

Научная статья

УДК 629.464.4

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-3-304-315>

EDN: OUZRWW



ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ РОТОРНЫХ СНЕГООЧИСТИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ИХ КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Д. С. Алешков*, П. А. Корчагин, И. А. Тетерина, Е. В. Хирьянов

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ),

г. Омск, Россия,

denisaleshkov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4204-7221>

korchagin_pa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8936-5679>

iateterina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8012-8511>

hiryanova@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-5754-2400>

*ответственный автор

АННОТАЦИЯ

Введение. На начальных этапах проектирования питателей роторных снегоочистителей необходимо иметь относительно простые соотношения, на основании которых можно судить об их эффективности и потенциальных возможностях. Наличие таких показателей дает возможность обоснованно выбрать конструктивную схему, геометрические и кинематические параметры рабочих органов роторных снегоочистителей. Решение данных задач позволяет в значительной степени сократить время на проектирование машин и их рабочих органов. Таким образом, основная цель данного исследования заключается в оценке возможности обоснования эффективности конструкторских решений роторных снегоочистителей на ранних стадиях проектирования.

Методы и материалы. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: обоснование показателей, на основе которых будет даваться оценка эффективности, описание механизма получения их теоретических значений.

Результаты. В результате проведенных исследований получены аналитические выражения вырезаемых объемов снежной массы горизонтальной и вертикальной фрезами питателя роторного снегоочистителя. Произведена оценка времени транспортирования вырезанной снежной массы. Показана степень влияния ряда конструктивных и технологических параметров на величину вырезаемой снежной массы и время ее транспортирования.

Обсуждение и заключение. Получены уравнения длин траекторий движения произвольной точки фрезы питателя роторного снегоочистителя для ее вертикального и горизонтального расположения. Уравнения позволяют определить продолжительность взаимодействия транспортируемой снежной массы и рабочего оборудования от момента ее захвата до момента ее разгрузки.

В результате исследований определена область значений, в которой длина траектории вырезания снежной массы для горизонтальной фрезы меньше длины траектории вырезания для вертикальной фрезы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: снегоочиститель, роторный снегоочиститель, снежный массив, питатель роторного снегоочистителя, эффективность, конструктивные параметры, технологические параметры

Статья поступила в редакцию 18.04.2023; одобрена после рецензирования 05.05.2023; принята к публикации 26.06.2023.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-10014, <https://rscf.ru/project/23-29-10014>

Для цитирования: Алешков Д. С., Корчагин П. А., Тетерина И. А., Хирьянов Е. В. Оценка возможностей рабочих органов роторных снегоочистителей на основе их конструктивных и технологических параметров // Вестник СибАДИ. 2023. Т. 20, № 3 (91). С. 304-315. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-3-304-315>

© Алешков Д. С., Корчагин П. А., Тетерина И. А., Хирьянов Е. В., 2023



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Origin article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-3-304-315>

EDN: OUZRWW

CAPABILITIES ASSESSMENT FOR WORKING BODIES OF ROTARY SNOWBLOWERS THROUGH DESIGN AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS STUDY

Denis S. Aleshkov*, Pavel A. Korchagin, Irina A. Teterina, E. V. Khirianov

Siberian State Automobile and Highway University (SibADI),

Omsk, Russia

denisaleshkov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4204-7221>,

korchagin_pa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8936-5679>

iateterina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8012-8511>

hiryanova@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-5754-2400>

*corresponding author

ABSTRACT

Introduction. At the initial stages of designing snow blower feeders, it is necessary to have relatively simple ratios on the basis of which one can judge their efficiency and their potential. The presence of such indicators makes it possible to reasonably choose the design scheme, geometric and kinematic parameters of the working bodies of rotary snowplows. The solution of such problems, in turn, can significantly reduce the time for designing machines and their working bodies. Thus, the main goal of this study is to assess the possibility of substantiating the effectiveness of design solutions for snow blowers in the early stages of design.

Methods and materials. To achieve this goal, such tasks as the substantiation of the indicators on the basis of which the effectiveness will be assessed, description of the mechanism for obtaining their theoretical values were solved.

Results. As a result of the research, analytical expressions were obtained for the volumes of snow mass cut by horizontal and vertical cutters of the rotary snowplow feeder. The time of transporting the cut snow mass has been estimated. The degree of influence of a number of design and technological parameters on the size of the cut snow mass and the time of its transportation is shown.

Discussion and conclusion. The equations for the lengths of the trajectories of motion of an arbitrary point of the cutter of the feeder of a rotary snowplow are obtained for its vertical and horizontal arrangement. The equations make it possible to determine the duration of the interaction between the transported snow mass and the working equipment from the moment of its capture to the moment of its unloading. As a result of the research, the range of values was determined, in which the length of the cutting path of the snow mass for a horizontal cutter is less than the length of the cutting path for a vertical cutter.

KEYWORDS: snowplow, rotary snowplow, snow mass, rotary snowplow feeder, efficiency, design parameters, technological parameters

The article was submitted 18.04.2023; approved after reviewing 05.05.2023; accepted for publication 26.06.2023.

The authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

The study was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation No. 23-29-10014, <https://rscf.ru/project/23-29-10014>

For citation: Aleshkov Denis S., Korchagin Pavel A., Teterina Irina A., Khirianov E.V. Capabilities assessment for working bodies of rotary snowblowers through design and technological parameters study. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2023; 20 (3): 304-315. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-3-304-315>

