

УДК (UDK) 629.464.25

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА НАКЛОНА РЕЖУЩЕЙ ПОЛОСЫ
ПИТАТЕЛЯ РОТОРНОГО СНЕГООЧИСТИТЕЛЯDETERMINING THE ANGLE OF INCLINATION OF THE CUTTING STRIP
OF THE FEEDER OF A ROTARY SNOW BLOWERАлешков Д.С., Корчагин П.А., Летопольский А.Б., Тетерина И.А.,
Aleshkov D.S., Korchagin P.A., Letopolsky A.B., Teterina I.A.Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (Омск, Россия)
Siberian State Automobile and Highway University (Omsk, Russian Federation)

Аннотация. Статья содержит результаты теоретических исследований одного из параметров геометрического образа вертикальной фрезы питателя роторного снегоочистителя – угла наклона вертикальной режущей полосы питателя относительно радиуса вертикальной фрезы. В работе присутствуют не только рекомендации о рациональных значениях угла наклона режущей полосы питателя, но и представлены некоторые конкретные значения ширины режущей полосы питателя, при которых рабочий процесс роторного снегоочистителя можно считать максимально эффективным. Составлена расчетная схема определения угла наклона вертикальной фрезы. В статье приведены виды взаимодействия вертикальной режущей полосы со снежным массивом. Ключевые виды взаимодействия представлены схематично. Получены зависимости угла наклона касательной к траектории резания в зависимости от угла поворота относительно радиуса фрезы. Сделаны выводы о зависимости угла наклона режущей полосы от угла поворота фрезы. Выявлено и представлено несколько периодически повторяющихся участков в процессе работы роторного снегоочистителя, что говорит о наличии закономерностей в этом процессе. Определены функциональные зависимости геометрических размеров режущей полосы роторного снегоочистителя от угла наклона вертикальной режущей полосы и угла поворота вертикальной фрезы.
Ключевые слова: роторный снегоочиститель, фреза, питатель, снежный массив, коммунальная машина

Дата получения статьи: 20.08.2024
Дата принятия к публикации: 05.09.2024
Дата публикации: 25.09.2024

Сведения об авторах:

Алешков Денис Сергеевич – доктор технических наук, доцент ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», e-mail: denisaleshkov@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4204-7221>

Корчагин Павел Александрович – доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «Сибирский

Abstract. The article contains the results of theoretical studies of one of the parameters of the geometric image of the feeder cutter of a rotary snow blower - the angle of inclination of the cutting strip of the vertical feeder, relative to the radius of the vertical cutter. The work contains not only recommendations on rational values of the angle of inclination of the feeder cutting strip, but also presents some specific values of the width of the feeder cutting strip, at which the working process of a rotary snow blower can be considered most effective. A calculation scheme for determining the angle of inclination of a vertical cutter has been compiled. The article presents the types of interaction of a vertical cutting strip with a snow mass. Key types of interaction are presented schematically. The dependences of the angle of inclination of the tangent to the cutting path as a function of the angle of rotation relative to the radius of the cutter were obtained. Conclusions are drawn about the dependence of the angle of inclination of the cutting strip on the angle of rotation of the cutter. Several periodically repeating sections during the operation of a rotary snow blower have been identified and presented, which indicates the presence of patterns in this process. The functional dependences of the geometric dimensions of the cutting strip of a rotary snow blower on the angle of inclination of the vertical cutting strip and the angle of rotation of the vertical cutter are determined.

Keywords: rotary snow blower, cutter, feeder, snow mass, utility vehicle

Date of manuscript reception: 20.08.2024
Date of acceptance for publication: 05.09.2024
Date of publication: 25.09.2024

Authors' information:

Denis S. Aleshkov – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), e-mail: denisaleshkov@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4204-7221>

Pavel A. Korchagin – Doctor of Technical Sciences, Professor, Siberian State Automobile and Highway

государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», e-mail: korchagin_pa@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-001-8936-5679>

Тетерина Ирина Алексеевна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»,
e-mail: iateterina@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8012-8511>

Летопольский Антон Борисович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой "Строительная, подъемно-транспортная и нефтегазовая техника" ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», e-mail: Antoooon-85@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8012-8511>

