

Научная статья  
Статья в открытом доступе  
УДК 621.941  
doi: 10.30987/2782-5957-2026-3-17-23

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ ОТ РЕЖИМОВ ПРИ ТОЧЕНИИ ФТОРОПЛАСТА-4

Антон Геннадьевич Кисель<sup>1✉</sup>, Владислав Витальевич Перегонцев<sup>2</sup>, Андрей Александрович Вишнеvский<sup>3</sup>, Александр Юрьевич Шведов<sup>4</sup>, Турал Сохраб оглы Мамедкулиев<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

<sup>1</sup> kisel1988@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8014-0550>

<sup>2</sup> peregontsev-vlad@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0006-5628-6580>

<sup>3</sup> andreyvishnevkiy20ms@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0001-5576-4417>

<sup>4</sup> shvedovv\_a@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0001-5576-4417>

<sup>5</sup> anexerod@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0008-5777-0205>

### Аннотация

Представлены результаты исследований влияния параметров режима токарной обработки фторопласта-4 на возникающую в зоне резания среднюю температуру. Цель работы: повышение эффективности обработки заготовок из фторопласта-4. Поскольку при точении данного материала значительное повышение температуры резания может привести к ухудшению качества поверхности, точности изготовления, потере геометрии изделия и ускоренному износу режущего инструмента, под эффективностью обработки понимается тот режим, при котором возникает наименьшая средняя температура резания.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: проведено планирование экспериментов; выполнены экспериментальные исследования по оценке возникающей в зоне реза-

ния средней температуры при различных режимах; выведена математическая зависимость температуры в зоне резания от параметров режимов обработки; установлены закономерности изменения температуры резания в зависимости от параметров режимов резания. Установлено, что наименьшая температура резания возникает при подаче  $S=0,35$  мм/об и глубине резания  $t=1$  мм. Изменение одного или двух параметров в большую или меньшую сторону ведёт к повышению температуры резания.

Новизной работы являются экспериментально установленная закономерность температуры в зоне резания в зависимости от параметров режима резания.

**Ключевые слова:** обработка, пластик, температура, резание, подача, параметры, структура, фторопласт-4.

Ссылка для цитирования:

Кисель А.Г. Исследование зависимости температуры резания от режимов при точении фторопласта-4 / А.Г. Кисель, В.В. Перегонцев, А.А. Вишнеvский и др. // Транспортное машиностроение. – 2026. - № 3. – С. 17-23. doi: 10.30987/2782-5957-2026-3-17-23.

Original article  
Open Access Article

## STUDY OF THE DEPENDENCE OF THE CUTTING TEMPERATURE ON THE MODES OF FLUOROPLAST-4 TURNING

Anton Gennadyevich Kisel<sup>1✉</sup>, Vladislav Vitalyevich Peregontsev<sup>2</sup>, Andrey Aleksandrovich Vishnevsky<sup>3</sup>, Aleksandr Yuryevich Shvedov<sup>4</sup>, Tural Sokhrab oglu Mammadkuliev<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

<sup>1</sup> kisel1988@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8014-0550>

<sup>2</sup> peregontsev-vlad@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0006-5628-6580>

<sup>3</sup> andreyvishnevkiy20ms@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0001-5576-4417>

<sup>4</sup> shvedovv\_a@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0001-5576-4417>

<sup>5</sup> anexerod@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0008-5777-0205>

## Abstract

The results of studying the influence of the turning mode parameters of fluoroplast-4 on the average temperature in the cutting zone are presented. The study objective is to increase the efficiency of machining blanks made of fluoroplast-4. While turning this material a significant increase in the cutting temperature can lead to deterioration in the surface quality, manufacturing accuracy, loss of product geometry and accelerated wear of the cutting tool, machining efficiency is understood as the mode which has the lowest average cutting temperature.

To achieve this objective, the following tasks were solved: experimental planning; experimental studies to assess the average temperature in the cutting

zone under various modes; mathematical dependence of the temperature in the cutting zone on the parameters of the machining modes; patterns of changes in the cutting temperature depending on the parameters of the cutting modes. It was found that the lowest cutting temperature occurs at feed rate of  $S=0.35$  mm/rpm and cutting depth of  $t=1$  mm. Changing one or two parameters up or down leads to an increase in the cutting temperature.