© Aleshkov D. S., Korchagin P. A., Teterina I. A., Khirianov E. V., 2023



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

В работе¹ представлено иерархически упорядоченное множество существующих критериев эффективности. В качестве критериев высшего иерархического уровня выступают экономическая эффективность, удельная энергоемкость, потребляемая мощность и производительность. Кроме этого, было введено понятие четвертого измерения – времени работы элемента рабочего оборудования, которое является неотъемлемой частью критериев высших иерархических уровней². В работах [1, 2, 3] продемонстрированы возможности использования данного показателя при исследованиях рабочих органов роторных снегоочистителей³. В работах [4, 5] показана взаимосвязь времени рабочего цикла с массой машины, на примере плужных снегоочистителей. Использование критериев высшего иерархического уровня обладает существенным недостатком, связанным со сложностью их определения. Их определение связано с решением достаточно сложных уравнений динамики рабочего органа и большими затратами машинного времени либо с существенной трудоемкостью при проведении экспериментальных исследований. Например, в работе [4] представлены теоретические исследования процесса резания горизонтальной фрезой питателя фрезерно-роторного снегоочистителя, направленных на определение усилий на ленте фрезы, с целью выявления характера формирования данной силы и возможности дальнейшей оптимизации конструкции за счет изменения величины и характера действия данной силы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для оценки эффективности инженерных решений, связанных с работой отвала снегоочистителя при проведении снегоочистительных работ, в статьях [6, 7, 8] рассматривается вертикальное перемещение рабочего органа,

на основании которого в сопоставлении со значениями сил трения рабочего органа, определяемых в результате решения дифференциального уравнения, делается суждение об эффективности исследуемого инженерного решения. Большинство критериев нижнего иерархического уровня не позволяют в полной мере оценить перспективность конструкции роторного снегоочистителя. Кроме этого, выбор основных конструктивных и технологических параметров питателя роторного снегоочистителя в существующих методиках базируется на эмпирических формулах⁴ [9, 10], которые в ряде случаев не позволяют оценить в полной мере роль того или иного параметра в общей эффективности питателя.

Таким образом, представляет определенный интерес наличие относительно простых показателей, на основе которых можно было бы судить о техническом совершенстве разрабатываемой конструкции роторного снегоочистителя.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Для суждения о степени эффективности конструкции питателя роторного снегоочистителя воспользуемся кинематическими уравнениями, описывающими движения произвольной точки на кромке ленты фрезы питателя роторного снегоочистителя. Данные уравнения представим в параметрическом виде в системе координат, представленной на рисунках 1, 2.

На расчетной схеме по определению траектории движения i -й точки фрезы в плоскости $X_0O_0Z_0$ (см. рисунок 1): R_ϕ – радиус фрезы питателя; h – толщина снежного покрова; $V_{\text{пер}}$ – поступательная скорость роторного снегоочистителя; ω_ϕ – угловая скорость вращения фрезы питателя роторного снегоочистителя; $X_{\phi i}, Y_{\phi i}$ – координаты положения i -й точки фрезы в системе координат $X_\phi O_\phi Z_\phi$.

¹ Баловнев В. Н. Оценка эффективности дорожных и коммунальных машин по технико-эксплуатационным показателям: учебное пособие / Моск. гос. автомобил.-дорож. ин-т (Гос. техн. ун-т) (МАДИ-ГТУ). М.: МАДИ, 2002. 28 с.

² Баловнев В.И., Советбеков Б.С. Оптимизация режимов эксплуатации и выбора транспортно-технологических машин методами анализа четвертой координаты рабочего процесса // Вестник КРСУ. 2014. Т.14, № 12. С. 145–148.

³ Нгуен Зань Шон. Определение оптимальных параметров и условий использования рыхлителей в строительстве: специальность 05.05.04 «Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / НгуенЗань Шон. Москва, 2005. 23 с.

⁴ Иванов А. Н., Мишин В. А. Снегоочистители отбрасывающего действия. М.: Машиностроение, 1981. 159 с.

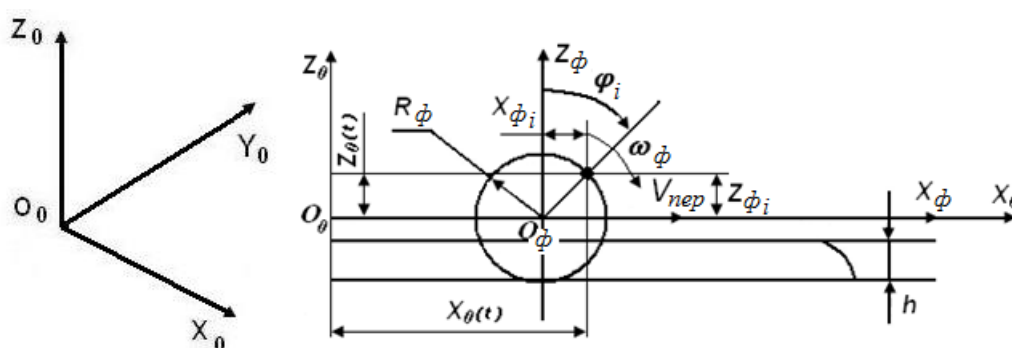


Рисунок 1 – Расчетная схема для определения траектории движения i -й точки фрезы в плоскости $X_0O_0Z_0$ (вид сбоку)
Источник: составлено авторами.

Figure 1 – Calculation scheme for determining the trajectory of movement i -th point of the cutter in $X_0O_0Z_0$ plane (side view)
Source: compiled by the authors.

Траектория движения i -й точки фрезы в плоскости $X_0O_0Z_0$ описывается уравнениями⁵ [11,12]:

$$\begin{cases} x_0(t) = V_{nep} \cdot t + R_\phi \cdot \sin(\omega_\phi \cdot t); \\ z_0(t) = R_\phi \cdot \cos(\omega_\phi \cdot t); \\ y_0(t) = R_\phi \cdot \omega_\phi \cdot \operatorname{tg} \theta \cdot t, \end{cases} \quad (1)$$

где t – параметр времени, с.