University (SibADI),

e-mail: korchagin_pa@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-001-8936-5679>

Irina A. Teterina – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI),
e-mail: iateterina@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8012-8511>

Anton B. Letopolsky – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of "Construction, hoisting and transport and oil and gas equipment", Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), e-mail: Antoooon-85@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8012-8511>

Благодарности

*Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда
(проект № 23-29-10014, <https://rscf.ru/project/23-29-10014/>)*

Acknowledgements

*The study was supported by the grant of Russian Science Foundation (RSF)
(project No. 23-29-10014, <https://rscf.ru/project/23-29-10014/>)*

1. Введение

Одним из множества параметров, которые при большом количестве вариантов представляют собой геометрический образ вертикальной фрезы питателя роторного снегоочистителя, является угол наклона плоскости вертикальной режущей полосы относительно радиуса вертикальной фрезы [1, 2].

Выбор конкретного геометрического образа вертикальной режущей полосы однозначно будет определять множество других конструктивных и технологических параметров, что в результате определит значения, диапазоны и характер изменения критериев эффективности высшего иерархического уровня роторного снегоочистителя в целом [3, 4].

Кроме этого, определение вида функциональных зависимостей геометрических размеров вертикальной режущей полосы и кинематических характеристик вертикальной фрезы роторного снегоочистителя, таких как ширина вертикальной режущей полосы b_p и угол наклона плоскости вертикальной режущей полосы относительно радиуса вертикальной фрезы ψ , позволит сформировать методику проектирования

такого рода рабочего оборудования. Это положительно скажется на дальнейшем производстве и эксплуатации роторных снегоочистителей с вертикальной фрезой [5, 6].

2. Основная часть

Для установления характера влияния геометрического образа вертикальной фрезы на такие параметры как поступательная скорость роторного снегоочистителя V_{nep} и угловая скорость вращения вертикальной фрезы роторного снегоочистителя ω , необходимо провести анализ кинематики вырезания снежной массы из снежного массива при использовании вертикальной фрезы [7, 8]. При этом принято допущение, что процесс вырезания снежной массы является установившимся [9].

В первую очередь необходимо рассмотреть участок траектории резания (рис. 1), полученный при следующих исходных данных [8, 10]:

- радиус вертикальной фрезы $R=0,175$ м;
- поступательная скорость роторного снегоочистителя $V_{nep}=0,36$ м/с;
- угловая скорость вращения вертикальной фрезы роторного снегоочистителя $\omega=19$ с⁻¹;

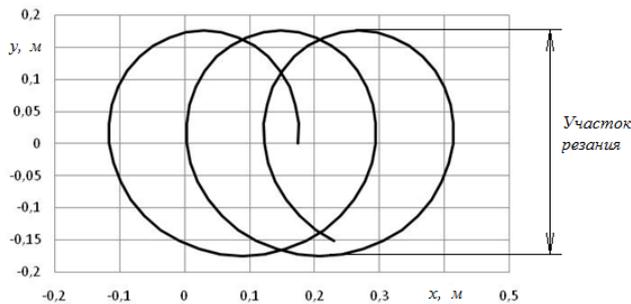


Рис. 1. Траектория движения точки вертикальной режущей полосы

- радиус кривизны горизонтальной образующей поверхности вертикальной режущей полосы $R_{ph}=\infty$;
- радиус кривизны вертикальной образующей поверхности вертикальной режущей полосы $R_{pv}=\infty$;
- высота вертикальной режущей полосы $h_p=0,25$ м.

В соответствии с расчетной схемой, представленной на рис. 2, рассмотрим участок резания, находящийся в диапазоне углов $270^\circ < \varphi < 360^\circ$.