The novelty of the work is the experimentally found pattern of temperature in the cutting zone, depending on the parameters of the cutting mode.

**Keywords:** machining, plastic, temperature, cutting, feeding, parameters, structure, fluoroplast-4.

## Reference for citing:

*Kisel AG, Peregontsev VV, Vishnevsky AA, Shvedov AYu, Mammadkuliev TS. Study of the dependence of the cutting temperature on the modes of fluoroplast-4 turning. Transport Engineering. 2026;3:17-23. doi:10.30987/2782-5957-2026-3-17-23.*

## Введение

Фторопласт-4 находит применение в различных отраслях промышленности и практической деятельности таких как: машиностроение, радио-и электротехника, химическая промышленность, пищевая промышленность, медицина. Столь широкое применение данного материала обусловлено рядом свойств. При устойчивости к трению и воздействию агрессивных сред, из полимера изготавливаются сальники, подшипники, поршневые кольца, пыльники, автомобильные шины. За счёт электроизоляционных свойств материал может использоваться в качестве изолятора или при внесении модификации в его молекулярную структуру в качестве проводника тока. В пищевой промышленности материал используется для производства сковород и форм для выпечки с антипригарным покрытием. Благодаря тому, что фторопласт не вызывает иммунологических реакций материал используется для производства протезов.

Несмотря на достоинства данного материала, использование фторопласта-4 в качестве предмета труда сопряжено определенными технологическими трудностями.

Фторопласт-4 – это термопластичный материал со склонностью к термическому деформированию при нагревании. При точении данного материала значительное повышение температуры резания может при-

вести к ухудшению качества поверхности, точности изготовления, потере геометрии изделия и ускоренному износу режущего инструмента. Как следствие, поставлена задача в определении влияния режимов резания (скорость резания, подача, глубина резания) на температуру в процессе точения фторопласта-4 и выявлении оптимальных режимов, при которых температура резания минимальна, что позволяет улучшить качество обработки и продлить срок службы режущего инструмента.

Известно, что на качество обработанной поверхности оказывает влияние наличие колебаний технологической системы. Поглощение колебаний технологической системы обусловлено демпфирующей способностью материала. В источниках [1-3] установлено преимущественное влияние температуры на демпфирующую способность материала. Помимо этого, высокие температуры в зоне резания, вызванные низкой теплопроводностью полимеров, оставляют прижоги на обработанной поверхности, и изменяют свойство материала, за счёт концентрации теплоты резания в тонких поверхностных слоях.

Изучение свойств фторопласта-4 проводилось в нескольких работах. Так, в работе [4] исследована шероховатость поверхности в зависимости от режимов обработки фторопласта-4, а в [5] было проведено исследование стойкости инстру-

мента в зависимости от режимов обработки полимерных материалов и фторопласта-4, а также влияние режимов резания на температуру в зоне резания при обработке фторопласта-4.

Учитывая выше сказанное, было принято решение рассматривать температуру в зоне резания в качестве основного критерия оптимизации режимов обработки.

## Материалы, модели, эксперименты и методы

Экспериментальные исследования проводились на настольном токарном станке с компьютерной системой ЧПУ

Как следствие, поставлена задача в определении влияния режимов резания (скорость резания, подача, глубина резания) на температуру в процессе точения фторопласта-4 и выявлении оптимальных режимов, при которых температура резания минимальна, что позволяет улучшить качество обработки и продлить срок службы режущего инструмента.

модели УТС-6 (рис. 1), а измерения с помощью тепловизора DT-9897 (рис. 2).

