

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ВЕРТИКАЛЬНОГО И ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ПИТАТЕЛЕЙ СНЕГООЧИСТИТЕЛЯ

Алешков Д.С., Корчагин П.А., Тетерина И.А.

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет «СибАДИ», Омск

Ключевые слова: роторный снегоочиститель, вертикальный питатель, горизонтальный питатель, коммунальная машина, снежная масса, фреза, строительно-дорожная машина.

Аннотация. Одним из направлений интенсификации работы роторных снегоочистителей является совершенствование конструкции питателя таких машин. В работе представлены результаты экспериментальных исследований работы физических моделей горизонтального и вертикального питателей роторного снегоочистителя. Основной целью таких исследований являлась оценка эффективности работы вертикального и горизонтального питателей. Представлены результаты прямых и косвенных наблюдений изменения удельной энергоэффективности питателей от угловой скорости вращения фрезы и его поступательной скорости движения. Определены границы областей устойчивой работы горизонтального и вертикального питателей роторного снегоочистителя. Описаны тенденции влияния угловой скорости вращения фрезы и поступательной скорости питателя на производительность и затрачиваемую мощность, полученные в процессе корреляционного анализа результатов экспериментальных исследований. Экспериментально доказана энергоэффективность работы вертикального питателя.

STUDY OF THE OPERATION OF PHYSICAL MODELS OF VERTICAL AND HORIZONTAL SNOWPLOW FEEDERS

Aleshkov D.S., Korchagin P.A., Teterina I.A.

Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk

Keywords: rotary snow blower, vertical feeder, horizontal feeder, communal machine, snow mass, cutter, road construction machine.

Abstract. One of the ways to intensify the operation of rotary snowplows is to improve the design of the feeder of such machines. The paper presents the results of experimental studies of the operation of physical models of horizontal and vertical feeders of a rotary snowplow. The main purpose of such studies was to evaluate the efficiency of the vertical and horizontal feeders. The results of direct and indirect observations of changes in the specific energy efficiency of feeders from the angular speed of rotation of the cutter and its forward speed are presented. The boundaries of the areas of stable operation of the horizontal and vertical feeders of the rotary snowplow are determined. The tendencies of the influence of the angular speed of rotation of the cutter and the translational speed of the feeder on the productivity and expended power, obtained in the process of correlation analysis of the results of experimental studies, are described. The energy efficiency of the vertical feeder has been experimentally proven.

Введение. Эффективность работы роторных снегоочистителей является многопараметрической функцией, на диапазоны изменения параметров которой накладываются ограничения, что исключает возможность простого увеличения или уменьшения их значений, с целью повышения эффективности работы питателя в целом. Одним из направлений интенсификации рабочего процесса питателя роторным снегоочистителем является внесение изменений в его конструкцию.

Одним из вариантов изменения конструкции может послужить вертикальное расположение питателя роторного снегоочистителя. Расположение оси вращения фрезы питателя в вертикальной плоскости обеспечивает транспортирование вырезанной снежной массы в область загрузочного окна с минимальными затратами мощности.

Выражение, определяющее границу области значений конструктивных и технологических параметров питателя фрезерно-роторного снегоочистителя, при которых обеспечивается эффективное использование такого вида роторного снегоочистителя, имеет вид [1, 2]:

$$R_f \geq \frac{V_f}{\omega_f}, \quad (1)$$

где V_f – поступательная скорость фрезы питателя; ω_f – угловая скорость вращения фрезы питателя.

Расширение границ изменения технологических параметров без снижения энергоэффективности могут привести к существенной интенсификации процесса транспортирования снежной массы питателем роторного снегоочистителя. Одним из таких решений является вертикальный питатель, то есть, в компоновочной схеме которого ось вращения располагается в вертикальной плоскости [3, 4]. Вертикальный питатель роторного снегоочистителя обеспечивает транспортирование вырезанной снежной массы в загрузочную область окна с минимальными затратами мощности [3, 5].

В связи с вышесказанным, появилась необходимость проведения натурального эксперимента, основной целью которого стала оценка эффективности работы вертикального и горизонтального питателей роторного снегоочистителя в зависимости от их технологических параметров.