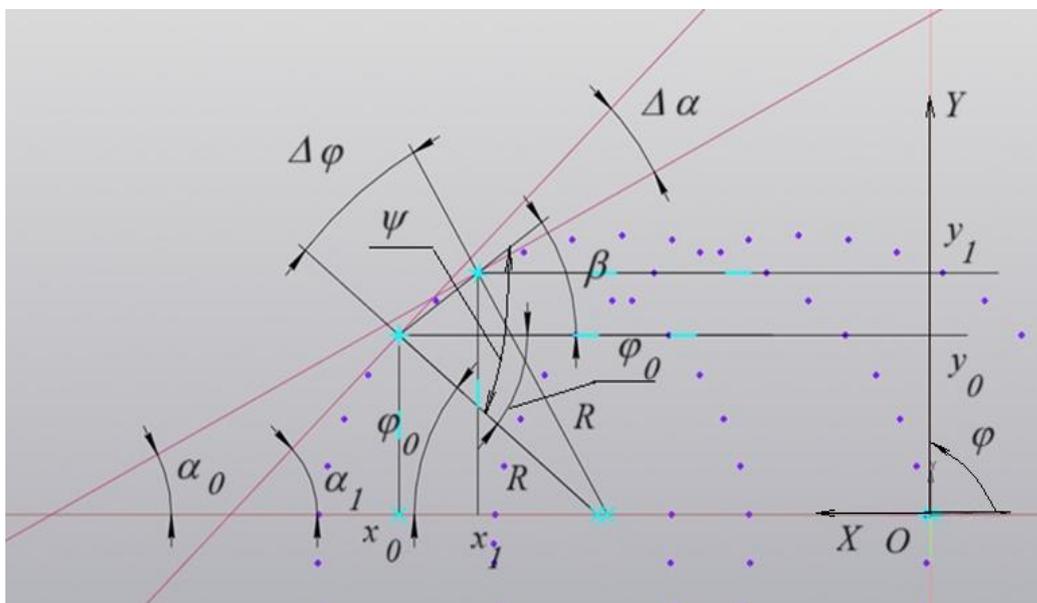


Рис. 2. Расчетная схема определения угла наклона вертикальной режущей полосы

В общем виде возможны следующие варианты взаимодействия вертикальной режущей полосы со снежным массивом и вырезанной снежной массой [11, 12]:

- давление на боковую поверхность вертикальной режущей полосы со стороны снежного массива (рис. 3, а);
- давление на боковую поверхность вертикальной режущей полосы со стороны вырезанной снежной массы (рис. 3, б);
- отсутствие давления на боковую поверхность вертикальной режущей полосы как со стороны снежного массива, так и вырезанной снежной массы [1].

Из рис. 1 и 3 сделан вывод о необходимости изменения углового положения вертикальной режущей полосы для условия

минимизации давления со стороны снежного массива [13, 14].

Изменение угла положения касательной к траектории резания α_i может быть определено по производной уравнения циклоиды (рис. 1) по временному параметру t [4, 8]:

$$x = V_{nep}t + R \cdot \cos(\omega \cdot t), \quad (1)$$

$$y = R \cdot \sin(\omega \cdot t). \quad (2)$$

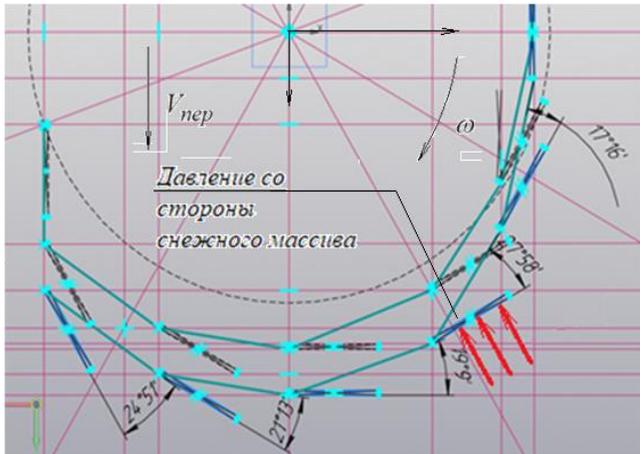
Производная имеет вид [15]:

$$\dot{y}(x) = \frac{\dot{y}(t)}{\dot{x}(t)} = \frac{R \cdot \omega \cos(\omega \cdot t)}{V_{nep} - R \cdot \omega \cdot \sin(\omega \cdot t)}. \quad (3)$$

