

УДК 681.5.01 (075.8)
DOI: 10.18799/29495407/2024/2/52
Шифр специальности ВАК: 2.3.1

Модули Пельтье SP1848 в режимах теплопереноса и генерации электрической энергии, и их практическое применение

М.А. Саблин✉, Г.В. Саблина, В.Г. Трубин

Новосибирский государственный технический университет, кафедра автоматики, Россия, г. Новосибирск

✉mxsblnnn@gmail.com

Аннотация. Обсуждается задача исследования свойств модуля Пельтье SP1848 (нагревающих, охлаждающих и генерирующих). Первой целью было конструирование лабораторного стенда, который позволил провести опыты по нагреванию модуля, его охлаждению, а также генерации электрической энергии. Показано, что в режиме охлаждения минимальная температура поверхности модуля составила $-12,5^{\circ}\text{C}$, а в режиме нагревания максимальная температура составила $+69,1^{\circ}\text{C}$. Нагрев поверхности модуля до $+120^{\circ}\text{C}$ обеспечил выходное напряжение 2,4 В. Данного напряжения оказалось достаточно, чтобы зажечь лампу накаливания 2,5 В. Следующей целью было конструирование портативного холодильника на базе шести модулей SP1848 и проведение экспериментов по изучению его охлаждающих свойств. Показано, что модули Пельтье позволяют не только сохранять в камере фиксированную температуру, но и понижать её до определённых значений. В заключение сформулированы достоинства и недостатки вышеописанного модуля, сделаны выводы о возможных способах его применения.

Ключевые слова: модуль Пельтье SP1848, альтернативный источник энергии, генерация энергии, нагревание, охлаждение

Для цитирования: Саблин М.А., Саблина Г.В., Трубин В.Г. Модули Пельтье SP1848 в режимах теплопереноса и генерации электрической энергии, и их практическое применение // Известия Томского политехнического университета. Промышленная кибернетика. – 2024. – Т. 2. – № 2. – С. 45–51. DOI: 10.18799/29495407/2024/2/52

UDC 681.5.01 (075.8)
DOI: 10.18799/29495407/2024/2/52

Peltier modules SP1848 in the modes of heat transfer and electrical energy generation and their practical application

M.A. Sablin✉, G.V. Sablina, V.G. Trubin

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation

✉mxsblnnn@gmail.com

Abstract. This article discusses the problem of studying the properties of the SP1848 Peltier modules (heating, cooling and generating). The first goal was to construct the laboratory stand, which will allow conducting experiments on heating the module, cooling it, and generating electrical energy. It was shown that in the cooling mode the minimum temperature of the module surface was -12.5°C , and in the heating mode the maximum temperature was $+69.1^{\circ}\text{C}$. Heating the module surface to $+120^{\circ}\text{C}$ provided an output voltage of 2.4V. This voltage was enough to light a 2.5V incandescent lamp. The next goal was to construct a portable refrigerator based on six SP1848 modules and conduct experiments to study its cooling properties. It is shown that Peltier modules make it possible not only to maintain a fixed temperature in the chamber, but also to lower it to certain values. In conclusion, the advantages and disadvantages of the above-described module are formulated, and conclusions are drawn about possible ways of its application.

Keywords: Peltier module SP1848, alternative energy source, energy generation, heating, cooling

For citation: Sablin M.A., Sablina G.V., Trubin V.G. Peltier modules SP1848 in the modes of heat transfer and electrical energy generation and their practical application. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Industrial Cybernetics*, 2024, vol. 2, no. 2, pp. 45–51. DOI: 10.18799/29495407/2024/2/52

Введение

В настоящее время энергетические потребности населения планеты возрастают с каждым днём. Учёные многих стран разрабатывают альтернативные источники энергии и внедряют их в эксплуатацию в связи с выработкой ресурсов классических источников энергии, таких как уголь, нефть и газ.

Таким источником может являться энергия, полученная с помощью эффекта, который был открыт Жаном Шарлем Пельтье в 1834 г. [1, 2]. В одном из экспериментов учёный пропускал электрический ток через пластинку висмута с подключёнными к ней медными проводниками [3]. В ходе эксперимента было обнаружено, что одно соединение висмут–медь нагревается, другое остывает. При подаче напряжения на контакты модуля на его поверхностях появлялась разность температур, вследствие которой возникала электродвижущая сила (ЭДС). Также же была замечена обратимость процесса, когда при поддержании разных температур на проводах в месте контакта в них фиксировалось появление электрического тока. Данный эффект также был очень важен и получил название эффекта Зеебека [4, 5].