Материалы и методы. При проведении экспериментальных исследований выходными параметрами являлись: количество транспортируемого материала, поступившего в область загрузочного окна питателя роторного снегоочистителя (M , кг); мощность, потребляемая приводом фрезы питателя (N , Вт); время, затрачиваемое на вырезание и транспортирование в область загрузочного окна материала фрезой питателя (t , с). Варьируемыми параметрами являлись: угловая скорость вращения фрезы питателя (ω_f , рад/с); поступательная скорость питателя (V_f , м/с).

При проведении экспериментальных исследований использовались физические модели горизонтального и вертикального питателей (рис. 1). Их основные геометрические характеристики физических моделей представлены в таблице 1.

В качестве привода фрезы питателя использовался электрический мотор мощностью 0,8 кВт.



Рис. 1. Экспериментальные установки для исследований: а) горизонтального питателя (вид сверху); б) вертикального питателя (вид сбоку)

Табл. 1. Основные конструктивные параметры питателя роторного снегоочистителя

Параметры	Горизонтальный питатель	Вертикальный питатель
Радиус фрезы, r_f , м	0,14	0,1
Длина фрезы, $B/2$, м	0,31	0,21
Количество режущих полос	2	3

На первом этапе проведения экспериментальных исследований, на подвижном основании формировалась призма транспортируемого материала с известными геометрическими размерами (рис. 2). Толщина массива транспортируемого материала (h) составляла треть диаметра фрезы горизонтального питателя и высоты фрезы вертикального питателя.

В качестве транспортируемого материала использовались прессованные древесные опилки, подвергавшиеся увлажнению водой непосредственно, перед проведением экспериментальных исследований. Его базовые характеристики представлены в источнике [6, 7].

Минимальное необходимое количество экспериментов определялось по известным методикам [8-9]. Значения коэффициента вариации (k_{var}) и доверительной вероятности (p) были приняты равными: $k_{var} = 12\%$, $p = 0,95$.

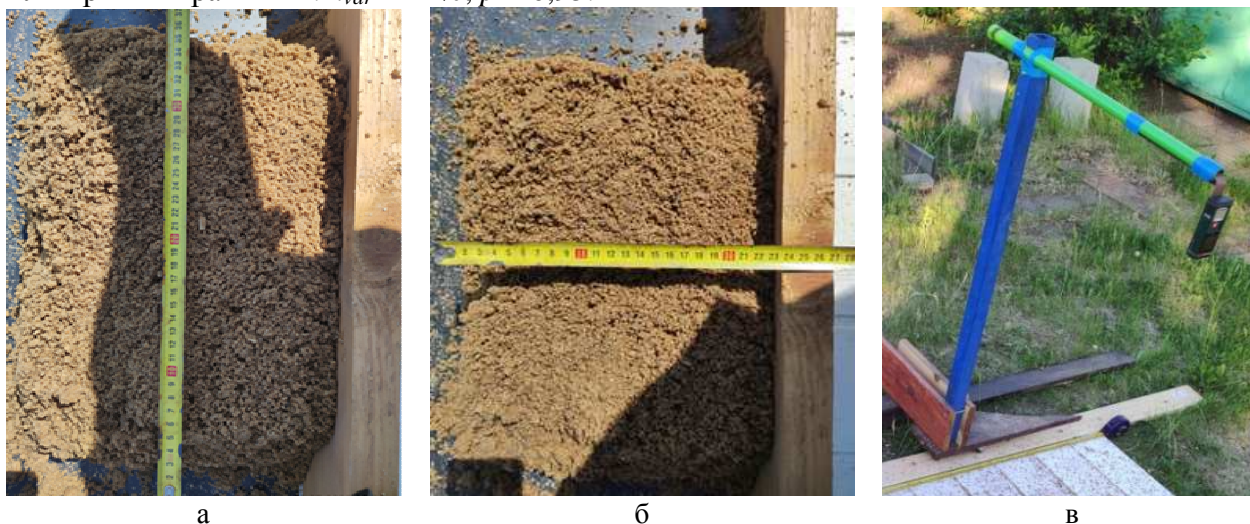


Рис. 2. Формирование и регистрация призмы транспортируемого материала при работе питателя: а) длина призмы (L , м); б) ширина призмы (b , м); в) высота призмы (h , м)

На втором этапе проводились непосредственно измерения затрачиваемой мощности (N) при разработке сформированной призмы и время, затрачиваемое питателем на ее разработку. Данный этап фиксировался на видеокамеру.

