

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА КОНСТРУКЦИИ ПИТАТЕЛЯ РОТОРНОГО СНЕГООЧИСТИТЕЛЯ, ИСХОДЯ ИЗ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Д.С. Алешков, П.А. Корчагин, И.А. Тетерина[✉], Е.В. Хирьянов

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), г. Омск, Россия

Проектная деятельность в области машиностроения должна быть обеспечена наличием относительно простых соотношений, на основании которых можно делать выводы об эффективности, ресурсном состоянии или о вариантах применения рабочих органов строительно-дорожных машин. Наличие таких показателей дает возможность делать обоснованный выбор в пользу той или иной конструктивной схемы, геометрических и кинематических параметров рабочих органов машин, в том числе роторных снегоочистителей.

Таким образом, задача, поставленная при проведении исследования, в первую очередь, заключается в необходимости оценить возможность обоснования эффективности внедрения и применения каких-либо конструкторских решений на ранних стадиях проектирования машин, что, в свою очередь, подразумевает решение таких вопросов, как обоснование показателей, на основе которых будет даваться оценка об эффективности и описание механизма получения их расчетных значений.

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

Ключевые слова: снегоочиститель, ротор, снежный массив, питатель, эффективность, конструктивные параметры, технологические параметры.

Введение

Проведенные ранее исследования позволили сформировать ряд критериев высшего и низшего уровней, исходя из которых, можно судить об эффективности работы строительно-дорожной машины [1–3]. Из общей группы критериями высшего уровня можно считать: экономическую эффективность, удельную энергоемкость, потребляемую мощность и производительность. Кроме этого, введено понятие четвертого измерения – времени работы элемента рабочего оборудования, которое является неотъемлемой частью критериев высших иерархических уровней [2, 4, 5]. Использование критериев высшего иерархического уровня обладает существенным недостатком, связанным со сложностью их определения, а именно, с решением сложных уравнений динамики рабочего органа и большими затратами машинного времени, либо с существенной трудоемкостью при проведении экспериментальных исследований [1, 6].

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 формулах, которые в ряде случаев не позволяют оценить в полной мере роль того или иного параметра в общей эффективности питателя [7, 8].

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

Основная часть

Для суждения о степени эффективности конструкции питателя роторного снегоочистителя воспользуемся кинематическими уравнениями, описывающими движения произвольной точки кромки ленты фрезы горизонтального и вертикального питателя роторного снегоочистителя [9].

Расчет и конструирование

Данные уравнения представим в параметрическом виде в системе координат, представленной на рис. 1, 2 и 3 соответственно.

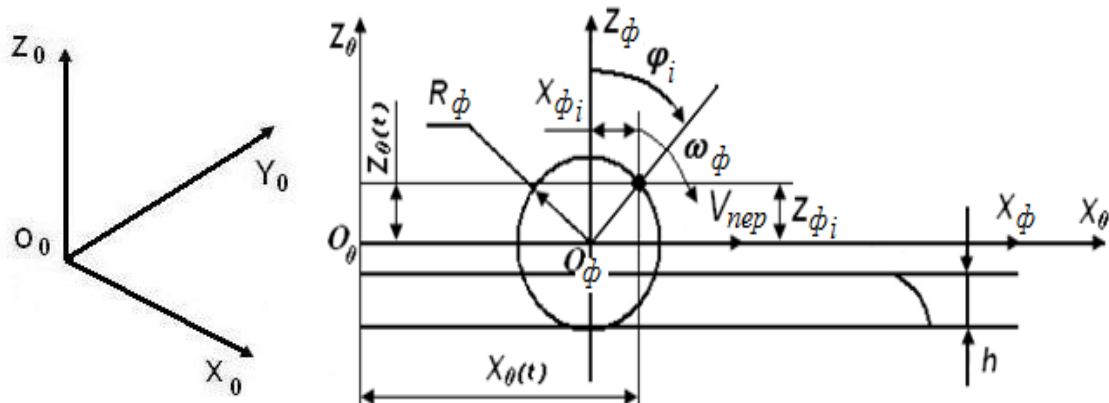


Рис. 1. Расчетная схема для определения траектории движения i -й точки фрезы в плоскости $X_0O_0Z_0$ (вид сбоку)