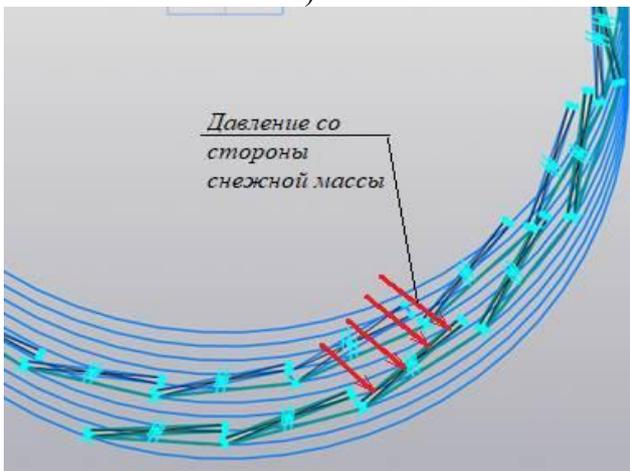
или

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}(\alpha) &= \frac{R \cdot \omega \cos(\omega \cdot t)}{V_{nep} - R \cdot \omega \cdot \sin(\omega \cdot t)} = \\ &= \frac{R \cdot \omega \cdot \cos(\varphi)}{V_{nep} - R \cdot \omega \cdot \sin(\varphi)} \end{aligned} \quad (4)$$

где φ – угол поворота вертикальной фрезы, относительно точки O в плоскости OXY (рис. 2).



а)



б)

Рис. 3. Траектория вырезания снежной массы из снежного массива вертикальной режущей полосой фрезы питателя роторного снегоочистителя: а – давление на боковую поверхность со стороны снежного массива; б – давление на боковую поверхность со стороны вырезанной снежной массы

3. Результаты исследования

Угол наклона касательной в каждой точке траектории резания можно определить, используя формулу (4) [15]. На рис. 4 представлена зависимость угла наклона касательной α_i к траектории резания в зависимости от угла поворота вертикальной фрезы φ .

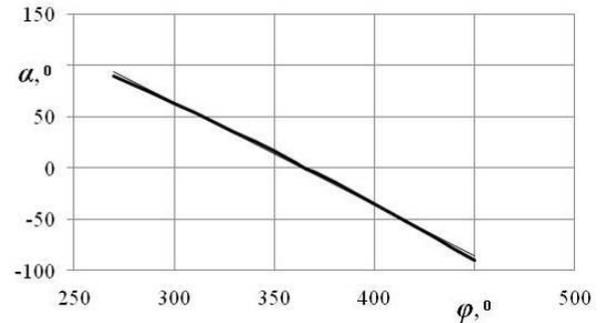


Рис. 4. Зависимость угла наклона касательной к траектории резания от угла поворота вертикальной фрезы

Из рис. 4 следует вывод о том, что изменения носят практически линейный характер. Линейная интерполяция средствами Microsoft Excel имеет вид [16]:

$$\alpha = -0,99\varphi + 362,6 \quad (5)$$

Квадратичная погрешность составляет $R^2 = 0,997$.

Из уравнения (5) следует, что приращение угла наклона касательной $\Delta\alpha$ к траектории резания носит постоянный характер.

Используя систему уравнений (1), (2) и уравнение (4) или (5), при заданном угле поворота вертикальной фрезы φ_0 , определены текущие координаты x_0 и y_0 точки вертикальной режущей полосы и угол наклона касательной α_0 . Далее задано новое положение угла поворота вертикальной фрезы φ_1 . Аналогично определены координаты x_1 и y_1 точки вертикальной режущей полосы и угол наклона касательной α_1 . Используя следующее соотношение, определен угол наклона прямой, соединяющей две соседние точки [1, 8]:

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0}. \quad (6)$$

В этом случае угол наклона вертикальной режущей полосы к радиусу вертикальной фрезы, проведенному к точке с координатами x_0 и y_0 исключаяющий давление на снежный массив в рассматриваемой точке, будет равен (рис. 2) [8, 10]:

$$\psi = \varphi_0 + \beta. \quad (7)$$

Величина угла ψ будет зависеть от текущего углового положения вертикальной фрезы [1]. На рис. 5 в качестве примера представлены значения угла ψ при ширине

вертикальной режущей полосы b_p , уместающейся в интервалы $\Delta\varphi=10^0$ (рис. 5, а), $\Delta\varphi=20^0$ (рис. 5, б) что соответствует $b_p = 0,03$ м.