На третьем этапе проводилась обработка полученных результатов. Осуществлялось взвешивание транспортируемого материала (M), попавшего в область загрузочного окна. Определялась поступательная скорость движения сформированной призмы (V_f) по формуле:

$$V_f = L/t. \quad (2)$$

Производительность (P , кг/с) находилась по формуле:

$$P = M/t. \quad (3)$$

Также производились вычисления удельной энергоэффективности (P_N , кг/(Вт с)) по формуле:

$$P_N = P/N. \quad (4)$$

На рисунках 3-5 представлены зависимости удельной энергоэффективности от поступательной скорости движения, угловой скорости вращения фрезы (ω_f) и отношения угловой скорости вращения фрезы к поступательной скорости движения питателя (ω_f/V_f) соответственно.

С помощью стандартной функции программного продукта Statistica были определены средние значения и их квадратические отклонения выходных параметров работы горизонтального и вертикального питателей [10, 11]. Их средние значения составили по мощности: для горизонтального питателя – 80,9 Вт, вертикального питателя – 111,02 Вт; по производительности: для горизонтального питателя – 0,317 кг/с; вертикального питателя – 0,358 кг/с питателя.

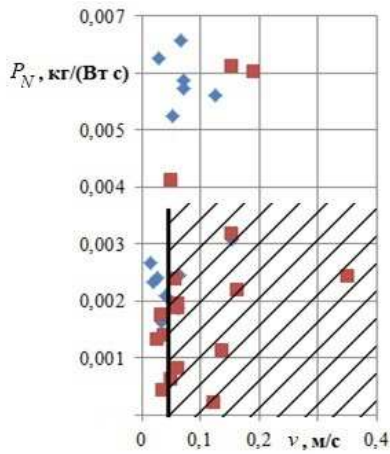


Рис. 3. Зависимость удельной энергоэффективности от поступательной скорости питателя роторного снегоочистителя: \blacklozenge - горизонтальный питатель; \blacksquare - вертикальный питатель; /// - область, где наблюдалось резкое торможение фрезы горизонтального питателя

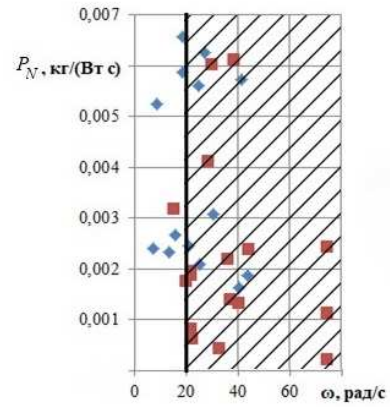


Рис. 4. Зависимость удельной эффективности от угловой скорости вращения фрезы питателя роторного снегоочистителя: \blacklozenge - горизонтальный питатель; \blacksquare - вертикальный питатель; /// - область, где наблюдался переборс транспортируемой массы горизонтальным питателем

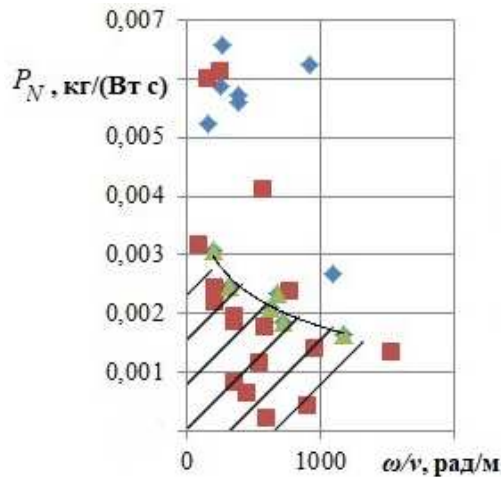


Рис. 5. Зависимость удельной эффективности от отношения угловой скорости вращения к поступательной скорости питателя роторного снегоочистителя: \blacklozenge - горизонтальный питатель; \blacksquare - вертикальный питатель; \blacktriangle - граница минимальных потерь; /// - область, где отсутствует падение угловой скорости вращения фрезы горизонтального питателя и переборс транспортируемой массы, минимален

Обсуждение и выводы. На рисунке 3 четко прослеживаются две области, в которых обеспечивается работа горизонтального и вертикального питателей. Экспериментальные исследования показали, что при прочих равных условиях, при поступательной скорости горизонтального питателя более 0,05 м/с, его работа обеспечивается резким увеличением потребляемой мощности. Восстановление нормального режима работы происходит только после уменьшения его поступательной скорости или увеличения затрачиваемой мощности.