На расчетной схеме по определению траектории движения i -й точки фрезы в плоскости $X_0O_0Z_0$ (см. рис. 1): R_ϕ – радиус фрезы питателя; h – толщина снежного покрова; V_{nep} – 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 $X_\phi O_\phi Z_\phi$ [10–12].

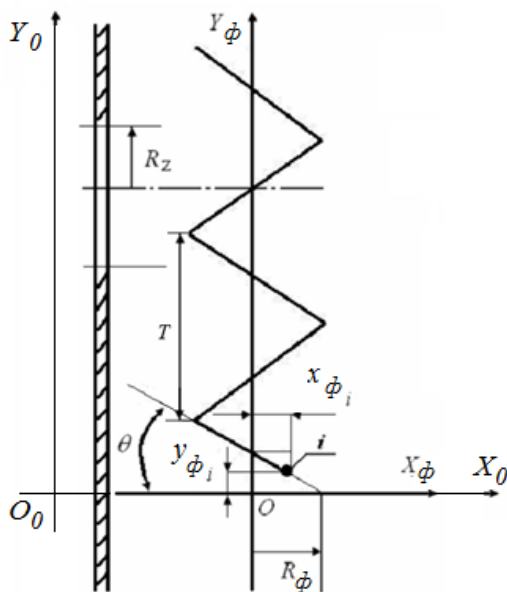


Рис. 2. Расчетная схема для определения траектории движения i -й точки фрезы в плоскости $X_0O_0Y_0$: θ – угол захода ленты фрезы, град; T – шаг винтовой линии ленты фрезы; R_z – радиус загрузочного окна

Уравнение траектории произвольной точки горизонтальной фрезы после ряда преобразований имеет вид [13, 14]:

$$x_{0i} = \frac{V_{nep} \cdot y_{0i}}{R \cdot \omega_\phi \cdot \operatorname{tg} \theta} + R \cdot \sin \left(\frac{y_{0i}}{R \cdot \omega_\phi \cdot \operatorname{tg} \theta} \right). \quad (1)$$

Соответственно, уравнение траектории движения наружной кромки вертикальной режущей полосы в плоскости $O_0X_0Y_0$ будет иметь вид:

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

Уравнение объема фрезы горизонтального питателя, полученное за счет известного свойства тройного интеграла, при интегрировании системы уравнений имеет вид [6]:

$$W_\phi = 4 \cdot \pi^2 \cdot h \cdot \operatorname{tg} \theta \cdot R_\phi \cdot \frac{V_{nep}}{n_3 \cdot \omega_\phi}, \quad (3)$$

где θ – угол захода ленты фрезы, град.

Аналогичный подход использован к вертикальной фрезе питателя роторного снегоочистителя. При этом определены пределы интегрирования:

1) ось x : нижний предел интегрирования равен 0; верхний предел интегрирования имеет вид [15]

$$\frac{V_{nep}}{\omega_\phi} \arccos \frac{y_{0i}}{R} + \sqrt{R^2 - y_{0i}^2}; \quad (4)$$

