

УДК 629.464.4

## ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ РОТОРНОГО СНЕГООЧИСТИТЕЛЯ

### STRENGTH RESEARCH WORKING EQUIPMENT OF ROTARY SNOW BLOWER

Алешков Д.С., Корчагин П.А., Тетерина И.А., Хирьянов Е.В.  
 Aleshkov D.S., Korchagin P.A., Teterina I.A., Khiryaynov E.V.

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (Омск, Россия)  
 Siberian State Automobile and Highway University (Omsk, Russian Federation)

**Аннотация.** В статье представлены результаты теоретических исследований, направленных на изучение вопроса повышения эффективности работы роторного снегоочистителя. Представлен перечень возможных показателей, используемых в качестве критериев эффективности, характеризующие как отдельные подсистемы, так и отдельную систему в целом, в сфере дорожных, строительных и коммунальных машин. В качестве критерия эффективности рабочего оборудования роторного снегоочистителя, из представленного перечня, в данном случае выбрана мощность, затрачиваемая на транспортирование снежной массы. Представлены графические зависимости, отражающие значения сил нормальной реакции боковой поверхности фрезы питателя и графические зависимости максимального значения силы нормальной реакции опорной поверхности питателя от размера транспортируемых частиц. Отражены картограммы средних значений сил нормальных реакций опорной поверхности и боковой поверхности для частиц с характерным размером 0,03 м, построенные по результатам пространственного осреднения результатов вычислений. Рассмотрено влияние характерных размеров транспортируемых частиц на показатели эффективности рабочего оборудования роторного снегоочистителя. Представлены закономерности, установленные в результате сравнительного анализа осредненных значений по пространству и средних суммарных значений по времени как для опорной, так и для боковой поверхностей рабочего оборудования роторного снегоочистителя.

**Ключевые слова:** коммунальная машина, роторный снегоочиститель, снежная масса, ротор, рабочий орган.

Дата получения статьи: 16.06.2023  
 Дата принятия к публикации: 12.09.2023  
 Дата публикации: 25.09.2023

#### Сведения об авторах:

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



**Abstract.** The article presents the results of theoretical studies aimed at studying the issue of increasing the efficiency of a rotary snowplow. A list of possible indicators used as performance criteria is presented, characterizing both individual subsystems and a separate system as a whole, in the field of road, construction and municipal vehicles. As a criterion for the efficiency of the working equipment of a rotary snowplow, from the presented list, in this case, the power expended on transporting the snow mass was selected. Graphical dependences are presented that reflect the values of the forces of normal reaction of the side surface of the cutter of the feeder and graphical dependences of the maximum value of the normal reaction force of the supporting surface of the feeder on the size of the transported particles. Cartograms of the average values of the forces of normal reactions of the supporting surface and the side surface for particles with a characteristic size of 0.03 m are shown, built on the basis of the results of spatial averaging of the calculation results. The influence of the characteristic dimensions of transported particles on the performance indicators of the working equipment of a rotary snowplow is considered. The regularities established as a result of a comparative analysis of the averaged values over space and the average total values over time for both the supporting and side surfaces of the working equipment of a rotary snowplow are presented.

**Keywords:** utility vehicle, rotary snow blower, snow mass, rotor, working body.

Date of manuscript reception: 16.06.2023  
 Date of acceptance for publication: 12.09.2023  
 Date of publication: 25.09.2023

#### Authors' information:

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

ORCID 0000-0003-4204-7221

**Корчагин Павел Александрович** – доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»,

*e-mail: korchagin\_pa@mail.ru*

ORCID 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: 0000-0001-8012-8511

**Хирьянов Евгений Викторович** – аспирант ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»,

*e-mail: hiryanove@mail.ru*

ORCID: 0009-0006-5754-2400

‡ ORCID: 0000-0003-4204-7221

‡ **Pavel A. Korchagin** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), *e-mail: korchagin\_pa@mail.ru*

‡ ORCID 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: 0000-0001-8012-8511

‡ **Evgeny V. Khiryanov** - postgraduate student, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), *e-mail: hiryanove@mail.ru*

‡ ORCID: 0009-0006-5754-2400

### Благодарности

*Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 23-29-10014)*

### Acknowledgements

*The study was supported by the grant of Russian Science Foundation (project No. 23-29-10014)*

## 1. Введение

Проведение теоретических исследований направленных на изучение вопросов связанных с эффективностью работы роторного снегоочистителя и успешное решение задач синтеза эффективных решений базируется на выборе показателей эффективности и определении их значений, представляющих собой числовую оценку степени, в которой данная комбинация характеристик рабочего оборудования эффективна для проведения работ по очистке территорий от снега.