Уравнения движения i -й точки наружной кромки вертикальной режущей полосы описываются системой уравнений:

$$\begin{cases} x_0 = V_{nep} \cdot t + R_\phi \cdot \sin(\omega_\phi \cdot t), \\ y_0 = R_\phi \cdot \cos(\omega_\phi \cdot t). \end{cases} \quad (2)$$

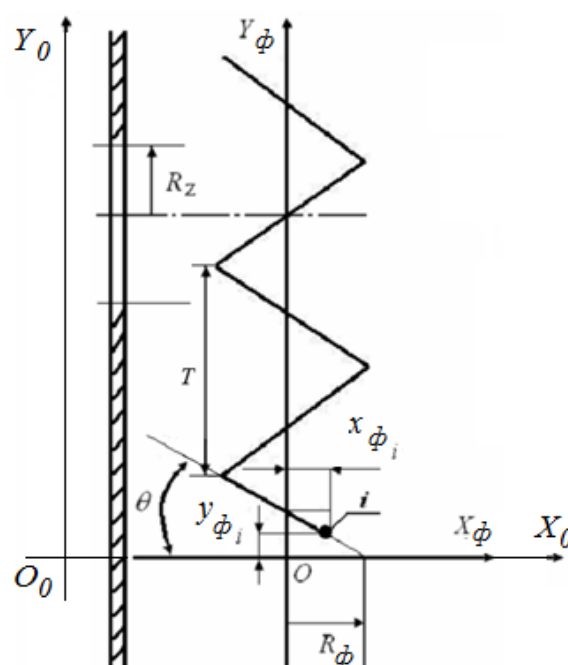


Рисунок 2 – Расчетная схема для определения траектории движения i -й точки фрезы в плоскости $X_0O_0Y_0$:
 θ – угол захода ленты фрезы, град;
 T – шаг винтовой линии ленты фрезы;
 R_z – радиус загрузочного окна
Источник: составлено авторами.

Figure 2 – Calculation scheme for determining the trajectory movement of the i -th point of the cutter in $X_0O_0Y_0$ plane:
 θ – angle of entry of the cutter belt, degrees;
 T – screw pitch cutter belt lines;
 R_z – loading window radius
Source: compiled by the authors.

⁵ Аюпова Н. Ю. Повышение эффективности рабочего процесса питателя фрезерно-роторного снегоочистителя: специальность 05.05.04 «Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Аюпова Наталья Юрьевна. Омск, 2021. 182 с.

Из систем уравнений (1), (2) легко определяются траектории произвольной точки наружной кромки горизонтальной и вертикальной фрез питателя. Согласно⁶ [13,14] уравнение траектории произвольной точки горизонтальной фрезы, после ряда преобразований, описывается уравнением вида

$$x_{0i} = \frac{V_{nep} \cdot y_{0i}}{R_{\phi} \cdot \omega_{\phi} \cdot tg\theta} + R_{\phi} \cdot \sin \left(\frac{y_{0i}}{R_{\phi} \cdot \omega_{\phi} \cdot tg\theta} \right). \quad (3)$$

Соответственно, уравнение траектории движения наружной кромки вертикальной режущей полосы в плоскости $X_0O_0Y_0$, будет иметь вид

$$x_{0i} = \frac{V_{nep}}{\omega_{\phi}} \arccos \frac{y_{0i}}{R_{\phi}} + \sqrt{R_{\phi}^2 - y_{0i}^2}. \quad (4)$$

На рисунке 3 представлены траектория движения произвольной точки вертикальной и горизонтальной фрез питателя роторного снегоочистителя.

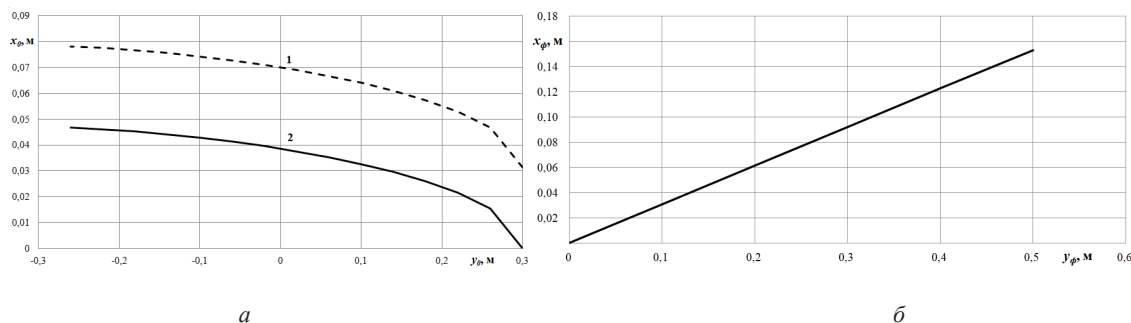


Рисунок 3 – Траектория движения произвольной точки фрезы питателя роторного снегоочистителя:
а – вертикально расположенная фреза:
1 – i вертикальная полоса; 2 – i+1 вертикальная полоса;
б – горизонтально расположенная фреза питателя роторного снегоочистителя
Источник: составлено авторами.

Figure 3 – The trajectory of an arbitrary point milling cutter feeder of a rotary snow blower, where: a) vertical cutter:
1 – i vertical stripe; 2 – i+1 vertical stripe,
b) horizontal cutter feeder snow blower
Source: compiled by the authors.

Из рисунка 3 следует, что траектория движения произвольной точки фрезы вертикального питателя носит нелинейный характер в отличие от горизонтально расположенной фрезы.

Далее воспользуемся уравнением объема, представленного в работе [6], полученного на основе известного свойства тройного интеграла при интегрировании системы уравнений⁷. Данное уравнение имеет вид

⁶ Яблонский А. А., Никифорова В. М. Курс теоретической механики. Статика. Кинематика. Динамика: учебное пособие. 8-е изд., стереотипное. СПб.: Лань, 2001. 764 с.

⁷ Пискунов Н. С. Дифференциальное и интегральное исчисления: учебное пособие: в 2-х т. Издание стереотипное. М.: Интеграл-Пресс, 2006. Т. 1. 415 с.

$$W_{\phi} = 4 \cdot \pi^2 \cdot h \cdot \operatorname{tg} \theta \cdot R_{\phi} \cdot \frac{V_{nep}}{n_3 \cdot \omega_{\phi}}, \quad (5)$$

где θ – угол захода ленты фрезы, град.