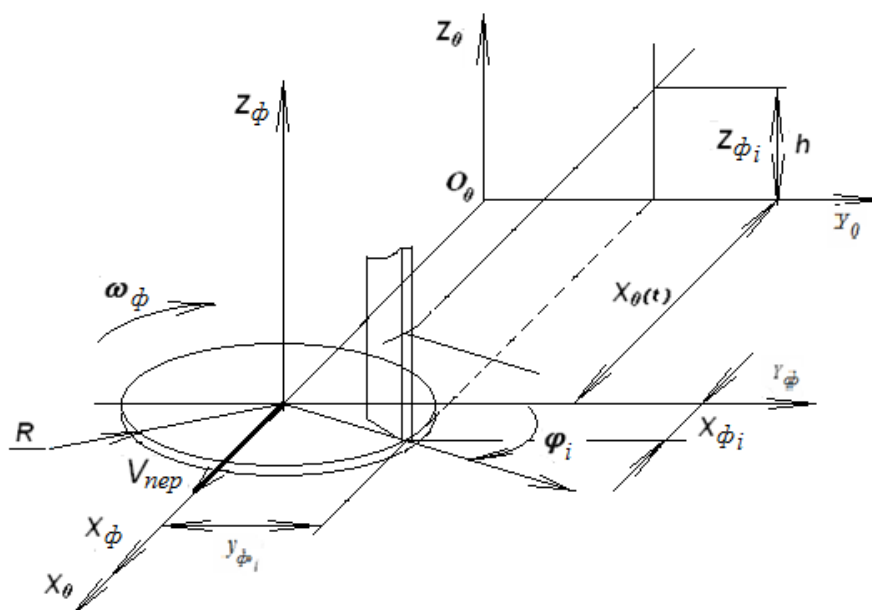


Рис. 3. Расчетная схема для определения траектории движения i -й точки фрезы в пространстве $X_0O_0Z_0$

2) ось y : нижний предел интегрирования (с учетом принятой системы координат для одной вертикальной фрезы) равен $-R$; верхний предел интегрирования, соответственно R ;

3) ось z : нижний предел интегрирования равен 0 ; верхний равен толщине снежного покрова, h .

В результате интегрирования теоретический объем W , который вырезает i -я вертикальная полоса вертикального питателя из снежного массива, определяется выражением

$$W = 4 \cdot \frac{V_{пер}}{\omega_{\phi}} \cdot \frac{\pi}{n} \cdot R \cdot h, \quad (5)$$

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

Сравнение формул вырезаемых объемов горизонтальным (3) и вертикальным (5) питателями показывает, что они равны при $\operatorname{tg}\theta = 1/\pi$, что соответствует углу захода ленты фрезы горизонтального питателя $\theta = 17,7^\circ$.

Из вышесказанного следует вывод о том, что при прочих равных условиях ($\theta > 17,7^\circ$) 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.

На рис. 4 представлена зависимость изменения вырезаемого объема от угла захода ленты горизонтальной фрезы θ и отношения $V_{пер}/\omega_{\phi}$, а также зависимость вырезаемого объема снежной массы вертикальным питателем от аналогичных параметров, при прочих равных условиях.

Вырезаемые объемы снежной массы определены в диапазонах поступательных скоростей роторного снегоочистителя и угловых скоростей вращения фрез, обеспечивающих выполнение условия, описанного в работах [15, 16].

На рис. 5 представлены графические зависимости вырезаемого объема снежной массы вертикальной и горизонтальной фрезами питателей роторного снегоочистителя

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

Исходя из уравнения траектории резания, возможно определить путь, который пройдет участок рабочего органа от момента захвата снежной массы до момента разгрузки [17].