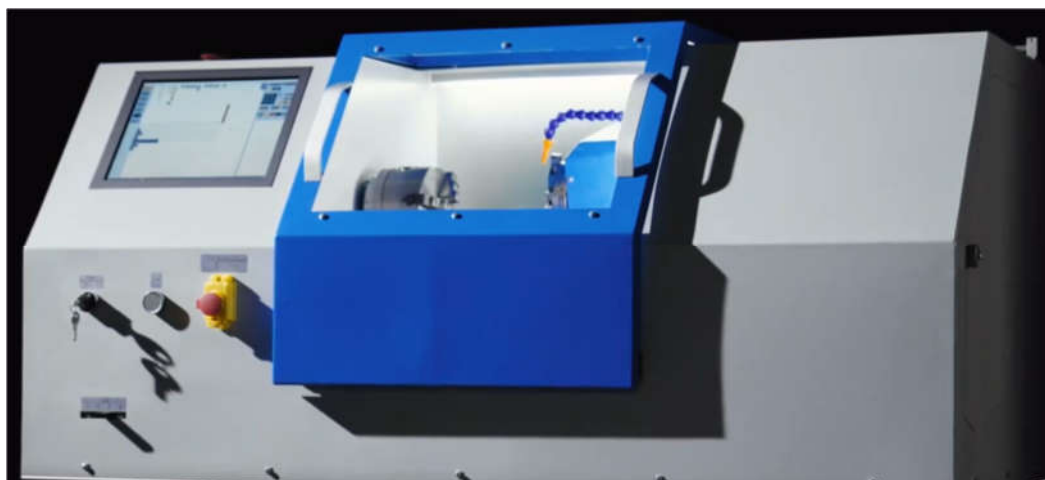


Рис. 1. Внешний вид станка с ЧПУ модели УТС6  
Fig. 1. Appearance of the CNC machine model UTS6

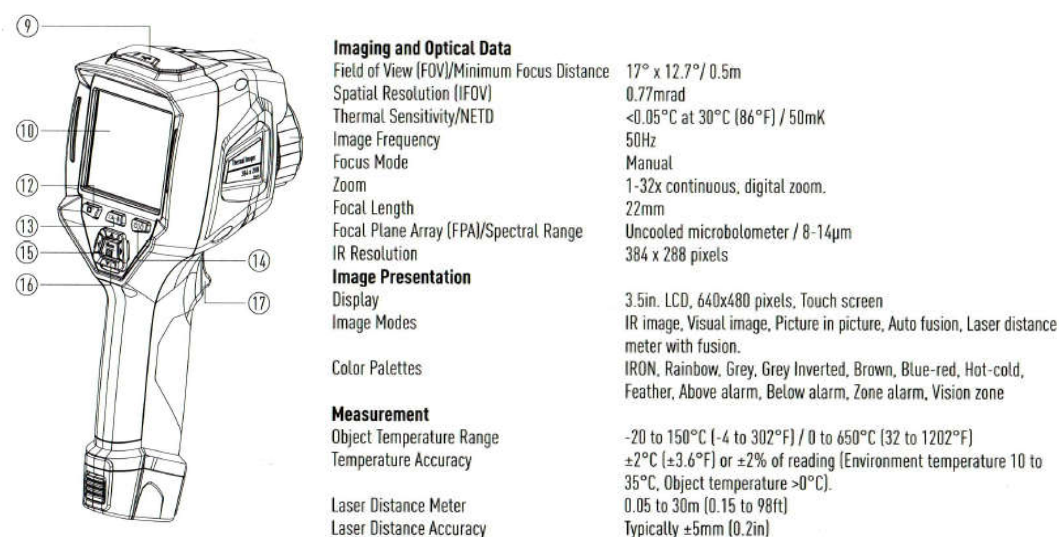


Рис. 2. Внешний вид и характеристики тепловизора DT-9897  
Fig. 2. Appearance and characteristics of the DT-9897 thermal imager

С целью снижения количества влияющих факторов исследования проводились без применения смазочно-

охлаждающей жидкости. В качестве режущего инструмента применялся токарный резец со сменной

твердосплавной режущей пластиной *ССМТ09Т304-SM IC908*. Данная режущая пластина может применяться для чистовых и получистовых режимов обработки заготовок из жаропрочных и коррозионностойких сплавов.

Заготовка из фторопласта-4 имела диаметр 30 мм. Применявшиеся при исследованиях режимы обработки представлены в табл. 1. Во всех опытах скорость резания  $V = 100$  м/мин, длина резания  $L = 60$  мм. Варьируемым факторам была глубина резания  $t$ , мм, и подача  $S$ , мм/об.

Контролируемым параметром была принята средняя температура в зоне течения. Изменение температуры определялось с помощью тепловизора. План эксперимента для функции, зависящей от двух факторов ( $X1$  и  $X2$ ), можно представить в виде правильного шестиугольника, изображённого на рис. 3, где  $X1$  – подача от 0,2 до 0,4 мм/об,  $X2$  – глубина резания от 1 мм до 3 мм.