Применим аналогичный подход к вертикальной фрезе питателя роторного снегоочистителя. Пределами интегрирования будут являться:

- по x : нижний предел интегрирования равен 0; верхний предел интегрирования, согласно (4), имеет вид

$$\frac{V_{nep}}{\omega_{\phi}} \arccos \frac{y_{0i}}{R_{\phi}} + \sqrt{R_{\phi}^2 - y_{0i}^2};$$

- по y : нижний предел интегрирования, с учетом принятой системы координат, для одной вертикальной фрезы, равен R_{ϕ} ; верхний предел интегрирования, соответственно, R_{ϕ} ;

- по z : нижний предел интегрирования равен 0; верхний равен толщине снежного покрова, h .

Теоретический объем, W , который вырезает i вертикальная полоса вертикального питателя из снежного массива, представлен как тройной интеграл следующим выражением:

$$W = \int_0^h dz \cdot \int_{-R_{\phi}}^{R_{\phi}} dy \cdot \int_0^{\frac{V_{nep}}{\omega_{\phi}} \arccos \frac{y_{0i}}{R_{\phi}} + \sqrt{R_{\phi}^2 - y_{0i}^2}} dx.$$

В результате интегрирования теоретический объем, W , который вырезает i вертикальная полоса вертикального питателя из снежного массива, будет определяться выражением

$$W = 4 \cdot \frac{V_{nep}}{\omega_{\phi}} \cdot \frac{\pi}{n} \cdot R_{\phi} \cdot h, \quad (6)$$

где n – количество вертикальных режущих полос вертикального питателя роторного снегоочистителя.

Сравнение формул вырезаемых объемов вертикальным (6) и горизонтальным питателями (5) показывает, что они равны при $\operatorname{tg} \theta = 1/\pi$, что соответствует углу захода ленты фрезы горизонтального питателя $\theta = 17,7^\circ$. При $\theta > 17,7^\circ$ горизонтальный питатель вырезает больший объем. Соответственно, при $\theta < 17,7^\circ$ горизонтальный питатель вырезает меньший объем снежной массы из снежного массива по сравнению с вертикальным питателем при прочих равных условиях.

На рисунке 4 представлена зависимость изменения вырезаемого объема от угла захода ленты горизонтальной фрезы, θ , и отношения V_{nep}/ω_{ϕ} , а также зависимость вырезаемого объема снежной массы вертикальным питателем от аналогичных параметров, при прочих равных условиях.

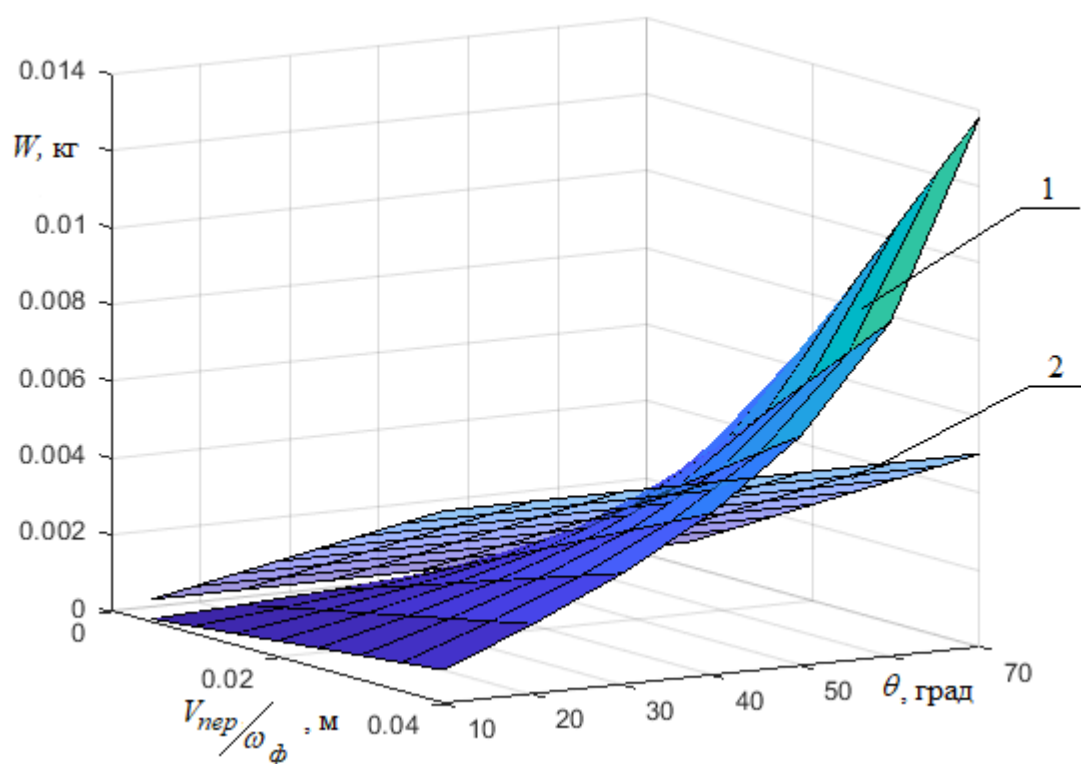


Рисунок 4 – Зависимость изменения вырезаемого объема снежной массы, в зависимости от отношения, $V_{\text{пер}}/\omega_{\phi}$, и угла захода, θ , ленты горизонтальной фрезы:
1 – вырезаемый объем горизонтальной фрезой питателя, W_{ϕ} ;
2 – вырезаемый объем вертикальной фрезой питателя роторного снегоочистителя, W
Источник: составлено авторами.

Figure 4 – The dependence of the change in the cut volume of the snow mass, depending on the ratio, $V_{\text{пер}}/\omega_{\phi}$, and the angle of approach, θ , horizontal cutter belt,
1 – cut volume of the horizontal cutter feeder, W_{ϕ} ;
2 – cut volume by a vertical cutter snow blower feeder, W
Source: compiled by the authors.

Представленные на рисунке 4 вырезаемые объемы снежной массы определены в диапазонах поступательных скоростей роторного снегоочистителя и угловых скоростей вращения фрез, обеспечивающих выполнение условия, описанного в работах⁵ [15, 16, 17].

Зависимости вырезаемого объема снежной массы вертикальной и горизонтальной фрезами питателей роторного снегоочистителя представлены на рисунке 5.