Из рисунка 4 следует, что при прочих равных условиях, при увеличении угловой скорости вращения фрезы более 18 рад/с горизонтального питателя, наблюдается интенсивный рост переброса транспортируемого материала (рис. 6).

Полученные ограничения позволили определить область эффективного использования фрезерно-роторного снегоочистителя малой мощности. Верхняя граница данной области представлена на рисунке 6. Данная граница была аппроксимирована следующим уравнением:

$$P_N = -7 \cdot 10^4 \cdot \ln\left(\frac{\omega_f}{V_f}\right) + 0,0069. \quad (5)$$

Величина достоверности аппроксимации составила $R^2=0,8973$.

Работа вертикального питателя, при значениях угловой скорости вращения фрезы более 20 рад/с, не образует разлет транспортируемого материала, перемещение которого происходит в условиях ограниченного призмой материала и стенками вертикального питателя пространства. При этом вертикальный питатель более эффективно разрабатывает призму материала большей толщины по сравнению с горизонтальным питателем, при поступательной скорости движения более 0,05 м/с.

Так же экспериментальные исследования показали существенную связь энергоэффективности вертикального питателя от толщины массива материала перед питателем [12].



Рис. 6. Переброс транспортируемого материала при работе горизонтального питателя роторного снегоочистителя

Заключение. Таким образом, повышение удельной эффективности работы вертикального питателя обусловлено возможностью увеличения поступательной скорости движения и одновременного увеличения толщины призмы разрабатываемого материала. Определена область эффективного использования горизонтального питателя в зависимости его технологических параметров. Вне данной области более энергоэффективную работу продемонстрировал вертикальный питатель.

Список литературы

1. Doudkin I. M., Kim A., Moldakhanov B., Kustarev G., Andryukhov N., Rogovsky V., Doudkina Y. Experimental Studies of the Physical Model of the Milling-Rotary Snow Cleaner // *International Review of Mechanical Engineering (IREME)*. 2021, vol. 15, no. 9, pp. 453. DOI: 10.15866/ireme.v15i9.20952.
2. Крапивин А.Б. Комплект машин для зимнего содержания городских дорог, тротуаров, дворовых площадок // *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. – 2007. – № 38. – С. 93-94.
3. Алешков Д.С., Суковин М.В. Математическая модель работы вертикальной фрезы при транспортировании снежной массы // *Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета*. – 2022. – Т. 19, № 1(83). – С. 24-35.
4. Алешков Д.С. Теоретические закономерности влияния числа заходов и угла захода ленты фрезы на конструкцию питателя фрезерно-роторного снегоочистителя // VI Международная научно-практическая конференция: Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации. – Омск: СибАДИ, 2021. – С. 4-7.
5. Закиров М.Ф. Определение затрат мощности на привод фрезерного питателя малогабаритного снегоочистителя // *Механизация строительства*. – 2016. – Т. 77, № 10. – С. 53-56.
6. Aleshkov D.S., Sukovin M.V., Banket M.V., Bakunov A.S., Shapoval D.V. Experimental investigations of snow bank formation during milling and rotary snow blower operation // *Journal of Applied Engineering Science*. 2021, vol. 19, no 1, pp. 9-16. DOI:10.5937/jaes0-28018.
7. Абрамов Л.Н., Кустарев Г.В., Дудкин М.В., Молдаханов Б.А., Андрюхов Н.М. Определение рациональных параметров рабочего органа машины для зимнего содержания дорог // *Строительные и дорожные машины*. – 2021. – № 8. – С. 18-22.
8. Tonon D., Garcia E. Thermodynamic analysis of a spark ignition internal combustion engines by computational simulations // *International Review of Mechanical Engineering (IREME)*. 2018, vol. 12(8), pp. 705-713. DOI: <https://doi.org/10.15866/ireme.v12i8.15082>.
9. Hawashin D., Alkhateri M., Alnuaimi N., Saif F., Omer Z., Shareef H. Performance Evaluation of Recent Metaheuristic Optimization algorithms for photovoltaic system parameter extraction // *International Review of Electrical Engineering (IREE)*. 2021, vol. 16 (1), pp. 60-67. DOI: <https://doi.org/10.15866/iree.v16i1.18955>.
10. Boote D., Vergassola G., Pais T., Kramer M. Finite element structural analysis of big yacht superstructures // *International Review of Mechanical Engineering*. 2017, vol. 11(4), pp. 228-233. DOI: 10.15866/ireme.v11i4.9231.
11. Халафян А.А. STATISTICA6. Статистический анализ данных. – М.: ООО Бином-Пресс, 2007. – 512 с.
12. Dinc M., Evrensel C.A. Improving snow plowing safety and efficiency using computational and experimental approaches: Rear side of snow plow truck // *Cold Regions Science and Technology*. 2022, vol. 193, pp. 103375. DOI: 10.1016/j.coldregions.2021.103375.