Причина возникновения эффекта Пельтье состоит в том, что в месте контакта двух веществ имеется разность потенциалов, которая порождает контактное электрическое поле между ними. Если теперь через контакт пропустить электрический ток, это поле будет либо помогать прохождению тока, либо препятствовать ему. Поэтому, если ток направлен против вектора напряжённости контактного поля, источник прикладываемой ЭДС, должен совершить работу, и энергия источника выделяется в месте контакта, что приводит к его нагреву. Если же ток источника будет направлен по контактному полю, он как бы дополнительно будет поддерживаться этим внутренним электрическим полем, и поле совершит дополнительную работу по перемещению зарядов. Эта энергия отбирается теперь у вещества, что в действительности и приводит к охлаждению места спая. Поскольку в модулях Пельтье используются спай пар полупроводников, рассмотрим, какой процесс в них реализован.

Полупроводники различаются уровнями энергий электронов в зоне проводимости. При прохождении электрона через место контакта данных материалов электрон приобретает энергию, чтобы суметь перейти в более высокоэнергетическую зону проводимости другого полупроводника пары. При поглощении электроном этой энергии проис-

ходит охлаждение места контакта полупроводников. При протекании тока в обратном направлении происходит нагревание места контакта полупроводников, дополнительно к обычному джоулеву теплу. Если бы вместо полупроводников в модулях Пельтье использовались чистые металлы, тепловой эффект оказался бы настолько мал, что омический нагрев значительно бы его превзошёл. Выработанное тепло Q_n (положительное или отрицательное, т. е. холод), согласно экспериментальным данным, пропорционально току через цепь I , времени пропускания тока t и характеризующего контактирующие материалы и их температуру коэффициента Пельтье Π . Чтобы вычислить это тепло, можно воспользоваться формулой:

$$Q_{\Pi} = \Pi \cdot I \cdot t.$$

Структура модуля Пельтье показана на рис. 1.

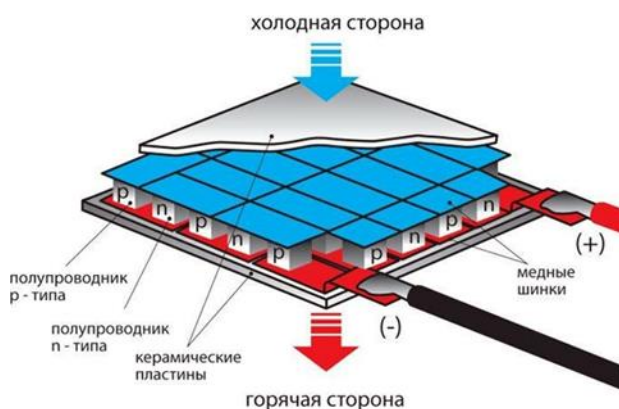


Рис. 1. Структура модуля Пельтье
Fig. 1. Peltier module structure

Модули Пельтье применяются при решении различных задач. Они могут оказаться полезными при разработке и исследовании электронных измерительных устройств, которые зачастую предполагают исследование функционирования этих устройств как при повышенных, так и при пониженных температурах [6]. Применяются в задачах охлаждения в случаях, когда энергетическая эффективность охладителя не принципиальна. Например, эффективны для проектирования небольших автомобильных холодильников, так как применение обычного компрессора в этом случае невозможно из-за ограниченных размеров и, кроме того, требуемая мощность охлаждения невелика.

Могут быть применены при транспортировке грузов (например, медицинских анализов), когда не допускается наличие фреона. Могут быть использованы для генерации электрической энергии в случаях, когда нет других источников.

В данной работе будут рассмотрены эффекты нагрева, охлаждения и генерации энергии при использовании термоэлектрического модуля SP1848 (рис. 2), работа которого основана на эффекте Пельтье.