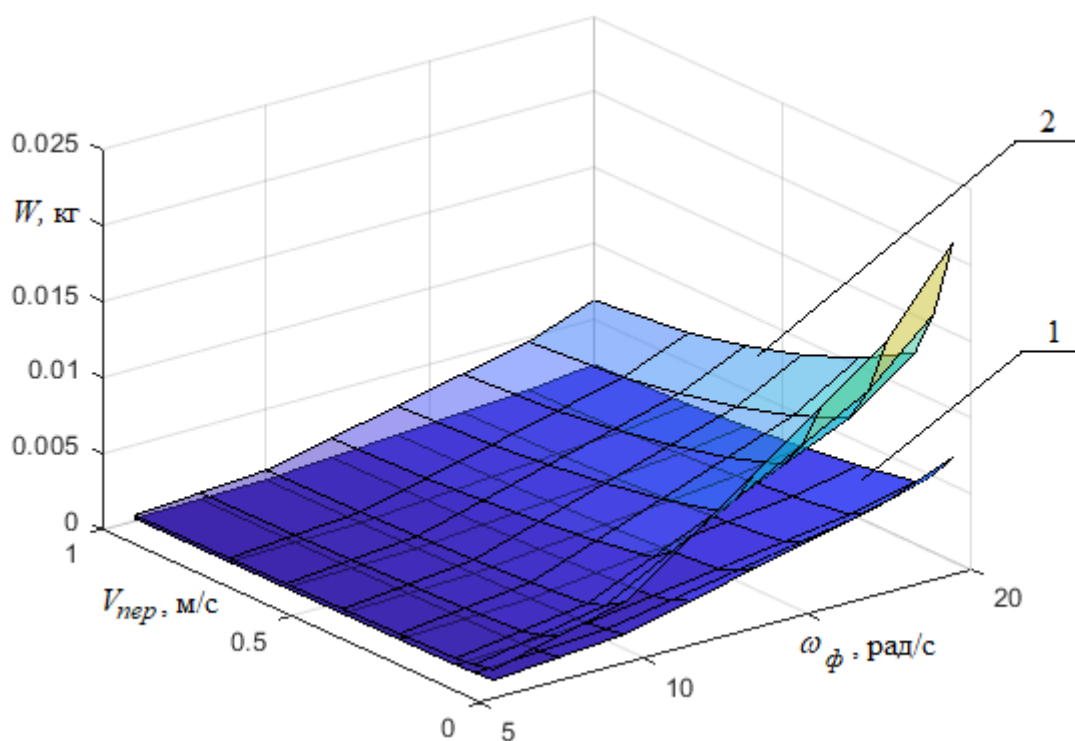


Рисунок 5 – Зависимость изменения вырезаемого объема снежной массы в зависимости от поступательной скорости снегоочистителя, $V_{пер}$, и угловой скорости вращения, ω_{ϕ} , фрезы питателя:
1 – вырезаемый объем горизонтальной фрезой питателя, W_{ϕ} ;
2 – вырезаемый объем вертикальной фрезой питателя роторного снегоочистителя, W
Источник: составлено авторами.

Figure 5 – Dependence of the change in the cut volume snow mass, depending on forward speed snowplow, $V_{пер}$, and angular velocity of rotation, ω_{ϕ} , cutter feeder, where:
1 – cut volume by the horizontal cutter of the feeder, W_{ϕ} ;
2 – cut volume by a vertical cutter snow blower feeder, W
Source: compiled by the authors.

Анализ полученных зависимостей показал, что наибольший объем вырезаемой снежной массы можно получить для роторных снегоочистителей с вертикальным расположением фрезы питателя.

Зная уравнение траектории резания, можно определить путь, который пройдет участок рабочего органа от момента захвата снежной массы до момента разгрузки. Для этого необходимо вычислить определенный интеграл⁷ [18]:

$$L = \int_{t_1}^{t_2} \sqrt{(x'_t)^2 + (y'_t)^2} \cdot dt. \quad (7)$$

Соответственно, для вертикальной фрезы питателя с нижним пределом интегрирования, $t_1=0$; верхним пределом интегрирования, $t_2=\pi/\omega_{\phi}$, имеем

$$L = \int_0^{\pi/\omega_\phi} \sqrt{\left(V_{\text{пер}} + R_\phi \cdot \omega_\phi \cdot \cos(\omega_\phi \cdot t)\right)^2 + \left(R_\phi \cdot \omega_\phi \cdot \sin(\omega_\phi \cdot t)\right)^2} dt. \quad (8)$$

Интеграл (8) может быть отнесен к эллиптическим интегралам второго рода и последующим выходом на сумму ряда. Последующие данные были получены в результате численного интегрирования (8) в заданных пределах [19].

Проведем аналогичные преобразования для фрезы питателя роторного снегоочистителя, расположенного горизонтально. Длина траектории движения произвольной точки фрезы, L , имеет вид

$$L = \int_0^{2\pi/\omega} \sqrt{V^2 + 2V\omega R_\phi \cos \omega t + \omega^2 R_\phi^2 \cos^2 \omega t + R_\phi^2 \cdot \omega^2 \cdot \tan^2 \theta dt}. \quad (9)$$

На рисунке 6 представлены зависимости длины траекторий, L , вырезания снежной массы из снежного массива в зависимости от $V_{\text{пер}}$ и ω_ϕ .