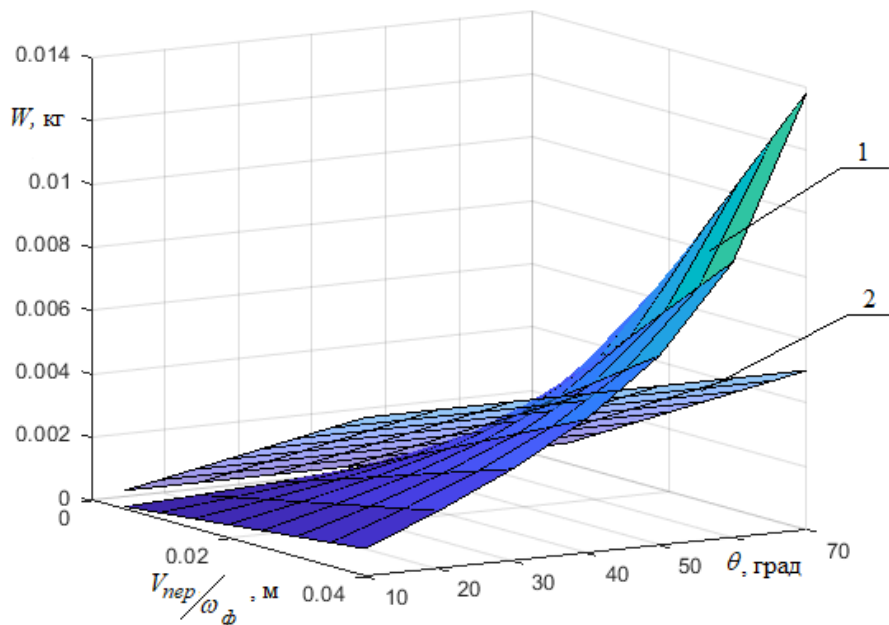


Рис. 4. Зависимость изменения вырезаемого объема снежной массы в зависимости от отношения $V_{пер}/\omega_{\phi}$, и угла захода, θ , ленты горизонтальной фрезы:
 1 – вырезаемый объем горизонтальной фрезой питателя, W_{ϕ} ;
 2 – вырезаемый объем вертикальной фрезой питателя роторного снегоочистителя,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

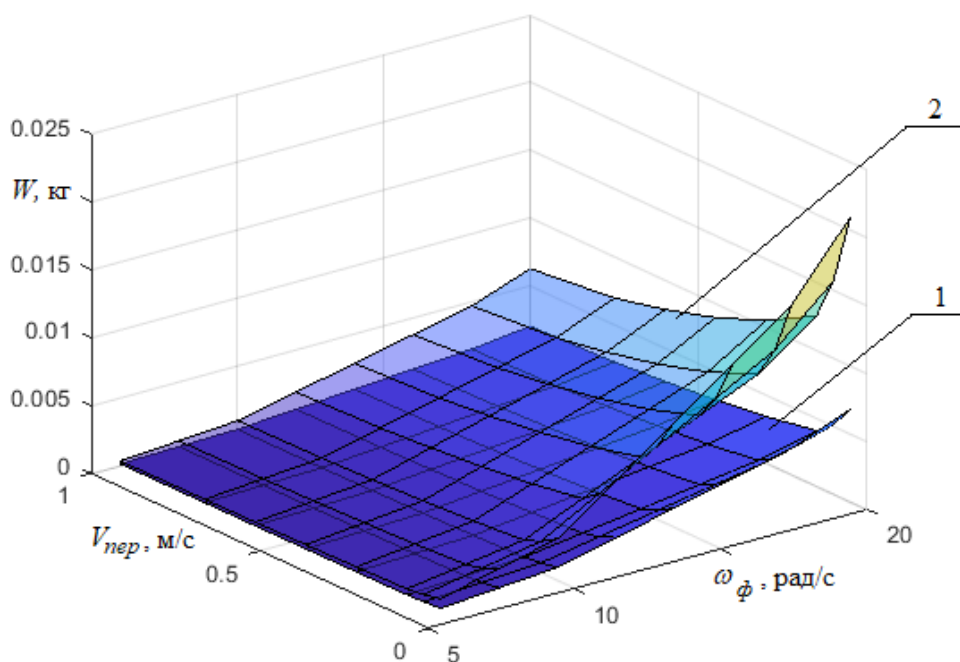


Рис. 5. Зависимость изменения вырезаемого объема снежной массы от поступательной скорости снегоочистителя, $V_{пер}$, и угловой скорости вращения, ω_{ϕ} , фрезы питателя, где: 1 – объем, вырезаемый горизонтальной фрезой, W_{ϕ} ;
 2 – объем, вырезаемый вертикальной фрезой, W