Рис. 2. Модуль Пельтье SP1848

Fig. 2. Peltier module SP1848

Постановка задачи

В результате работы необходимо было решить следующие задачи:

- сконструировать лабораторный стенд с модулем SP1848 для проведения экспериментов;
- использовать модуль SP1848 в качестве устройства охлаждения;
- использовать модуль SP1848 в качестве устройства нагрева;
- получить электрическую энергию при помощи модуля SP1848;
- сконструировать портативный холодильник на базе шести модулей SP1848;
- сделать вывод о достоинствах, недостатках и возможных применениях свойств модуля SP1848.

Исследование охлаждающих и нагревательных свойств модуля проводилось путём подачи на элемент регулируемого постоянного напряжения положительной или отрицательной полярности, исследование генерирующих свойств модуля проводилось путём нагрева одной из сторон элемента и охлаждения другой.

Проведение экспериментов

Нагревающие и охлаждающие свойства модуля Пельтье SP1848

Для проведения исследований охлаждающих и нагревательных свойств модуля Пельтье был собран лабораторный стенд (рис. 3).



Рис. 3. Лабораторный стенд

Fig. 3. Laboratory stand

Для повышения эффективности работы модули были установлены на радиаторы, на поверхность соприкосновения нанесена термопаста для повышения эффективности теплового контакта между двумя поверхностями.

С целью исследования охлаждающих и нагревательных свойств модуля Пельтье на его контакты подавалось постоянное напряжение от лабораторного источника постоянного тока [7]. Максимальные подаваемые напряжения были ограничены значениями 6 В при токе 3,5 А во избежание выхода модуля из строя. Для охлаждения модуля на его контакты подавалось напряжение положительной полярности, для нагрева – отрицательной.

При подаче на модуль напряжения +6 В при токе 3,5 А была достигнута минимальная температура его поверхности $-12,5^{\circ}\text{C}$, что вызвало замерзание воды на расположенной на поверхности модуля монеты (рис. 4, 5).

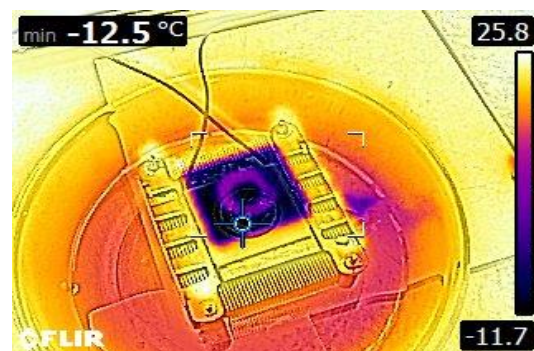


Рис. 4. Охлаждение монеты (тепловизор)

Fig. 4. Coin cooling (thermal imager)

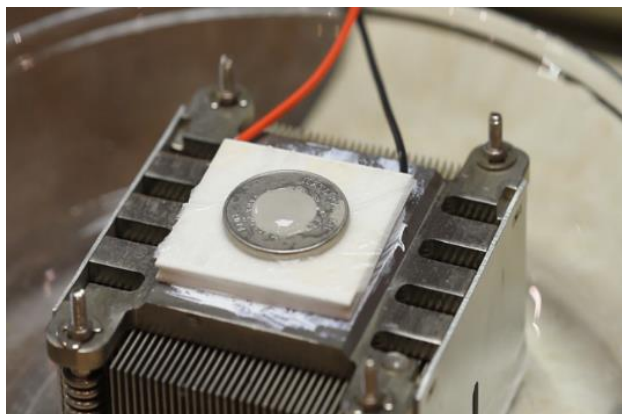


Рис. 5. Охлаждение монеты на стенде
Fig. 5. Coin cooling on the stand

Для проведения измерений температуры использовался тепловизор FLIR E5 производства FLIR Systems (США).

При смене полярности напряжения питания и подаче на модуль напряжения -6 В при токе $3,5$ А была достигнута максимальная температура его поверхности $+69,1$ °С, что вызвало ускоренное испарение воды с поверхности монеты, расположенной на поверхности модуля (рис. 6).



Рис. 6. Нагревание монеты на стенде (тепловизор)
Fig. 6. Coin heating on the stand (thermal imager)

Генерирующие свойства модуля Пельтье SP1848

Для проведения исследований генерирующих свойств модуля Пельтье был использован лабораторный стенд, показанный на рис. 2.