В работах [1, 2] указывается на иерархичность показателей эффективности, суть которой заключается в том, что чем выше уровень рассматриваемого объекта, например, включающего в себя несколько подсистем, тем сложнее по своей структуре будет показатель эффективности. При рассмотрении отдельного элемента, или одной подсистемы часто достаточно использовать единичные показатели, или их группу. Так, в работе [3] в качестве показателя эффективности использовался такой единичный показатель, как дальность отброса снежной массы  $L$ .

Гипотетически рассматриваемые далее показатели эффективности в определенном диапазоне значений, как и порядковые меры

эффективности согласно [4, 5] должны быть инварианты к масштабу и непрерывны.

В настоящее время устоявшимися показателями и их комбинациями, используемыми в качестве критериев эффективности, характеризующими как отдельные подсистемы, так и исследуемую систему в целом, в сфере дорожных, строительных и коммунальных машин являются [6-8]:

- время рабочего цикла проведения работ по очистке снега  $T$ , с [9];

- объемная производительность  $Q$ , м<sup>3</sup>/час;

- производительность по массе  $\Pi$ , т/час [2, 10];

- мощность, затрачиваемая на транспортирование снежной массы  $N$ , Вт [2, 10].

Экспериментальные исследования по определению функциональных зависимостей потребляемой мощности и производительности питателя роторного снегоочистителя занимают ключевую позицию. Таким примером является работа [9] в которой экспериментально исследуется сопротивление резанию и перемещению снежной массы шнековым питателем. Теоретические исследования работы винтовых рабочих органов [10] широко используют положения теории резания. В работе [11] установлено, что эффективность процесса сепарации пласта материала роторами зависит от скорости его подачи,

угловой скорости вращения роторов [12] кривизны расположения продольных осей роторов, и свойств материала.

В данной статье представлены результаты теоретических исследований, в которых в качестве критерия эффективности рабочего оборудования роторного снегоочистителя выбрана мощность, затрачиваемая на транспортирование снежной массы. Выбор параметра объясняется тем, что именно мощность является одним из показателей более высокого иерархического уровня и в неявном виде включают в себя наибольшее количество конструктивных и технологических показателей, описывающих работу роторного снегоочистителя.

## 2. Основная часть

Для проведения исследований с учетом того, что транспортируемая снежная масса представляется как взаимодействующие между собой отдельные частицы, необходимо установить соотношения, по которым будет определяться мощность, затрачиваемая на транспортирование снежной массы. Для этого осуществлялось решение системы дифференциальных уравнений, составленной в системе координат  $X_\phi O_\phi Y_\phi Z_\phi$  (рис. 1). Результаты решения подставлялись в формулу [7], по которой определялась мощность  $N_i$ , затрачиваемая на транспортирование отдельной частицы в питателе фрезерно-роторного снегоочистителя в произвольный момент времени  $t$ :

$$N_i = (R_\phi - r_{ci}) \cdot [N_{\phi i} (\cos \theta + f_\phi \sin \theta) + N_{ci} \cdot f_\phi \frac{\dot{y}_{\phi i}}{\sqrt{\dot{x}_{\phi i}^2 + \dot{y}_{\phi i}^2 + \dot{z}_{\phi i}^2}}] \cdot \omega_\phi,$$

где  $N$  – сила нормальной реакции боковой поверхности, Н;  $N_{\phi i}$  – сила нормальной реакции опорной поверхности, Н;  $N_{ci}$  – сила нормальной реакции боковой поверхности, Н;  $\dot{x}_{\phi i}$  – скорость частицы по оси  $O_\phi X_\phi$ , м/с;  $\dot{y}_{\phi i}$  – скорость частицы по оси  $O_\phi Y_\phi$ , м/с;  $\dot{z}_{\phi i}$  – скорость частицы по оси  $O_\phi Z_\phi$ , м/с.