Соответственно, для вертикально фрезы питателя с нижним пределом интегрирования $t_1 = 0$ и верхним пределом интегрирования $t_2 = \pi/\omega_{\phi}$ получено:

$$L = \int_0^{\pi/\omega_{\phi}} \sqrt{\left(V_{пер} + R \cdot \omega_{\phi} \cdot \cos(\omega_{\phi} \cdot t)\right)^2 + \left(R \cdot \omega_{\phi} \cdot \sin(\omega_{\phi} \cdot t)\right)^2} dt. \quad (6)$$

Интеграл (6) может быть отнесен к эллиптическим интегралам второго рода с последующим выходом на сумму ряда. Последующие результаты были получены в результате численного интегрирования (6) в заданных пределах.

Длина траектории движения произвольной точки горизонтальной фрезы L имеет вид:

$$S = \int_0^{2\pi/\omega} \sqrt{V^2 + 2V\omega R \cos \omega t + \omega^2 R^2 \cos^2 \omega t + R^2 \cdot \omega^2 \cdot \text{tg}^2 \theta} dt \quad (7)$$

На рис. 6 представлены зависимости длины траекторий L вырезания снежной массы из снежного массива в зависимости от $V_{пер}$ и ω_{ϕ} .

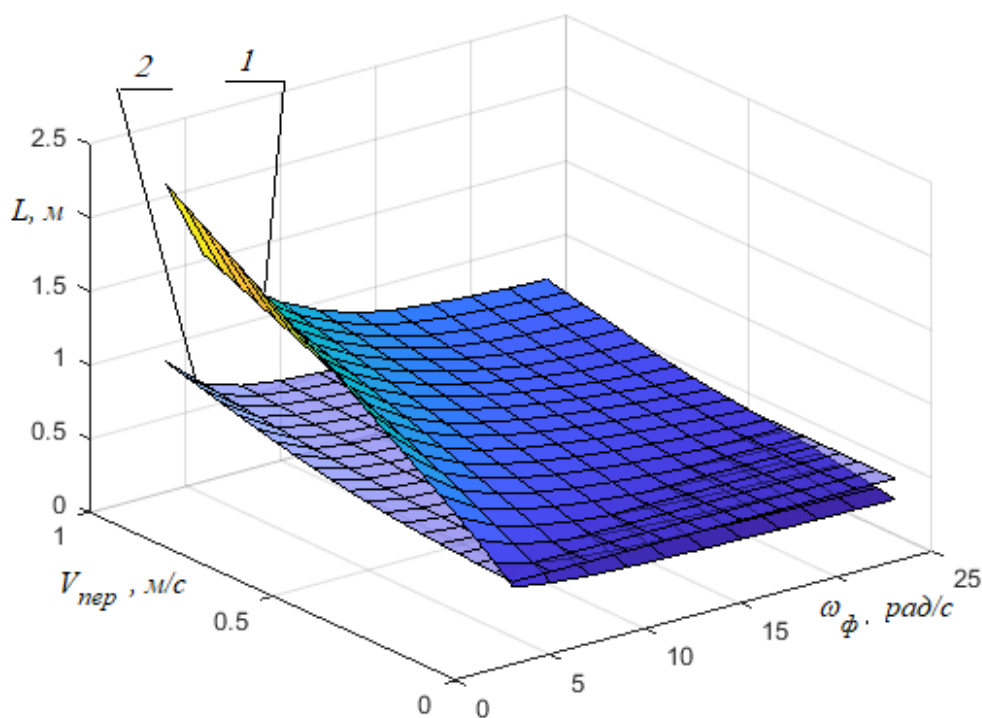


Рис. 6. Зависимость длины траекторий L вырезания снежной массы из снежного массива в зависимости от $V_{пер}$ и ω_{ϕ} :
1 – горизонтальная фреза; 2 – вертикальная фреза питателя роторного снегоочистителя

Из рис. 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 вращения фрезы. 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 [18].