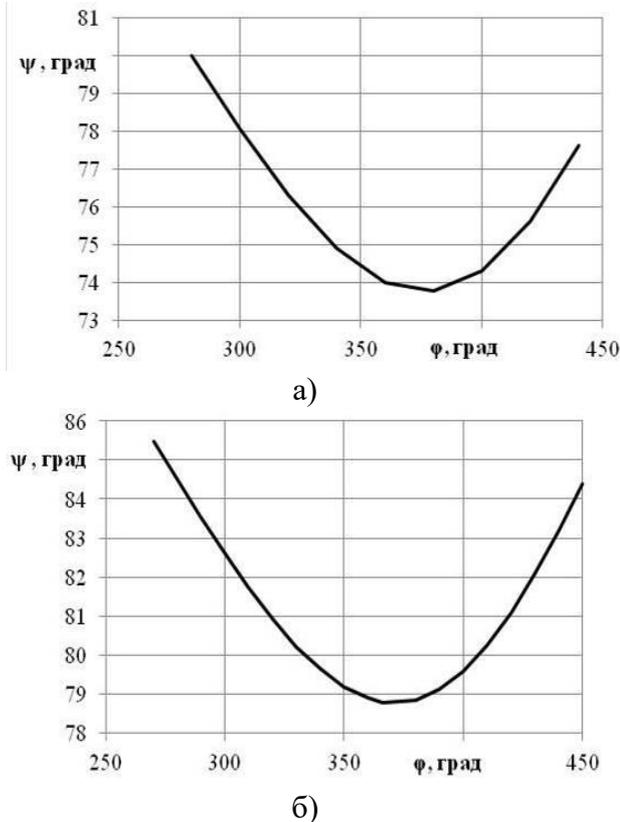


Рис. 5. Зависимость изменения угла наклона вертикальной режущей полосы от угла поворота вертикальной фрезы: а – $\Delta\varphi=10^0$; б – $\Delta\varphi=20^0$

Проведенные теоретические исследования показали, что увеличение ширины режущей полосы b_p будет приводить к уменьшению значения угла наклона режущей полосы вертикального питателя ψ . Очевидно, для того чтобы заведомо исключить давление снежного массива, необходимо выбрать наименьшее значение угла наклона режущей полосы, которое в представленном расчетном случае (рис. 5, а) равно $\psi=78,7^0$. В другом расчетном случае (рис. 5, в) при установке вертикальной режущей полосы шириной $b_p=0,058$ м, которая укладывается в $\Delta\varphi=20^0$, наименьшее значение угла составит $\psi=73,8^0$.

Также теоретические исследования позволили сделать вывод о том, что зависи-

мость угла ψ от угла φ имеет несколько характерных, периодически повторяющихся, участка у которых [13]:

- участок, охватываемый диапазоном углов 2π ;

- два участка с диапазонами углов π .

Кроме этого, в участках с диапазонами углов π наблюдается асимметрия.

При различной ширине вертикальной режущей полосы b_p характер изменения угла наклона вертикальной режущей полосы в зависимости от угла поворота вертикальной фрезы представлен на рис. 6.

Из рис. 6 следует, что при прочих равных условиях минимизация давления снежного массива на вертикальную режущую полосу будет наблюдаться при $\psi < 90^0$.

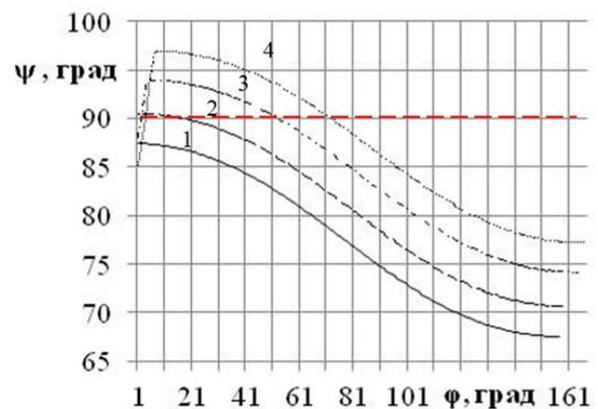


Рис. 6. Изменение угла наклона вертикальной режущей полосы в зависимости от угла поворота вертикальной фрезы за половину оборота фрезы, при значениях b_p : 1 – 0,02 м; 2 – 0,04 м; 3 – 0,06 м; 4 – 0,08 м

4. Обсуждение и выводы

Продемонстрирован подход к определению угла наклона режущей полосы вертикальной фрезы роторного снегоочистителя ψ , при котором на большей части траектории движения рабочего органа исключается давление на снежный массив при вырезании снежной массы.