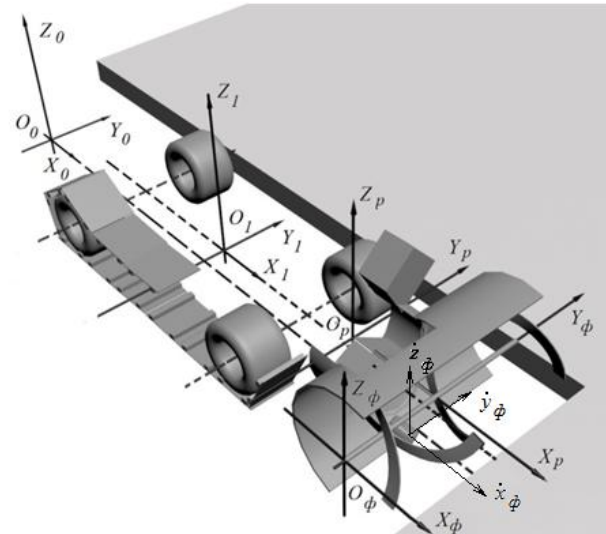


Рис. 1. Системы координат фрезерно-роторного снегоочистителя и система координат  $X_\phi O_\phi Y_\phi Z_\phi$  для описания процесса транспортирование снежных частиц

Исходные данные для проведения исследований соответствуют данным, представленным в табл. 1, и являются фиксированными параметрами, за исключением:

- радиус частиц варьировался в диапазоне  $r_{ci} = 0,005 \dots 0,04$  м, с шагом 0,005 [7,8];
- число заходов фрезы  $n_3 = 3$ .

При исследовании силовых характеристик рабочего оборудования роторного снегоочистителя из предлагаемого диапазона размера снежных частиц были выбраны численные значения  $r_{ci} = 0,015; 0,02; 0,03$  м, так как снежные частицы такого размера наиболее характерны для транспортируемой снежной массы на территории Российской Федерации [13, 14].

В процессе решения уравнений движения группы снежных частиц определялись мгновенные значения, координат, проекций векторов скоростей транспортируемых частиц, значений сил нормальных реакций опорной поверхности  $N_{ci}$ , боковой поверхности  $N_{\phi i}$  и мощности затрачиваемой на транспортирование каждой снежной частицы  $N_i$  за все время вычислительного цикла [15].

Таблица 1

Исходные данные для математической модели питателя фрезерного снегоочистителя

Параметр	Значение
Радиус фрезы $R_f$ , м	0,3
Угловая скорость вращения фрезы $\omega_f$ , рад/с	8
Скорость снегоочистителя $V_{nep}$ , м/с	0,55
Угол захода ленты фрезы $\theta$ , град	20
Половина ширины захвата питателя роторного снегоочистителя $B_f/2$ , м	0,69
Коэффициент трения снежной частицы о поверхность отвала $f_u$	0,03
Коэффициент трения снежной частицы о ленту фрезы $f_f$	0,03
Характерный размер частицы $r_{ci}$ , м	0,005
Плотность снежной частицы $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	500
Точность вычислений, с	0,00025
Время вычислений для одного захода, с	0,79

Для выявления закономерностей и характерных особенностей работы оборудования и поведения транспортируемой снежной массы, для каждого набора значений проводилось определение базовых статистических характеристик в программе Statistica [15-17].

В качестве примера, на рис. 2 и 3 отражены картограммы средних значений сил нормальных реакций опорной поверхности  $N_{nc\ ci}$  и боковой поверхности  $N_{nc\ phi}$  для частиц с характерными размерами  $r_{ci} = 0,03$ . Данные картограммы построены по результатам пространственного осреднения результатов вычислений [2].