Если учесть, что траектория движения произвольной точки вертикальной фрезы в горизонтальной плоскости эквивалентна траектории точки горизонтальной фрезы в вертикальной плоскости, можно распространить условие наличия точки пересечения траектории, полученное для горизонтальной фрезы, на выбор значений кинематических параметров вертикальной фрезы [19]:

$$R \geq \frac{V_{пер}}{\omega_{\phi}} \quad (8)$$

Также достаточно очевидным является условие того, что толщина вырезаемой снежной массы должна быть не меньше ширины ленты фрезы b_{ϕ} , т. е. период движения фрезы питателя в поступательном движении фрезерно-роторного снегоочистителя составляет не менее ширины ленты фрезы. При больших значениях толщины вырезаемой снежной массы будут возрастать ее по-

Расчет и конструирование

тери в питателе при транспортировании к загрузочному окну. С учетом вышесказанного получено выражение

$$b_{\phi} \leq 2\pi \frac{V_{пер}}{\omega_{\phi}}. \quad (9)$$

Выражение (9) дает возможность определить нижнюю границу соотношения кинематических параметров питателя роторного снегоочистителя, ниже которой питатель не будет загружен в полном объеме.

Представляет определенный интерес совместное рассмотрение условий (8), (9) и границ эквивалентных длин траекторий вырезания снежной массы горизонтальной и вертикальной фрезой питателя роторного снегоочистителя с позиций определения областей приемлемости той или иной конструктивной схемы питателя.

На рис. 7 представлены границы областей значений $V_{пер}$ и ω_{ϕ} , ниже которых длина траектории вырезания снежной массы горизонтальной фрезой питателя роторного снегоочистителя превышает длину траектории вырезания вертикальной фрезой, вычисленная для $R = 0,15$ м и $R = 0,3$ м.

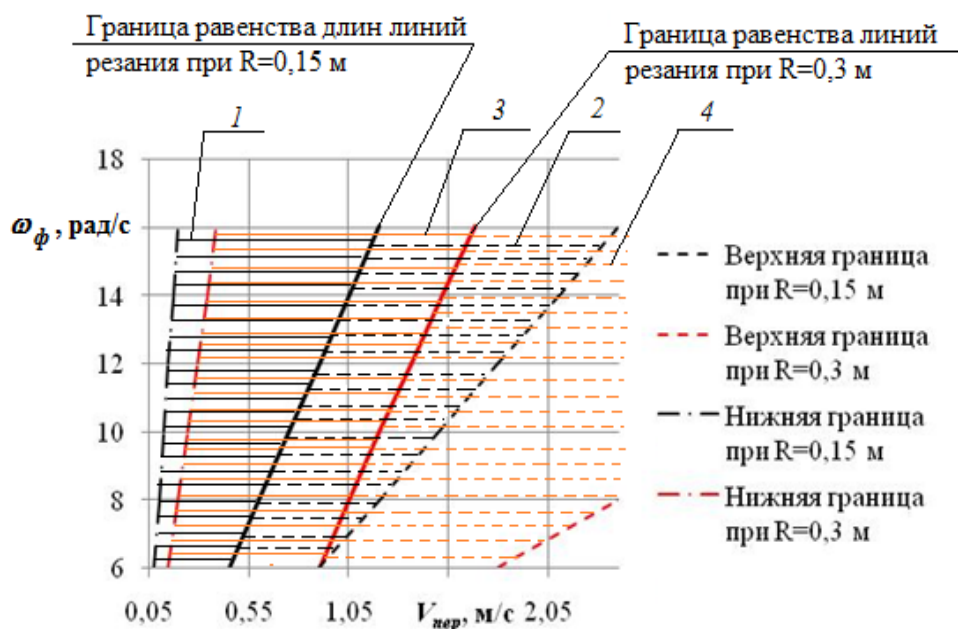


Рис. 7. Области соотношений кинематических параметров $V_{пер}$ и ω_{ϕ} , обеспечивающих выполнение условий относительно границы равной длины траекторий резания