Исследование свойств модуля в качестве источника электрической энергии проводилось путём нагревания одной из его сторон и охлаждения другой [8].

Для увеличения эффективности работы два модуля Пельтье были подключены последовательно (рис. 7).

Их нагревание проводилось с помощью промышленного термофена BOSCH GHG 660 LCD до

температуры, не превышающей $+120$ °С, во избежание выхода модулей из строя. Охлаждение противоположной стороны осуществлялось с помощью радиаторов, помещённых в холодную воду температурой около $+5$ °С.



Рис. 7. Генерация энергии с помощью модулей Пельтье (два модуля)
Fig. 7. Energy generation using Peltier modules (two modules)

Нагрев поверхности модулей до $+120$ °С обеспечил выходное напряжение $2,4$ В. Данного напряжения оказалось достаточно, чтобы зажечь лампу накаливания $2,5$ В при токе $0,08$ А.

Конструирование холодильника на модулях Пельтье

В ходе данного проекта была сконструирована портативная холодильная камера с использованием шести модулей Пельтье SP1848 (рис. 8).



Рис. 8. Внешний вид холодильной камеры
Fig. 8. Appearance of the refrigerating chamber

Изначально предполагалось, что данная холодильная камера будет служить не средством охлаждения, а средством поддержания пониженной температуры.

Было определено, что с учётом максимально допустимых напряжения и силы тока, подаваемых на модули, наиболее оптимальной схемой подключения являлись три последовательно соединённые пары параллельно включённых модулей Пельтье. Данная цепь подключалась к лабораторному источнику питания, с которого непосредственно подавалось напряжение.

В качестве корпуса холодильной камеры была использована металлическая коробка. Её внутренняя и внешняя поверхности вокруг установленных модулей Пельтье были оклеены термоизоляционным материалом для уменьшения теплопотерь. При присоединении модулей к корпусу и радиаторам на соприкасающиеся поверхности была нанесена термопаста.

Однако в ходе испытаний данной конструкции было выявлено, что количество отводимой радиаторами теплоты оказалось недостаточным, из-за чего вся система начинала значительно нагреваться (вплоть до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Весь холод, генерируемый модулями, начинал уходить непосредственно на сами модули, из-за чего вся конструкция становилась неработоспособной.

Для устранения данного недостатка было принято решение охлаждать радиаторы с помощью вентиляторов. Было установлено, что за 30 минут работы минимальная температура внутри холодильной камеры снизилась со значения $+25$ до $+12,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, а бутылка с водой, помещённая внутрь, охлаждалась до $+13,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 9) при подаваемом напряжении 13 В и токе 3,5 А. Подаваемое напряжение выбиралось из соображений, что проектируемая холодильная камера будет использоваться в качестве портативного холодильника в автомобиле.

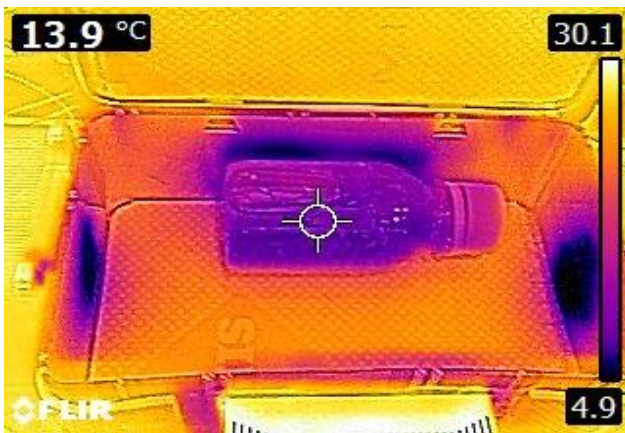


Рис. 9. Температура бутылки с водой внутри холодильной камеры (тепловизор)

Fig. 9. Temperature of a water bottle inside the refrigerator compartment (thermal imager)

Результаты работы

В ходе экспериментов, проведённых в данной работе, были изучены различные свойства модуля Пельтье SP1848, а также проанализированы способы его применения.