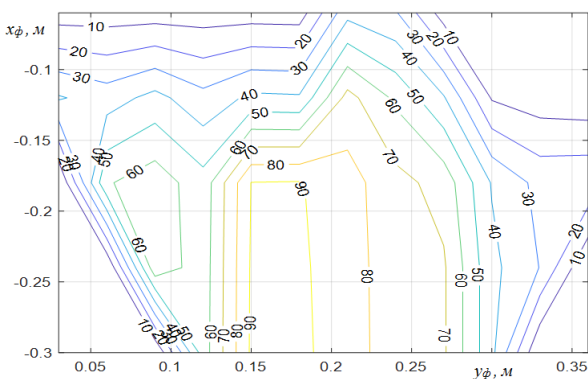


Рис. 2. Картограмма значений сил нормальных реакций опорной поверхности для частиц характерного размера  $r_{ci}=0,03$  м

В качестве примера, на рис. 4 и 5 представлены суммарные значения сил нормальных реакций опорной поверхности  $N_{c\ ci}$  и бо-

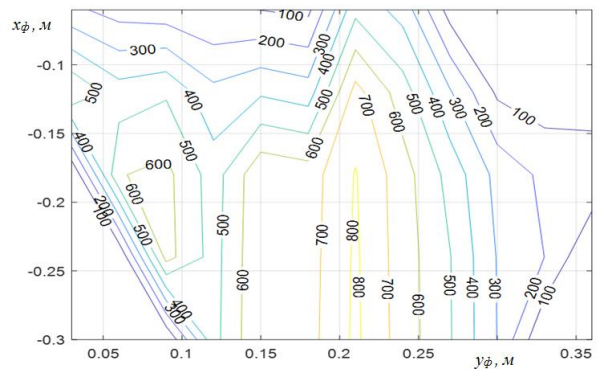


Рис. 3. Картограмма значений сил нормальных реакций боковой поверхности для частиц характерного размера  $r_{ci}=0,03$  м

ковой поверхности  $N_{c\ phi}$  для частиц с характерными размерами  $r_{ci} = 0,03$  м осредненные по времени [7, 15, 18].

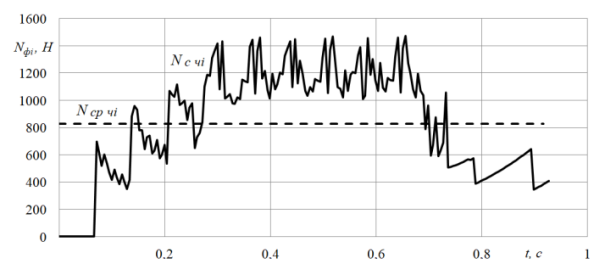


Рис. 4. Суммарные значения сил нормальных реакций боковой поверхности и их среднего значения для частиц характерного размера  $r_{ci} = 0,03$  м

Необходимо отметить, что интервал осреднения по времени соответствовал одному



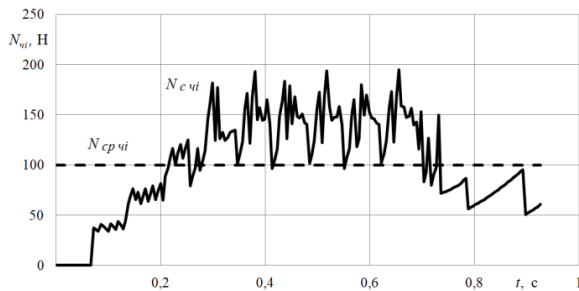


Рис. 5. Суммарные значения сил нормальных реакций опорной поверхности и их среднего значения для частиц характерного размера  $r_{\psi i}=0,03$  м

полному обороту фрезы, а также средние значения  $N_{cp\ \psi i}$ ,  $N_{cp\ \phi i}$  по всему рассматриваемому интервалу времени [7].

Сравнение осредненных значений по пространству (рис. 2 и 3) и средних суммарных значений по времени (рис. 4 и 5) как для опорной, так и для боковой поверхностей рабочего оборудования роторного снегоочистителя, демонстрируют следующие закономерности:

$$N_{cp\ \psi i} \approx N_{nc\ \psi i}^{max},$$

$$N_{cp\ \phi i} \approx N_{nc\ \phi i}^{max}.$$

Для значений сил нормальной реакции фрезы максимальное относительное превышение составило 8,6%, для силы нормальной реакции опорной поверхности – 11,8%, при транспортировании частиц характерного размера  $r_{\psi i} = 0,015$  м. При этом просматривается следующая тенденция: с уменьшением характерного размера транспортируемых частиц отклонение растет [19].