На рис. 3 указаны номера опытов, а в скобках – уровни факторов в этих опытах. По приведённому плану проводят 10 опытов, из которых шесть выполняют на уровне факторов, указанных в вершинах шестиугольника, и четыре опыта – при уровнях факторов, соответствующих центру плана.

Была написана программа по выбранным варьируемым факторам из плана эксперимента. Заготовка из

фторопласта-4 помещалась в станок с ЧПУ модели УТС6 Fig, устанавливался тепловизор DT-9897 на расстоянии 500мм от резец и направленный на него. Настройка тепловизора проводилась с учетом коэффициента теплового отражения материала режущей пластины, принятого из встроенных значений равным 0,81. После завершения всех настроек с соблюдением техники безопасности запускалась программа для станок с ЧПУ и началась запись измерений тепловизора.

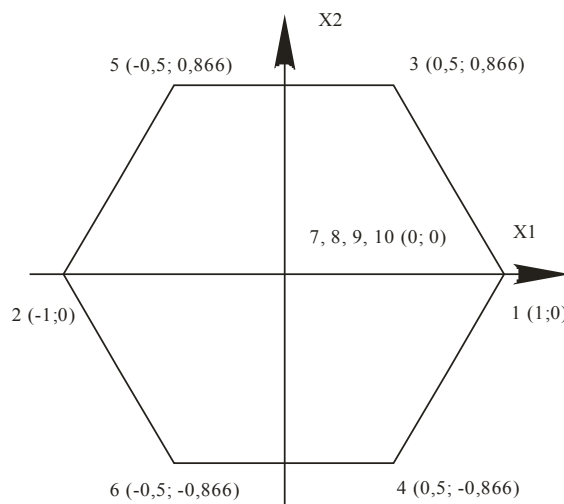


Рис. 3. Матрица плана эксперимента в виде шестиугольника

Fig. 3. Hexagonal experimental design matrix

На рис. 4 показаны измерения температуры в процессе проведения одного из опытов.

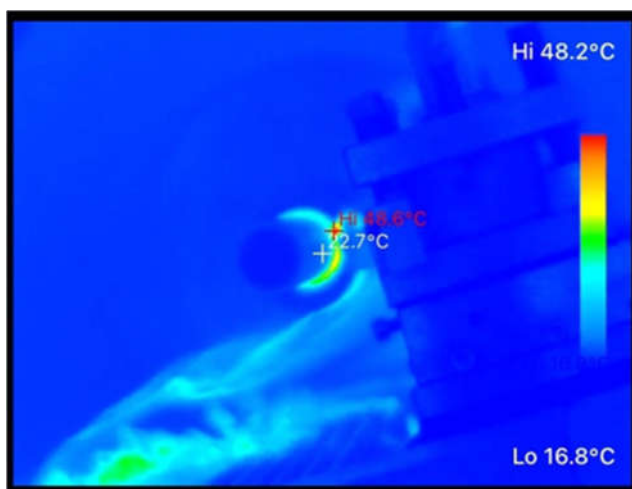


Рис. 4. Изображение измерений с тепловизора  
Fig. 4. Image of measurements from a thermal imager

## Результаты

В результате проведенного опыта была получена таблица средней температуры (табл.), которая измерялась на расстоянии 40 мм от торца заготовки в каждом опыте.

На основании таблицы была построена графическая трехмерная модель эксперимента, позволяющая оценить влияние каждого из параметров резания.

Средняя температура в зависимости от подачи и глубины резания

Таблица

Table

*Average temperature depending on feed and cutting depth*

№ опыта	$S$ , мм/об	$t$ , мм	$T$ , °C
1	0,4	2	52,0
2	0,2	2	47,8
3	0,35	3	45,1
4	0,35	1	37,4
5	0,25	3	46,1
6	0,25	1	51,3
7	0,3	2	40,1
8	0,3	2	41,1
9	0,3	2	52,0
10	0,3	2	54,3