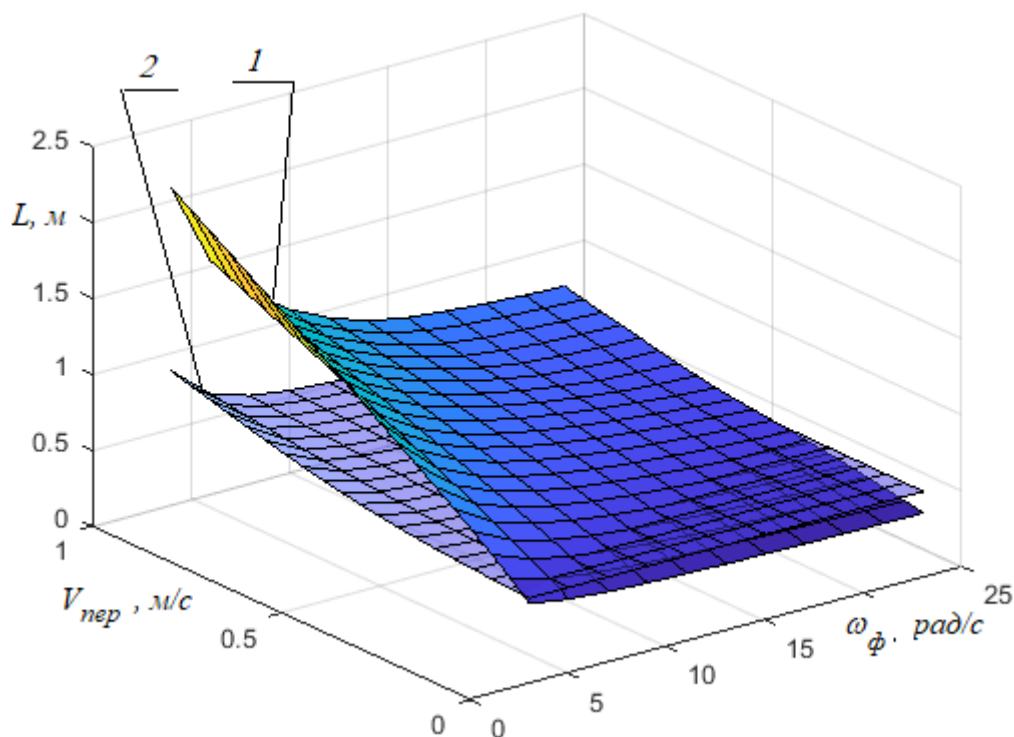


Рисунок 6 – Зависимость длины траекторий, L , вырезания снежной массы из снежного массива в зависимости от $V_{\text{пер}}$ и ω_ϕ :
1 – горизонтальной фрезой;
2 – вертикальной фрезой питателя роторного снегоочистителя
Источник: составлено авторами.

Figure 6 – Dependence of the length of the trajectories, L , cutting the snow mass from the snow mass, depending on $V_{\text{пер}}$ and ω_ϕ , where:
1 – horizontal cutter; 2 – vertical cutter of the feeder of the rotary snowplow
Source: compiled by the authors.

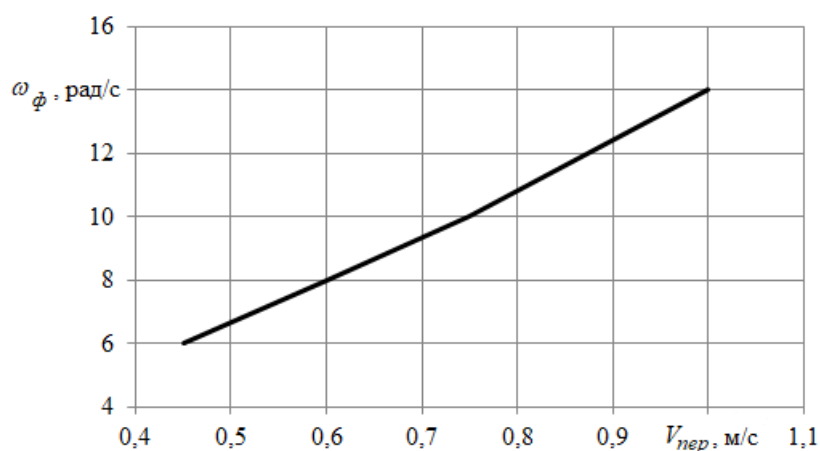


Рисунок 7 – Кривая равной длины траектории вырезания снежной массы горизонтальной и вертикальной фрезами питателей роторного снегоочистителя в зависимости от $V_{пер}$ и ω_{ϕ} при $R_{\phi}=0,15$ м
Источник: составлено авторами.

Figure 7 – Curve of equal length trajectory cutting snow mass horizontal and vertical milling cutters of rotary snow blower feeders depending on $V_{пер}$ and ω_{ϕ} at $R_{\phi}=0.15$ m
Source: compiled by the authors.

Из рисунка 6 следует, что при скорости роторного снегоочистителя с горизонтальной фрезой питателя более 0,45 м/с, длина траектории вырезания снежной массы превышает аналогичный параметр для роторного снегоочистителя с вертикальной фрезой при любых значениях угловой скорости фрезы питателя. Дальнейшее увеличение скорости снегоочистителя ведет к необходимости увеличения, ω_{ϕ} , и нелинейному росту, L , для горизонтальной фрезы. Величина траектории, L , вырезания снежной массы из снежного массива для горизонтальной фрезы превосходит, L , для вертикальной фрезы. На рисунке 7 представлена граница областей значений, $V_{пер}$ и ω_{ϕ} , ниже которой длина траектории вырезания снежной массы горизонтальной фрезой питателя роторного снегоочистителя превышает длину траектории вырезания вертикальной фрезой, вычисленная для $R_{\phi}=0,15$ м.

Из рисунка 7 следует, что для каждого из рассматриваемых видов питателей роторного снегоочистителя существует своя область значений кинематических параметров фрезы питателя, при которых линия траектории резания меньше, что дает основания предположить о том, что в данных областях соответствующие питатели будут эффективнее и по критериям эффективности более высоких иерархических уровней.

Представленная граница равных длин траекторий вырезания снежной массы для верти-

кального и горизонтального питателей позволяет судить о возможностях интенсификации работы питателей с горизонтальной и вертикальной фрезами за счет увеличения их поступательных скоростей и угловых скоростей вращения.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнение теоретических значений вырезаемых объемов горизонтальной и вертикально расположенной фрезой роторного снегоочистителя позволяет сделать вывод о потенциальных возможностях питателей. При углах захода фрезы θ меньше $17,7^\circ$, горизонтальный питатель роторного снегоочистителя вырезает меньший объем снежной массы, чем вертикальный питатель при прочих равных условиях.