Проведенные исследования подтвердили предположение о том, что при проектировании роторного снегоочистителя угол

наклона режущей полосы питателя необходимо выбирать $\psi < 90^0$. Именно при таком условии давление снежного массива на вертикальную режущую полосу будет снижаться и достигать минимальных значений.

Кроме этого, сделан вывод о том, что увеличение ширины режущей полосы вертикальной фрезы питателя роторного снегоочистителя приводит к уменьшению угла наклона режущей полосы относительно оси питателя. Следовательно, ширина режущей полосы не должна превышать 0,04

м. В противном случае при прочих равных заданных условиях, достижение минимизации давления со стороны снежного массива становится невозможно.

Планируется, что дальнейшие исследования будут направлены на определение более точных значений ширины режущей полосы фрезы питателя роторного снегоочистителя, а также степени влияния угла наклона и ширины режущей полосы на эффективность работы вертикальной фрезы роторного снегоочистителя.

Список литературы

1. Алешков Д.С., Корчагин П.А., Тетерина И.А. Теоретические исследования движения снежной частицы в вертикальном питателе роторного снегоочистителя // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2022. № 4. С. 263-274. DOI: 10.22281/2413-9920-2022-08-04-263-274

2. Угловский И.С., Вдовин С.А., Чашин С.Э., Фоминых Д.Д., Суханов Д.Е. Обзор техники для уборки небольших территорий от снега // Научные перспективы-2021: Сб. ст. Региональной молодежной научно-технич. конф. Н. Новгород, 2021. С. 90-91.

3. 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.

4. Баловнев В.И., Данилов Р.Г. Снегопогрузчики // Строительные и дорожные машины. 2020. № 1. С. 3-9.

5. Абрамов Л.Н., Кустарев Г.В., Дудкин М.В., Молдаханов Б.А., Андриюхов Н.М. Определение рациональных параметров рабочего органа машины для зимнего содержания дорог // Строительные и дорожные машины. 2021. № 8. С. 18-22.

6. Корчагин П.А., Реброва И.А., Тетерина И.А. Определение параметров, влияющих на функционирование системы виброзащиты оператора дорожной уборочно-подметальной машины // Известия

References

1. Aleshkov D.S., Korchagin P.A., Teterina I.A. Teoreticheskie issledovaniya dvizheniya snezhnoj chasticy v vertikalnom pitatele rotnogo snegoochistitelya. *Nauchno-tehnicheskij vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2022. No. 4. pp. 263-274. DOI: 10.22281/2413-9920-2022-08-04-263-27. (In Russian)

2. Uglovskij I.S., Vdovin S.A., Chashin S.E., Fominyh D.D., Suhanov D.E. Obzor tehniki dlya uborki nebolshih territorij ot snega *Nauchnye perspektivy-2021: Sb. st. Regionalnoj molodezhnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii*. N. Novgorod, 2021. pp. 90-91. (In Russian)

3. Balovnev V.I., Sovetbekov B.S. Optimizaciya rezhimov ekspluatacii i vybora transportno-tehnologicheskikh mashin metodami analiza chetvertoj koordinaty rabocheho processa. *Vestnik KRSU*, 2014, T.14, No. 12, pp. 145-148. (In Russian)

4. Balovnev V.I., Danilov R.G. Snegopogruzchiki. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*, 2020, No. 1, pp. 3-9. (In Russian)

5. Abramov L.N., Kustarev G.V., Dudkin M.V., Moldahanov B.A., Andrjuhov N.M. Opredelenie racionalnyh parametrov rabocheho organa mashiny dlya zimnego sodержaniya dorog. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*, 2021, no 8, pp. 18-22. (In Russian)

6. Korchagin P.A., Rebrova I.A., Teterina I.A. Opredelenie parametrov, vliyayushih na funkcionirovanie sistemy vibrozashity operatora dorozhnoj uborochno-podmetalnoj mashiny. *Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo*

- Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. № 3. С. 249-256.
7. Teterina I.A. Korchagin P.A., Aleshkov D.S. Investigation into effects of the utility machine performance characteristics on the vibration at the operator's workplace // 12th International Scientific and Technical Conference "Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines", Dynamics 2018. 2019. С. 8601434. DOI:10.1109/Dynamics.2018.8601434
8. Алешков Д.С. Корчагин П.А., Тетерина И.А. Математическая модель процесса транспортирования снежной массы в роторе снегоочистителя // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2022. Т. 19. № 5 (87). С. 610-623. DOI: 10.26518/2071-7296-2022-19-5-610-623
9. Летопольский А.Б. Тетерина И.А., Корчагин П.А. Ротор проходческого щита // Вестник машиностроения. 2022. № 2. С. 15-18. DOI: 10.36652/0042-4633-2022-5-15-18
10. Баловнев В.И., Данилов Р.Г. Роторные снегоочистители // Строительные и дорожные машины. 2019. № 6. С. 10-20.
11. Корчагин П.А., Тетерина И.А. Совершенствование системы виброзащиты оператора коммунальной машины // Динамика систем, механизмов и машин. 2017. Т. 5. № 1. С. 41-45.
12. Остапчук А. К. Овсянников В. Е. Синергетический подход к определению отклика технологической системы на внешнее воздействие // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2011. № 3(11). С. 36-41.
13. Абрамов А.Д., Семенов М.А. Повышение эффективности работы снегоуборочной машины типа СМ на основе автоматизированного мониторинга // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2021. № 3 (58). С. 40-49. DOI: 10.52170/1815-9265_2021_58_40
14. Дудкин М.В., Ким А.И., Молдаханов Б.А., Роговский В.В. Определение усилий на рабочем органе фрезернороторного снегоочистителя // Труды университета. 2022. № 2 (87). С. 16-22.
15. Закиров М.Ф. Оборудование для уборки снега за барьерными ограждениями *universiteta. Tehnicheskie nauki*, 2016, No. 3, pp. 249-256. (In Russian)
7. Teterina I.A. Korchagin P.A., Aleshkov D.S. Investigation into effects of the utility machine performance characteristics on the vibration at the operator's workplace. *12th International Scientific and Technical Conference "Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines"*, Dynamics - 2018, 2019, P. 8601434. DOI:10.1109/Dynamics.2018.8601434 (In Russian)
8. Aleshkov D.S. Korchagin P.A., Teterina I.A. Matematicheskaya model processa transportirovaniya snezhnoj massy v roto-re snegoochistitelya. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta*, 2022, T. 19, No. 5 (87), pp. 610-623. DOI: 10.26518/2071-7296-2022-19-5-610-623. (In Russian)
9. Letopol'skij A.B. Teterina I.A., Korchagin P.A. Rotor prohodcheskogo shita. *Vestnik mashinostroenija*, 2022, No. 2. pp. 15-18. DOI: 10.36652/0042-4633-2022-5-15-18 (In Russian)
10. Balovnev, V.I., R.G. Danilov. Rotornye snegoochistiteli. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*, 2019, No. 6, pp. 10-20. (In Russian)
11. Korchagin, P.A. Teterina I.A. Sovershenstvovanie sistemy vibrozashity operatora kommunalnoj mashiny. *Dinamika sistem, mehanizmov i mashin*, 2017, T. 5, No. 1, pp. 41-45. (In Russian)
12. Ostapchuk, A. K., Ovsjannikov V. E. Sinergeticheskij podhod k opredeleniyu otklika tehnologicheskoy sistemy na vneshnee vozdejstvie. *Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshhenija*, 2011, No. 3(11), pp. 36-41. (In Russian)
13. Abramov, A.D., Semenov M.A. Povyshenie effektivnosti raboty snegouborochnoj mashiny tipa SM na osnove avtomatizirovannogo monitoring. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshhenija*, 2021, No. 3 (58), pp. 40-49. DOI: 10.52170/1815-9265_2021_58_40 (In Russian)
14. Dudkin, M.V., Kim A.I., Moldahanov B.A., Rogovskij V.V. Opredelenie usilij na rabochem organe frezernorotornogo