Кроме прочего, на рис. 7 представлены области соотношений $V_{пер}$ и ω_{ϕ} , удовлетворяющих выражениям (8), (9):

1 – рекомендуемая область соотношений кинематических параметров $V_{пер}$ и ω_{ϕ} , обеспечивающих выполнение условий выражений для горизонтальной фрезы $R = 0,15$ м, длиной линии резания меньшей, чем у вертикальной фрезы;

2 – рекомендуемая область соотношений кинематических параметров $V_{пер}$ и ω_{ϕ} , обеспечивающих выполнение условий выражений для вертикальной фрезы $R = 0,15$ м, длиной линии резания меньшей, чем у горизонтальной фрезы;

3 – рекомендуемая область соотношений кинематических параметров $V_{пер}$ и ω_{ϕ} , обеспечивающих выполнение условий выражений для горизонтальной фрезы $R = 0,3$ м, длиной линии резания меньшей, чем у вертикальной фрезы;

4 – рекомендуемая область соотношений кинематических параметров $V_{пер}$ и ω_{ϕ} , обеспечивающих выполнение условий выражений для вертикальной фрезы $R = 0,3$ м, длиной линии резания меньшей, чем у горизонтальной фрезы [20].

Уравнения регрессии траекторий вырезания равной длины имеют вид:

– при $R = 0,15$ м:

$$\omega_{\phi} = 13,33 \cdot V_{\text{пер}}, \quad (10)$$

– при $R = 0,3$ м:

$$\omega_{\phi} = 12,79 \cdot V_{\text{пер}} - 5,44. \quad (11)$$

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

Рекомендуемой областью выбора кинематических параметров $V_{\text{пер}}$ и ω_{ϕ} для горизонтальной фрезы питателя является область, ограниченная условием (9) и границей равенства линий резания.

Для вертикальной фрезы рекомендуемой областью выбора значений $V_{\text{пер}}$ и ω_{ϕ} является область, ограниченная границей равенства линий резания – снизу и условием (8) – сверху.

Представленная граница равных длин траекторий вырезания снежной массы для вертикального 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.

Дополнительно необходимо отметить, что с увеличением радиуса фрезы R граница равенства линий резания смещается в сторону увеличения значений кинематических параметров $V_{\text{пер}}$ и ω_{ϕ} питателя, а сами диапазоны варьирования параметров $V_{\text{пер}}$ и ω_{ϕ} становятся шире.

Заключение

Сравнение теоретических значений вырезаемых объемов горизонтальной и вертикально расположенной фрезами 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 как для вертикального, так и для горизонтального ее расположения позволяют определить продолжительность взаимодействия транспортируемой снежной массы и рабочего оборудования от момента ее захвата до момента ее разгрузки. Установлено, что существует область значений $V_{\text{пер}}$ и ω_{ϕ} , в которой длина траектории вырезания снежной массы для горизонтальной фрезы меньше длины траектории вырезания для вертикальной фрезы. Увеличение значений $V_{\text{пер}}$ 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.

Благодарность

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

Литература

1. Баловнев В.И., Данилов Р.Г. Роторные снегоочистители // *Строительные и дорожные машины*. 2019. № 6. С. 10–20.
2. Denisova L., Meshcheryakov V. Predictor-based adaptive control system with stability analysis // *IFAC-Papers On Line*. 2019. № 52(13). С. 486–491. DOI: 10.1016/j.ifacol.2019.11.110.
3. Gerling B., Herwijnen van Alec, Löwe H. Measuring the Elastic Modulus of Snow. // *Geophysical Research Letters*. 2017. С. 44. DOI: 10.1002/2017GL075110.
4. Ovsyannikov V., Nekrasov R., Putilova U., Il'yaschenko D., Verkhoturova E. On the issue of automatic form accuracy during processing on CNC machines // *Revista Facultad de Ingenieria*. 2022. № 103. С. 88–95. DOI: 10.17533/udea.redin.20201111.
5. Du Sen, Petrie John, Shi Xianming Use of Snow Fences to Reduce the Impacts of Snowdrifts on Highways: Renewed Perspective // *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2017. Vol. 2613. P. 45–51. DOI: 10.3141/2613-06.