Исходя из этого, следует ожидать, что при увеличении точности осреднения и учета всех расчетных значений, равенства осредненных по времени средних значений  $N_{cp\ \phi i}$  и  $N_{cp\ \psi i}$  и максимальных значений, полученных в результате осреднения по пространству и соответственно [2, 19].

Также необходимо отметить смещение максимумов сил нормальных реакций опорной поверхности и боковой поверхности рабочего органа относительно друг друга. Из графиков следует, что наибольшую нагрузку создают вышележащие снежные частицы,

транспортируемой снежной массы [3, 7]. Также установлено, что при  $r_{\psi i} > 0,032$  м верхние частицы выходят за пределы питателя.

Одним из основных выводов, по описанным выше результатам, является то, что осреднение по пространству является актуальным для инженерных расчетов элементов рабочего оборудования, так как оно задает распределение значений действующих сил, однако в процессе осреднения по пространству происходит сглаживание пиковых значений [18]. Пиковые значения действующих сил получаются в результате непосредственного расчета по времени  $t$  и на их значения не влияет количество заходов ленты фрезы  $n_z$ , таким образом можно считать, что каждый заход работает независимо друг от друга [3].

### 3. Результаты исследований

На рис. 6 и 7 представлены зависимости максимальных средних значений сил нормальных реакций боковой и опорной поверхности питателя роторного снегоочистителя.

Из графиков можно сделать вывод: влияние размера транспортируемых частиц, проявляется в увеличении значений сил нормальных реакций, действующих как на опорную поверхность, так и на боковую поверхность, при увеличении характерного размера частиц.

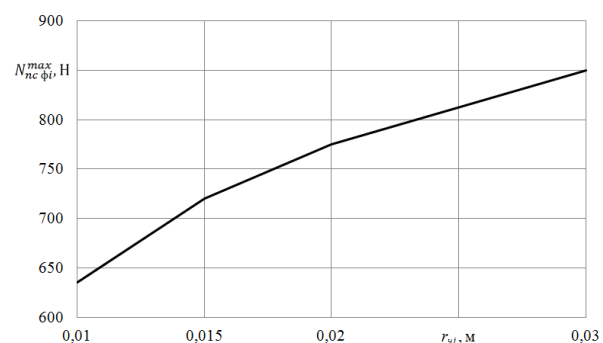


Рис. 6. Зависимость максимального значения сил нормальной реакции боковой поверхности фрезы питателя от размера транспортируемых частиц

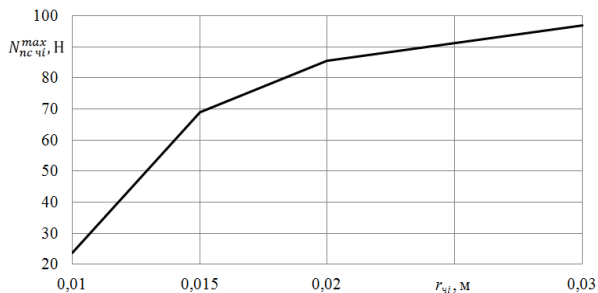


Рис. 7. Зависимость максимального значения силы нормальной реакции опорной поверхности питателя от размера транспортируемых частиц

#### 4. Обсуждения и выводы

В результате проведенных исследований были получены выражения показателей, на основании которых может осуществляться оценка энергоэффективности рабочих органов роторного снегоочистителя с учетом взаимодействия снежных частиц в транспортируемой снежной массе.

На основе решения уравнений математической модели были определены распределения значений сил нормальных реакций опорной поверхности питателя и боковой поверхности фрезы, что обеспечивает возможность проведения дальнейшей параметрической оптимизации, указанных конструктивных элементов роторного снегоочистителя. Полученные суммарные и средние, по

времени, значения сил нормальных реакций боковой поверхности фрезы питателя роторного снегоочистителя и его опорной поверхности, с учетом уравнения расчета необходимой мощности могут быть использованы для оценки энергоэффективности фрезы питателя.