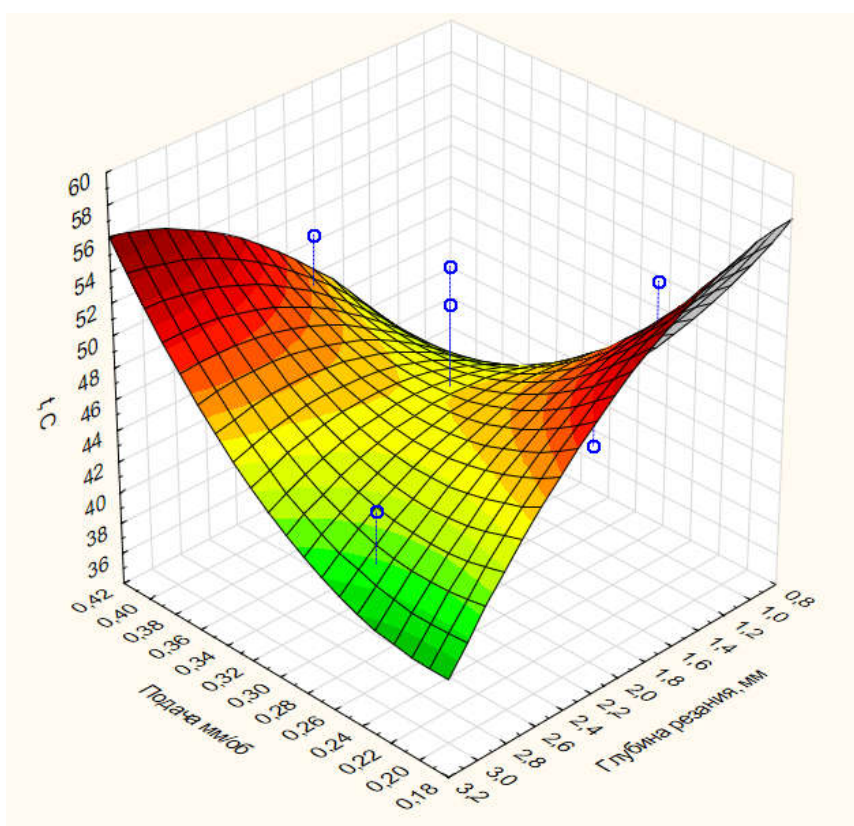


Рис. 5. Зависимость температуры от глубины резания и подачи

Fig. 5. Dependence of temperature on cutting depth and feed rate

Формула, описывающая представленную на рис. 5 зависимость температуры

$T$ , °C, от подачи  $S$ , мм/об, и глубины резания  $t$ , мм, имеет вид:

$$T = 104,175 - 321,3333S - 8,1t + 302,5S^2 + 64,5St - 2,6563t^2.$$

Путем подстановки применявшихся параметров резания в полученную формулу и сравнения результатов с экспериментальными данными установлено, что погрешность расчетов составляет  $\pm 7^\circ\text{C}$ , что является достаточной для практики точно-стью.

Из графика, представленного на рис. 5, можно сделать следующие выводы:

### Заключение

Вследствие полученных результатов можно сделать следующие выводы по поставленным задачам:

1. Проведено планирование экспериментов. Принятые режимы: подача  $S$  от 0,2 до 0,4 мм/об; глубина резания  $t$  от 1 мм до 3 мм; скорость резания  $V$  во всех опытах была постоянной и равнялась 100 м/мин.

2. Выполнены экспериментальные исследования по оценке возникающей в зоне резания средней температуры при различных режимах.

при одинаковой скорости резания наименьшая температура достигается при наибольшем значении одного параметра и наименьшем значении другого, а наибольшая температура – при наибольшем или наименьшем значениях обоих параметров. Наименьшая температура резания возникает при подаче  $S = 0,35$  мм/об.

3. Установлены закономерности изменения температуры резания в зависимости от параметров режима резания.

4. Выведена математическая зависимость температуры в зоне резания от параметров режима обработки.

5. Установлено, что наименьшая температура резания возникает при подаче  $S = 0,35$  мм/об и глубине резания  $t = 1$  мм.

