1969, 188 p.
5. Kochetkov A.V., Chelpanov I.B., Fedotov P.V. Opredelenie perioda bol'shikh kolebaniy mayatnika v elementarnykh funktsiyakh [Determination of the period of large oscillations of the pendulum in elementary functions]. Izmeritel'naya tekhnika [Measuring equipment], 2016, No. 6, pp. 39–41.
6. AliExpress [Electronic media]. URL: https://ru.aliexpress.com/item/32761636793.html?spm=a2g0v.search0302.3.120.859e5dbenW8ofp&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_0,searchweb201603_0,ppcSwitch_0&algo_pvid=8c0b2a5d-d8e9-4683-a607-6a3b1be9ffd7&algo_expid=8c0b2a5d-d8e9-4683-a607-6a3b1be9ffd7-17 (Accessed January 14, 2020).
7. Brylina O.G., Gel'man M.V. Issledovanie trekhfaznogo aktivnogo vpyryamatelya napryazheniya [Research of a three-phase active voltage rectifier]. Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы [Electrotechnical systems and complexes], 2014, No. 1, pp. 47–50.
8. Kashin Ya.M., Kashin A.Ya., Knyazev A.S., Raklo A.V. Issledovanie zavisimosti moshchnosti sinkhronnykh elektricheskikh mashin ot glavnykh razmerov i chastoty vrashcheniya rotora [Investigation of the dependence of the power of synchronous electric machines on the main dimensions and rotor speed]. Vestnik Adygeyskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. 4: estestvenno-matematicheskie i tekhnicheskie nauki [Bulletin of Adygea State University. Ser. 4: natural-mathematical and technical sciences], 2016, No. 3, pp. 99–108.
9. Pakhomin S.A. Designing of synchronous generators: a manual on the course project for electromechanics. Novocheerkassk: YuRGTU Publ., 2007, pp. 8.
10. Balagurov V.A. Designing of special electrical AC machines. Moscow: Vysshaya Shkola Publ., 1982, pp. 32.
11. Goldberg O.D., Sviridenko I.S. Designing of electrical machines. Moscow: Vysshaya Shkola Publ., 2006, p. 18.
12. Lel'chuk L.Yu. Fizicheskii mayatnik [Physical pendulum]. Moscow: Tomsk politechnical university Publ., 2012.
13. Gorbatiy I. Zavisimost' perioda kolebaniya mayatnika ot amplitudy [The dependence of the period of oscillation of the pendulum on the amplitude]. Kvant [Quantum], 2005, No. 2, pp. 27–29.
14. Piliposyan S.E. Izmerenie momenta inertsii proizvol'nogo tverdogo tela [Measurement of the moment of inertia of an arbitrary rigid body]. Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva [Proceedings of Alekseev NSTU], 2010, No. 4, pp. 100–110.
15. Storozhenko V.A. Sinkhronizatsiya vrashcheniya v zadache opredeleniya glavnoi tsentral'noi osi inertsii neodnorodnogo tverdogo tela [Rotation synchronization in the problem of determining the main central axis of inertia of an inhomogeneous solid]. Problemy mekhaniki [Problems of mechanics]. Moscow: Fizmatlit Publ., 2003.
16. Gernet M.M., Ratobyl'skii V.F. Opredelenie momentov inertsii [Determination of moments of inertia]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1969, 315 p.
17. Lavrent'ev M.A., Shabat B.V. Metody teorii funktsii kompleksnogo peremennogo [Methods of the theory of functions of a complex variable]. Moscow: Nauka Publ., 1973, 736 p.
18. Pakhomin S.A. Proektirovanie sinkhronnykh generatorov: ucheb. posobie k kursovomu projektu po elektromekhanike [Designing of synchronous generators: a manual on the course project for electromechanics]. Novocheerkassk: YuRGTU Publ., 2007, p. 8.
19. Balagurov V.A. Proektirovanie spetsial'nykh elektricheskikh mashin peremennogo toka [Designing of special electrical AC machines]. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 1982, p. 32.
20. Elemag [Electronic media]. URL: <https://elemag.dp.ua/p548674810-rele-zaderzhki-12v.html> (Accessed January 15, 2020).

Информация об авторах

Трембач Сергей Андреевич – магистрант, Череповецкий государственный университет, г. Череповец, e-mail: satrembach@yandex.ru

Information about the authors

Sergei A. Trembach – Master's student, Cherepovets State University, Cherepovets, e-mail: satrembach@yandex.ru