1. Проведён эксперимент по изменению температуры модуля в зависимости от подаваемого на него напряжения. При подаче напряжения $+6\text{ В}$ при токе $3,5\text{ А}$ достигнута минимальная температура поверхности модуля $-12,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, что вызвало замерзание воды на поверхности монеты, расположенной на модуле Пельтье.
2. При подаче напряжения -6 В при токе $3,5\text{ А}$ достигнута максимальная температура его поверхности $+69,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, что вызвало ускоренное испарение воды с поверхности монеты.
3. Проведён эксперимент для изучения генерирующих свойств модуля Пельтье SP1848. Установлено что, нагрев поверхности модуля до $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$ обеспечивает выработку на его контактах напряжения $2,4\text{ В}$. Данного напряжения оказалось достаточно, чтобы зажечь лампу накаливания $2,5\text{ В}$ при токе $0,08\text{ А}$.

Сконструирована холодильная камера на основе шести модулей SP1848. Минимальная температура внутри холодильной камеры за 30 минут её работы снизилась с $+25$ до $+12,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, а бутылка с водой охлаждалась до $+13,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ при подаваемом напряжении в 13 В и токе $3,5\text{ А}$.

Заключение

Проведённая работа показала, что, как у любого технического устройства, у термоэлектрического модуля Пельтье SP1848 есть свои достоинства и недостатки. Можно выделить следующие достоинства:

- отсутствие в конструкции жидких или газообразных теплоносителей, что делает модуль предельно простым как в устройстве, так и в работе;
 - возможность последовательного соединения модулей, что приведёт к увеличению вырабатываемого ими электрического напряжения.
- Основными недостатками модулей являются:
- малая энергоэффективность, требующая дополнительного исследования;
 - высокая стоимость мощных модулей.

Возможные способы применения модулей Пельтье SP1848:

- в качестве малогабаритного охлаждающего устройства, например, в электронике для охлаждения матриц тепловизоров;
- для поддержания пониженной температуры грузов при транспортировке в автомобилях;
- при транспортировке грузов (например, медицинских анализов), когда не допускается наличие фреона, с использованием питания от аккумулятора 12 В ;

- в качестве источника электрической энергии в условиях значительного перепада температур для отопления жилых и нежилых помещений небольшого объема [9].

Продолжением данного исследования может стать использование для управления модулем различных регуляторов, которые позволят стабильно поддерживать температуру на заданном уровне, как это показано, например, в работах [10–12].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т. 8. Электродинамика сплошных сред. – М.: Физматлит, 2003. – 656 с.
2. Термоэлектрическое охлаждение / А.Ф. Иоффе, Л.С. Стильбанс, Е.К. Иорданишвили, Т.С. Ставицкая. – М.: АН СССР, Букинист, 1956. – 110 с.
3. Наркевич И.И., Вомлянский Э.И., Лобко С.И. Физика. – Мн.: Новое знание, 2004. – 680 с.
4. Кухлинг Х. Справочник по физике. – М.: Мир, 1982. – 520 с.
5. Эффекты Холла и Зеебека в тонких пленках висмута на подложке из слюды в диапазоне температур 77–300 К / В.А. Комаров, В.М. Грабов, А.В. Суслов, Н.С. Каблукова, М.В. Суслов // Физика и техника полупроводников. – 2019. – Т. 53. – Вып. 5. – С. 597–603. DOI: 10.21883/FTR.2019.05.47545.03
6. Исаев Д.Н. Разработка испытательной термокамеры на основе элемента Пельтье // Наука. Технологии. Инновации: сб. науч. тр. 17 Всерос. науч. конф. молодых ученых. – Новосибирск, 4–8 декабря 2023. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2024. – Ч. 1. – С. 30–34.
7. Физическая энциклопедия. Т. 5. Стробоскопические приборы – яркость / гл. ред. А.М. Прохоров. – М.: Большая Российская Энциклопедия, 1998. – 760 с.
8. Стародумов Е.М. Элемент Пельтье как альтернативный источник энергии // Международный школьный научный вестник. – 2018. – № 5-4. – С. 652–654.
9. Индигирка. URL: https://t-m-f.ru/catalog-new/model/pechi_portativnye/indigirka/#1931 (дата обращения: 20.03.2024)
10. Пневский Р., Ковалик Р., Садовски Э. Нечеткое управление элементом Пельтье // Молодой ученый. – 2018. – № 9 (195). – С. 49–53.
11. Регулятор температуры элемента ПЕЛЬТЬЕ ТЕРМОПРО ТП 1-5 ПТ. URL: <https://www.protehnology.ru/regulator-temperature-elementa-pelte-termopro-tp-1-5-pt> (дата обращения: 20.03.2024).
12. Гринкевич В.А. Синтез регулятора тока для элемента Пельтье // Сборник научных трудов НГТУ. – 2018. – № 3–4 (93). – С. 16–39.