Таким образом, поставленные задачи выполнены в полном объеме, а полученные результаты можно применять в практических задачах.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Матвеев В. В. Демпфирование колебаний деформируемых тел / В.В. Матвеев. Киев: Наукова думка, 1985. 264 с.
2. Уорд И. Механические свойства твердых полимеров / И. Уорд. М.: Химия, 1975. 350 с.
3. Гуль В.Е. Структура и механические свойства полимеров / В.Е. Гуль, В.И. Кулезнев. М.: Высшая школа, 1972. 320 с.
4. Токарев, Д. И. Обработка точением композитного полимерного материала ф-4К20 / Д. И. Токарев, А. А. Дроздов, Л. Д. Сиротенко // Актуальные проблемы порошкового материаловедения: Материалы международной научно-

технической конференции, посвященной 85-летию со дня рождения академика В.Н. Анциферова, Пермь, 26–28 ноября 2018 года / Под редакцией А.А. Ташкинова. Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2018. С. 219-222.

5. Особенности точения пластиков Ф-4, ПА-6, Ф-4К20 / Д. И. Токарев, А. А. Дроздов, М. Н. Гуляев [и др.] // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. 2018. Т. 20, № 2. С. 35-42. DOI 10.15593/2224-9877/2018.2.05.

### REFERENCES

1. Matveev VV. Damping of vibrations of deformable bodies. Kiev: Naukova Dumka; 1985.
2. Ward I. Mechanical properties of solid polymers. Moscow: Khimiya; 1975.
3. Gul VE, Kuleznev VI. Structure and mechanical properties of polymers. Moscow: Vysshaya Shkola; 1972.
4. Tokarev DI, Drozdov AA, Sirotenko LD. Turning treatment of composite polymer material f-4K20. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference Dedicated to the 85th Anni-

versary of Academician V.N. Antsiferov, November 26-28, 2018: Actual Problems of Powder Materials Science. Perm: Perm National Research Polytechnic University; 2018.

5. Tokarev DI, Drozdov AA, Gulyaev MN, Sirotenko LD, Islamov VF. Features turning plastics F-4, PA-6, F-4K20. Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Mechanical Engineering, Materials Science. 2018;20(2):35-42. DOI 10.15593/2224-9877/2018.2.05.

## Информация об авторах:

**Кисель Антон Геннадьевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры инжиниринга технологического оборудования ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», Scopus-Author ID 57211275687, Research-ID-Web of Science B-9210-2019, Author-ID-РИНЦ 702552, тел. +79994580825.

**Перегонцев Владислав Витальевич** – студент кафедры инжиниринга технологического оборудования ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», тел. 8-952-114-1925.

**Kisel Anton Gennadyevich** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Engineering of Technological Equipment, Kaliningrad State Technical University, Scopus-Author ID 57211275687, Research-ID-Web of Science B-9210-2019, Author-ID-RSCI 702552, phone: +79994580825.

**Peregontsev Vladislav Vitalyevich** – Student of the Department of Engineering of Technological Equipment, Kaliningrad State Technical University, phone: 8-952-114-1925.

**Вишневский Андрей Александрович** – студент кафедры инжиниринга технологического оборудования ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», тел. 8-905-249-9661.

**Шведов Александр Юрьевич** – студент кафедры инжиниринга технологического оборудования ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», тел. 8-921-269-0059.

**Мамедкулиев Турал Сохраб оглы** – студент кафедры инжиниринга технологического оборудования ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», тел. 8-952-794-1817.

**Vishnevsky Andrey Aleksandrovich** – Student of the Department of Technological Equipment Engineering, Kaliningrad State Technical University, phone: 8-905-249-9661.

**Shvedov Aleksandr Yuryevich** – Student of the Department of Technological Equipment Engineering, Kaliningrad State Technical University, phone: 8-921-269-0059.

**Mammadkuliiev Tural Sokhrab oglu** – Student of the Department of Technological Equipment Engineering, Kaliningrad State Technical University, phone: 8-952-794-1817.

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.**

**Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

**The authors declare no conflicts of interests.**

**Статья опубликована в режиме Open Access.**

**Article published in Open Access mode.**

**Статья поступила в редакцию 13.12.2025; одобрена после рецензирования 16.02.2026; принята к публикации 27.02.2026. Рецензент – Нагоркин М.Н., доктор технических наук, доцент Брянского государственного технического университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».**

**The article was submitted to the editorial office on 13.12.2025; approved after review on 16.02.2026; accepted for publication on 27.02.2026. The reviewer is Nagorkin M.N., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of Bryansk State Technical University, member of the Editorial Board of the journal *Transport Engineering*.**