Сравнительный анализ результатов, дал количественную оценку нагруженности элементов питателя роторного снегоочистителя. Так боковая поверхность фрезы испытывает, практически на порядок большие нагрузки (8-ми кратное увеличение) в процессе транспортирования снежной массы по сравнению с опорной поверхностью питателя.

Увеличение характерного размера транспортируемых частиц в питателе роторного снегоочистителя, приводит к нелинейному росту нагрузок воспринимаемых боковой поверхностью фрезы питателя и опорной поверхностью питателя роторного снегоочистителя и соответственно к росту затрат мощности. Однако при транспортировании крупнокусковых снежных образований следует ожидать возможного роста производительности питателя. Таким образом, более целесообразным, при оценке эффективности работы питателя роторного снегоочистителя, будет использование такого показателя, как отношение затрачиваемой мощности на теоретическую производительность по массе.

#### Список литературы

1. 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.
2. Баловнев В.И., Данилов Р.Г. Снегопогрузчики // Строительные и дорожные машины. 2020. № 1. С. 3-9.
3. Алешков Д. С., Суковин М. В. Модель формирования снежных валов при работе фрезерно-роторного снегоочистителя // Вестник евразийской науки. 2018. Т. 10, № 6. С. 58.
4. Bobillier G., Bergfeld B., Capelli A., Dual J., Gaume J., Herwijnen A., Schweizer J.

#### References

1. Kuznecov A.V., Sladkova L.A. Konstruktsionnye osobennosti ustroystva udarnogo deystviya, prednaznachennogo dlya borby s zimney skolzkostyu. *Izvestija Tulsckogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki*, 2020, No. 3, pp. 260-267. (In Russian)
2. Balovnev V.I., Danilov R.G. Snegopogruzchiki. *Stroitelnye i dorozhnye mashiny*, 2020, No. 1, pp. 3-9. (In Russian)
3. Aleshkov D.S., Sukovin M.V. Model formirovaniya snezhnyh valov pri rabote frezerno-rotornogo snegoochistitelya. *Vestnik evrazijskoj nauk*, 2018, Vol. 10, No. 6, pp. 58. (In Russian)
4. Bobillier G., Bergfeld B., Capelli A.,

Micromechanical modeling of snow failure // *Cryosphere*. 2020. №14. Pp. 39-49.  
DOI: 10.5194/tc-14-39-2020

5. Pluta Z., Hryniewicz T. On the Quantum Theory of Impact Phenomenon for the Conditions of Elastic Deformation of Impacted Body // *International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy*. 2013. № 12. Pp. 45-59.  
DOI:10.18052/www.scipress.com/ILCPA.12.4

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

7. 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.

8. 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.

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

10. Желукевич Р.Б., Иванова Н.В., Кайзер Ю.Ф., Егоров А.В. Рабочий орган с режущими дисковыми резцами // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2017. № 7. С. 136-143.

11. Zonta T., Selvanathan J., Patel J., Wilson K., Kaura H., Berry C., Tayefeh M., Barari A. Autonomous snowblower utilizing internet of things for minimal power consumption // *14th IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON)*. 2021. №2. Number: 21135936.  
DOI: 10.1109/INDUSCON51756.2021.9529823

12. Xie Bing-lei, Jin L., Mu W. Snow disposal operations optimization in winter highway maintenance // *International Conference on Management Science & Engineering 21th Annual Conference Proceedings*. 2014. №104. Number: 14694734.  
DOI: 10.1109/ICMSE.2014.6930233.

Dual J., Gaume J., Herwijnen A., Schweizer J. Micromechanical modeling of snow failure. *Cryosphere*, 2020, No.14, pp. 39-49. DOI: 10.5194/tc-14-39-2020

5. Pluta Z., Hryniewicz T. On the Quantum Theory of Impact Phenomenon for the Conditions of Elastic Deformation of Impacted Body. *International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy*, 2013, No. 12, pp. 45-59. DOI:10.18052/www.scipress (in Polish)

6. Merdanov Sh.M., Konev V.V., Malceva L.P. Povyshenie effektivnosti pluzhnoj snegouborochnoj mashiny. *Fundamentalnye issledovaniya*, 2016, No. 5-3, pp. 491-496. (In Russian)