Информация об авторах

Максим Аркадьевич Саблин, студент, Новосибирский государственный технический университет, кафедра автоматики, Россия, 630073, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, mxsblnnn@gmail.com

Галина Владимировна Саблина, кандидат технических наук, доцент, Новосибирский государственный технический университет, кафедра автоматики, Россия, 630073, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, gv.sablina@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7140-7014>

Виталий Геннадьевич Трубин, старший преподаватель, Новосибирский государственный технический университет, кафедра автоматики, Россия, 630073, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, t@kb-au.ru

Поступила: 25.03.2024

Принята: 22.06.2024

Опубликована: 30.06.2024

REFERENCES

1. Landau L.D., Lifshits E.M. *Theoretical physics*. Vol. VIII. Electrodynamics of continuous media. Moscow, Fizmatlit Publ., 2003. 656 p. (In Russ.)
2. Ioffe A.F., Stilbans L.S., Iordanishvili E.K., Stavitskaya T.S. *Thermoelectric cooling*. Moscow, USSR Academy of Sciences, Bukinist Publ., 1956. 110 p. (In Russ.)
3. Narkevich I.I., Vomlyansky E.I., Pubically S.I. *Physics*. Minsk, New knowledge, 2004. 680 p. (In Russ.)
4. Kuhling H. *Handbook of Physics*. Moscow, Mir Publ., 1982. 520 p. (In Russ.)
5. Komarov V.A., Grabov V.M., Suslov A.V., Kablukova N.S., Suslov M.V. The Hall and Seebeck effects in bismuth thin films on mica substrates in the temperature range of 77–300 K. *Physics and techniques of Semiconductors*, 2019, vol. 53, pp. 593–598. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.1134/S1063782619050105>
6. Isaev D.N. Development of a thermal test chamber based on the Peltier element. *Science. Technologies. Innovations. Proc. of the 17 All-Russian scientific conferebce of young scientists*. Novosibirsk, NSTU Publ. House, 2024. P. 1, pp. 30–34. (In Russ.)
7. *Physical encyclopedia*. Vol. 5. *Stroboscopic devices – brightness*. Ed. by A.M. Prokhorov. Moscow, Great Russian Encyclopedia Publ., 1998. 760 p. (In Russ.)
8. Starodumov E.M. Peltier element as an alternative energy source. *International school scientific bulletin*, 2018, no. 5-4, pp. 652–654. (In Russ.)
9. *Indigirka*. (In Russ.) Available at: https://t-m-f.ru/catalog-new/model/pechi_portativnye/indigirka/#1931 (accessed: 20 March 2024).
10. Pniewski R., Kowalik R., Sadowski E. Fuzzy control of the Peltier element. *Young scientist*, 2018, no. 9 (195), pp. 49–53. (In Russ.)

11. *Element temperature regulator PELTIER TERMOPRO TP 1-5 PT.* (In Russ.) Available at: <https://www.protehnology.ru/regulyator-temperatury-elementa-pelte-termopro-tp-1-5-pt>. (accessed: 20 March 2024).
12. Grinkevich V.A. Synthesis of a current regulator for a Peltier element. *Collection of scientific works of NSTU*, 2018, no. 3–4 (93), pp. 16–39. (In Russ.)

Information about the authors

Maxim A. Sablin, Student, Novosibirsk State Technical University, 20, Karl Marks avenue, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, mxsblnnn@gmail.com

Galina V. Sablina, Cand. Sc., Associate Professor, Novosibirsk State Technical University, 20, Karl Marks avenue, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, gv.sablina@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7140-7014>

Vitaly G. Trubin, Senior Lecturer, Novosibirsk State Technical University, 20, Karl Marks avenue, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, t@kb-au.ru

Received: 25.03.2024

Revised: 22.06.2024

Accepted: 30.06.2024