Полученные уравнения длин траекторий движения произвольной точки фрезы питателя роторного снегоочистителя для вертикального и горизонтального расположения фрезы позволяют определить продолжительность взаимодействия транспортируемой снежной массы и рабочего оборудования от момента ее захвата до момента ее разгрузки. Установлено, что существует область значений $V_{пер}$ и ω_{ϕ} , в которой длина траектории вырезания снежной массы для горизонтальной фрезы меньше длины траектории вырезания для вертикальной фрезы. Увеличение значений $V_{пер}$ и ω_{ϕ} приводит к нелинейному росту длины траектории

вырезания снежной массы для горизонтальной фрезы и ее значение уже превышает аналогичный параметр для вертикальной фрезы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Закиров М. Ф. Оптимизация рабочей скорости фрезерно-роторного снегоочистителя // Строительные и дорожные машины. 2015. № 10. С. 55–57.

2. Алешков Д. С. Геометрические и кинематические характеристики питателя и метательного аппарата фрезернороторного снегоочистителя // Вестник СибАДИ. 2018. Т. 15, № 5(63). С. 638–648. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2018-5-638-648>.

3. Желудкевич Р. Б., Иванова Н. В., Кайзер Ю. Ф. [и др.] Рабочий орган с режущими дисковыми резцами // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. № 7. С. 136–143.

4. Трофимова И. Ф., Баловнев В. И. Плужный снегоочиститель для скоростной очистки автомобильных дорог от снега // Технология колесных и гусеничных машин. 2015. № 4. С. 49–55.

5. Дудкин М. В., Ким А. И., Молдаханов Б. А., Роговский В. В. Определение усилий на рабочем органе фрезерно-роторного снегоочистителя // Труды университета. 2022. № 2(87). С. 16–22. DOI 10.52209/1609-1825_2022_2_16.

6. Вахидов У. Ш., Ерасов И. А., Мокеров Д. С., Молев Ю. И. Методика выбора рациональных параметров роторно-винтового движителя, обеспечивающих минимальный уровень шума при движении по льду // Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева. 2020. № 1 (128). С. 113–121. DOI: 10.46960/1816-210X_2020_1_113

7. Летопольский А. Б., Тетерина И. А., Корчагин П. А. Ротор проходческого щита // Вестник машиностроения. 2022. № 2. С. 15–18. DOI: 10.36652/0042-4633-2022-2-15-18

8. Алешков Д. С., Корчагин П. А., Тетерина И. А. Исследование математической модели работы ротора роторного снегоочистителя // Строительные и дорожные машины. 2022. № 8. С. 18–22.

9. Баловнев В. И., Данилов Р. Г. Роторные снегоочистители // Строительные и дорожные машины. 2019. № 6. С. 10–20.

10. Кузнецов А. В., Сладкова Л. А. Конструкционные особенности устройства ударного действия, предназначенного для борьбы с зимней скользкостью // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. № 3. С. 260–267.

11. Алешков Д. С., Корчагин П. А., Тетерина И. А. Математическая модель процесса транспортирования снежной массы в роторе снегоочистителя // Вестник СибАДИ. 2022. Т. 19, № 5 (87). С. 610–623. DOI: 10.26518/2071-7296-2022-19-5-610-623

12. Дудкин М. В., Молдаханов Б. А., Бугаев А. Б. Классификация методов повышения эффективности работы питателей шнеко- и фрезерно-роторных снегоочистителей // Вестник Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева. 2022. № 2. С. 67–70. DOI 10.51885/1561-4212_2022_2_64

13. Плотникова В. А., Калёнов К. А., Захаров Д. П. Обзор снегоочистителей роторного типа // Автоматизированное проектирование в машиностроении. 2022. № 13. С. 43–47. DOI: 10.26160/2309-8864-2022-13-43-47

14. Баловнев В. И., Данилов Р. Г. Снегопогрузки // Строительные и дорожные машины. 2020. № 1. С. 3–9.

15. Сладкова Л. А., Григорьев П. А., Кустарев Г. В. О необходимости создания инфраструктуры в регионах Арктики // Строительные и дорожные машины. 2021. № 11. С. 24–31.

16. Serebrennikov A.A., Plohov A.A. (2020) Working process for installing snow melting plants with active working element. E3S Web of Conferences: "International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE 2020" С. 01057. DOI: 10.1051/e3sconf/202019301057

17. Мерданов Ш. М., Конев В. В., Мальцева Л. П. Повышение эффективности плужной снегоуборочной машины // Фундаментальные исследования. 2016. № 5–3. С. 491–496.

18. Пеленко В. В., Хлыновский А. М., Баринев Г. В. Повышение ресурса пары трения нож-решетка в шнековых измельчителях твердообразных материалов // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2022. № 1 (59). С. 29–36.

19. Жарников В. Б., Пасько О. А., Ушакова Н. С., Макарецова Е. С. О содержании мониторинга снежных отвалов и подверженных их влиянию земель северных городов (на примере города Томска) // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). 2019. Т. 24, № 1. С. 174–191. DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-1-174-191.

REFERENCES

1. Zakirov M. F. Optimizacija rabochej skorosti frezerno-rotornogo snegoochistitelja [Optimization of the operating speed of the milling and rotary snow blower]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2015; 10: 55-57. (In Russ.)

2. Aleshkov D.S. Geometric and kinematic characteristics of feeder and thrower of milling and rotary snowblower. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2018;15 (5): 638-648. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2018-5-638-648>

3. Zhelukevich R. B., Ivanova N. V., Kajzer Ju. F. i dr. Rabochij organ s rezhushhimi diskovymi rezcami [Working tool with cutting disk cutters]. *Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki*. 2017; 7: 136-143. (In Russ.)

4. Trofimova I. F., Balovnev V. I. Pluzhnyj snegoochistitel' dlja skorostnoj ochistki avtomobil'nyh dorog ot snega [Plow snow plow for high-speed clearing of roads from snow]. *Tehnologija kolesnyh i gusenichnyh mashin*. 2015; 4: 49-55. (In Russ.)