7. Aleshkov D.S., Korchagin P.A., Teterina I.A. Matematicheskaya model processa transportirovaniya snezhnoj massy v rotore snegoochistitelya. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobilno-dorozhnogo universiteta*, 2022, Vol. 19, No. 5 (87), pp. 610-623. DOI: 10.26518/2071-7296-2022-19-5-610-623. (In Russian)

8. Letopolskij A.B., Teterina I.A., Korchagin P.A. Rotor prohodcheskogo shchita. *Vestnik mashinostroeniya*, 2022, No. 2, pp. 15-18. DOI: 10.36652/0042-4633-2022-2-15-18. (In Russian)

9. Zakirov M.F. Optimizaciya rabochej skorosti frezerno-rotornogo snegoochistitelya. *Stroitelnye i dorozhnye mashiny*, 2015, No. 10, pp. 55-57. (In Russian)

10. Zhelukevich R.B., Ivanova N.V., Kajzer Yu.F., Egorov A.V. Rabochij organ s rezhushchimi diskovymi rezcami. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2017, No. 7, pp. 136-143. (In Russian)

11. Zonta T., Selvanathan J., Patel J., Wilson K., Kaura H., Berry C., Tayefeh M., Barari A. Autonomous snowblower utilizing internet of things for minimal power consumption. *14th IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON)*, 2021, №2, No. 21135936. DOI: 10.1109/INDUSCON51756.2021.9529823/

12. Xie Bing-lei, Jin L., Mu W. Snow disposal operations optimization in winter highway maintenance. *International Conference on Management Science & Engineering 21th An-*

13. 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

14. 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.

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

16. Гржибовский А.М., Иванов С.В., Горбатова М.А. Описательная статистика с использованием пакетов статистических программ STATISTICA и SPSS // Наука и здравоохранение. 2016. № 1. С. 7-23.

17. Гржибовский, А. М., Иванов С. В., Горбатова М. А. Корреляционный анализ данных с использованием программного обеспечения STATISTICA и SPSS // Наука и здравоохранение. 2017. № 1. С. 7-36.

18. 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

19. Селиверстов Н.Д. Оптимальные параметры бульдозера-рыхлителя в зависимости от условий эксплуатации // Технология колесных и гусеничных машин. 2015. № 4. С. 34-40.

nual Conference Proceedings, 2014, No. 104, No. 14694734.

DOI: 10.1109/ICMSE.2014.6930233.

13. Zharnikov V.B., Pasko O.A., Ushakova N.S., Makarcova E.S. O sodержanii monitoringa snezhnyh otvalov i podverzhennyh ih vliyaniyu zemel severnyh gorodov (na primere goroda Tomsk). *Vestnik SGUGiT (Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i tekhnologij)*, 2019, Vol. 24, No. 1, pp. 174-191. DOI: 10.33764/2411-1759-2019-24-1-174-191. (In Russian)

14. Sladkova L.A., Grigorev P.A., Kustarev G.V. O neobhodimosti sozdaniya infrastruktury v regionah Arktiki. *Stroitelnye i dorozhnye mashiny*, 2021, No. 11, pp. 24–31. (In Russian)

15. Balovnev V.I., Danilov R.G. Rotornye snegoochistiteli. *Stroitelnye i dorozhnye mashiny*, 2019, No. 6, pp. 10-20. (In Russian)

16. Grzhibovskij A.M., Ivanov S.V., Gorbatova M.A. Opisatel'naya statistika s ispolzovaniem paketov statisticheskikh programm STATISTICA i SPSS. *Nauka i Zdravoohranenie*, 2016, No. 1, pp. 7-23. (In Russian)

17. Grzhibovskij A.M. Ivanov S.V., Gorbatova M.A. Korrelyacionnyj analiz dannyh s ispolzovaniem programmnoho obespecheniya STATISTICA i SPSS. *Nauka i Zdravoohranenie*, 2017, No. 1, pp. 7-36. (In Russian)

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

19. Seliverstov N.D. Optimalnye parametry bul'dozera-ryhlytelya v zavisimosti ot uslovij ekspluatatsii. *Tekhnologiya kolesnyh i gusenichnyh mashin*, 2015, No. 4, pp. 34-40. (In Russian)