References

1. Doudkin I. M., Kim A., Moldakhanov B., Kustarev G., Andryukhov N., Rogovsky V., Doudkina Y. Experimental Studies of the Physical Model of the Milling-Rotary Snow Cleaner // International Review of Mechanical Engineering (IREME). 2021, vol. 15, no. 9, pp. 453. DOI: 10.15866/ireme.v15i9.20952.
2. Krapivin A.B. A set of machines for winter maintenance of urban roads, sidewalks, yard areas // Bulletin of the Kharkov National Automobile and Road University. 2007, no. 38, pp. 93-94.
3. Aleshkov D.S., Sukovin M.V. Mathematical model of the operation of a vertical cutter when transporting snow mass // Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University. 2022, vol. 19, no. 1(83). pp. 24-35.
4. Aleshkov D.S. Theoretical regularities of the influence of the number of passes and the angle of entry of the cutter belt on the design of the feeder of the milling-rotor snowplow // VI International Scientific and Practical Conference: Architectural and construction and road transport complexes: problems, prospects, innovations. – Omsk: SibADI, 2021. – P. 4-7.
5. Zakirov M.F. Determination of power costs for the drive of a milling feeder of a small-sized snowplow // Construction Mechanization. 2016, vol. 77, no. 10, pp. 53-56.
6. Aleshkov D.S., Sukovin M.V., Banket M.V., Bakunov A.S., Shapoval D.V. Experimental investigations of snow bank formation during milling and rotary snow blower operation // Journal of Applied Engineering Science. 2021, vol. 19, no 1, pp. 9-16. DOI: 10.5937/jaes0-28018.
7. Abramov L.N., Kustarev G.V., Dudkin M.V., Moldakhanov B.A., Andryukhov N.M. Determination of rational parameters of the working body of the machine for winter road maintenance // Construction and road vehicles. 2021, no. 8, pp. 18-22.
8. Tonon D., Garcia E. Thermodynamic analysis of a spark ignition internal combustion engines by computational simulations // International Review of Mechanical Engineering (IREME). 2018, vol. 12(8), pp. 705-713. DOI: 10.15866/ireme.v12i8.15082.
9. Hawashin D., Alkhateri M., Alnuaimi N., Saif F., Omer Z., Shareef H. Performance Evaluation of Recent Metaheuristic Optimization algorithms for photovoltaic system parameter extraction // International Review of Electrical Engineering (IREE). 2021, vol. 16 (1), pp. 60-67. DOI: 10.15866/iree.v16i1.18955.
10. Boote D., Vergassola G., Pais T., Kramer M. Finite element structural analysis of big yacht superstructures // International Review of Mechanical Engineering. 2017, vol. 11(4), pp. 228-233. DOI: 10.15866/ireme.v11i4.9231.
11. Halafyan A.A. STATISTICA6. Statistical data analysis. – M.: OOO Binom-Press, 2007. – 512 p.
12. Dinc M., Evrensel C.A. Improving snow plowing safety and efficiency using computational and experimental approaches: Rear side of snow plow truck // Cold Regions Science and Technology. 2022, vol. 193, pp. 103375. DOI: 10.1016/j.coldregions.2021.103375.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Алешков Денис Сергеевич – кандидат технических наук, доцент	Aleshkov Denis Sergeevich – candidate of technical sciences, associate professor
Корчагин Павел Александрович – доктор технических наук, профессор	Korchagin Pavel Aleksandrovich – doctor of technical sciences, professor
Тетерина Ирина Алексеевна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела iateterina@mail.ru	Teterina Irina Alekseevna – candidate of technical sciences, senior researcher

Получена 13.09.2022