5. Dudkin M. V., Kim A. I., Moldahanov B. A., Rogovskij V.V. Opredelenie usilij na rabochem organe frezerno-rotornogo snegoochistitelja [Determination of forces on the working element of the milling and rotary snow blower]. *Trudy universiteta*. 2022; 2 (87): 16-22. DOI 10.52209/1609-1825_2022_2_16. (In Russ.)

6. Vahidov U. Sh., Erasov I. A., Mokerov D. S., Molev Ju. I. Metodika vybora racional'nyh parametrov rotorno-vintovogo dvizhitelja, obespechivajushih minimal'nyj uroven' shuma pri dvizhenii po l'du [Procedure for selection of rational parameters of rotor-screw propulsor providing minimum noise level when moving on ice]. *Trudy NGTU im. R. E. Alekseeva*. 2020; 1 (128): 113-121. DOI: 10.46960/1816-210X_2020_1_113 (In Russ.)

7. Letopol'skij A. B., Teterina I. A., Korchagin P. A. Rotor prohodcheskogo shhita [Penetration panel rotor]. *Vestnik mashinostroenija*. 2022; 2: 15-18. DOI: 10.36652/0042-4633-2022-2-15-18 (In Russ.)

8. Aleshkov D. S., Korchagin P. A., Teterina I. A. Issledovanie matematicheskoy modeli raboty rotora rotnogo snegoochistitelja [Study of mathematical model of rotor operation of rotary snow plow]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2022; 8: 18-22. (In Russ.)

9. Balovnev V. I., Danilov R. G. Rotornye snegoochistiteli [Study of mathematical model of rotor operation of rotary snow plow]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2019; 6: 10-20. (In Russ.)

10. Kuznecov A. V., Sladkova L. A. Konstrukcionnye osobennosti ustrojstva udarnogo dejstviya, prednaznachennogo dlja bor'by s zimnej skol'zkost'ju [Structural features of the impact device designed to combat winter slipperiness]. *Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki*. 2020; 3: 260-267. (In Russ.)

11. Aleshkov D. S., Korchagin P. A., Teterina I. A. Mathematical model of the snow mass transportation process in the snowblower rotor. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2022; 19 (5): 610-623. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-5-610-623>

12. Dudkin M. V., Moldahanov B. A., Bugaev A. B. Klassifikacija metodov povyshenija jeffektivnosti raboty pitatelej shneko- i frezerno-rotornyh snegoochistitelej [Classification of Methods for Improving the Efficiency of Screw and Mill-Rotary Snow Plows]. *Vestnik Vostochno-Kazahstanskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta im. D. Serikbaeva*. 2022; 2: 67-70. DOI 10.51885/1561-4212_2022_2_64. (In Russ.)

13. Plotnikova V. A., Kaljonov K. A., Zaharov D. P. Obzor snegoochistitelej rotnogo tipa [Overview of Rotary Type Snow Plows//Automated Engineering Design]. *Avtomatizirovannoe proektirovanie v mashinostroenii*. 2022; 13: 43-47. DOI: 10.26160/2309-8864-2022-13-43-47. (In Russ.)

14. Balovnev V. I., Danilov R. G. Snegopogruzchiki [Snow loaders]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2020; 1: 3-9. (In Russ.)

15. Sladkova L. A., Grigor'ev P. A., Kustarev G. V. O neobходимosti sozdanija infrastruktury v regionah Arktiki [On the need to create infrastructure in the regions of the Arctic]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2021; 11: 24-31. (In Russ.)

16. Serebrennikov A. A., Plohov A. A. (2020) Working process for installing snow melting plants with active working element. E3S Web of Conferences: "International Conference on Modern Trends in Man-

ufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE 2020" C. 01057. DOI: 10.1051/e3sconf/202019301057. (In Russ.)

17. Merdanov Sh. M., Konev V. V., Mal'ceva L. P. Povysenie jeffektivnosti pluzhnoj snegouborochnoj mashiny [Improved efficiency of plowing snow blower]. *Fundamental'nye issledovanija*. 2016; 5-3: 491-496. (In Russ.)

18. Pelenko V. V., Hlynovskij A. M., Barinov G. V. Povysenie resursa pary trenija nozh-reshetka v shnekovyh izmel'chiteljah tverdoobraznyh materialov [Increased life of friction pair of knife-grid in screw grinders of solid materials]. *Tehniko-tehnologicheskie problemy servisa*. 2022; 1 (59): 29-36. (In Russ.)

19. Zharnikov V. B., Pas'ko O. A., Ushakova N. S., Makarcova E. S. O soderzhanii monitoringa snezhnyh otvalov i podverzhennyh ih vlijaniju zemel' severnyh gorodov (na primere goroda Tomska) [On the content of monitoring snow dumps and the lands of northern cities subject to their influence (on the example of the city of Tomsk)]. *Vestnik SGUGiT (Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i tehnologij)*. 2019; T. 24. № 1: 174-191. DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-1-174-191. (In Russ.)

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Каждый автор внес равную долю участия как во все этапы проводимого теоретического исследования, так и при написании разделов научной статьи.

COAUTHORS' CONTRIBUTIONS

Each author has an equal share of contributions to the theoretical sections of the article.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Алешков Денис Сергеевич – канд. техн. наук, доц. кафедры автоматизации и энергетического машиностроения, SPIN-код: 2503-8585.

Корчагин Павел Александрович – д-р техн. наук, проф. кафедры общеобразовательных дисциплин, SPIN-код: 5319-0662.

Тетерина Ирина Алексеевна – канд. техн. наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела научно-исследовательского управления, SPIN-код: 6589-2080.

Хирьянов Евгений Викторович – аспирант очной формы обучения.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Denis S. Aleshkov – Cand. of Sci., Associate Professor of the Automation and Power Engineering Department, SPIN-код: 2503-8585.

Pavel A. Korchagin – Dr. of Sci., Professor of the "General Educational Disciplines Department, SPIN-код: 5319-0662.

Irina A. Teterina – Cand. of Sci., Senior researcher of the Research Department, SPIN-код: 6589-2080.

Evgeniy V. Khiryanov – Postgraduate student.