6. Boote D., Vergassola G., Di Matteo V. *Strength Analysis of Superyacht Superstructures with Large Openings // International Review of Mechanical Engineering (IREME)*. 2017. Vol. 11 (1). P. 1–9. DOI: 10.15866/ireme.v11i1.9289.
7. 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.
8. 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.
9. Bobillier G., Bergfeld B., Capelli A., Dual J., Gaume J., Herwijnen van Alec and Schweizer J. *Micromechanical modeling of snow failure // The Cryosphere*. 2020. № 14. P. 39–49. DOI: 10.5194/tc-14-39-2020.
10. Denisova L. A., Meshcheryakov V. A. *Control systems design: the technology of stochastic perturbations simulation // Journal of Physics: Conference Series*. 2018. Vol. 1050, № 1. С. 012020. DOI: 10.1088/1742-6596/1050/1/012020.1.
11. Kang L., Zhou X., Hooff T., Blocken B., Gu M. *CFD simulation of snow transport over flat, uniformly rough, open terrain: Impact of physical and computational parameters // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2018. № 177. С. 213–226. DOI: 10.1016/j.jweia.2018.04.014.
12. Mikheyev V.V. *Generator of periodic inertia force concentrated in one direction // Journal of Physics: Conference Series. XIII International Scientific and Technical Conference "Applied Mechanics and Systems Dynamics"*. 2020. С. 012106. DOI: 10.1088/1742-6596/1441/1/012106.
13. 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.
14. 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.
15. Azieva L.D. *Examples of solving problems for the heat equation in Matlab // Trends in the development of science and education*. 2020. С. 8–11. DOI: 10.18411/lj-07-2020-23.
16. Bartenev I., Malyukov S., Malyukova M. *Forest fire extinguishing: theoretical study of the screw drum parameter influence on the efficiency of a forest fire soil-sweeping machine // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. № 595. С.012013. DOI: 10.1088/1755-1315/595/1/012013.
17. Баловнев В.И., Данилов Р.Г. *Снегопогрузчики // Строительные и дорожные машины*. 2020. № 1. С. 3–9.
18. Aleshkov D.S., Sukovin M.V. *Aerodynamic characteristics of the milling and rotary snowblower feeder in the loading gate area // International Review of Mechanical Engineering*. 2017. T. 11. № 9. С. 701–708. DOI: 10.15866/ireme.v11i9.13832.
19. Carbone A., Chiaia B. M., Frigo B., Turk C. *Multi-scale modeling of snow microstructure // Journal for Multiscale Computational Engineering*. 2013. №11(2). С. 177–184. DOI: 10.1615/IntJMultCompEng.2012001697.
20. Vasilyev V., Ovsyannikov V., Kovalev R. *Optimization of vehicle diagnostic algorithms at equipment design // Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. T. 1115. С. 677–684. DOI: 10.1007/978-3-030-37916-2_66.

Алешков Денис Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизация и энергетическое машиностроение», Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), г. Омск, denisaleshkov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4204-7221>

Корчагин Павел Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры «Общобразовательные дисциплины», Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), г. Омск, korchagin_pa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8936-5679>

Тетерина Ирина Алексеевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела, Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), г. Омск, iateterina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8012-8511>

Хирьянов Евгений Викторович, аспирант очной формы обучения, Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), г. Омск, hiryanove@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-5754-2400>

Поступила в редакцию 24 апреля 2023 г.

DOI: 10.14529/engin230204

THE FEEDER OF A ROTARY SNOWBLOWER BASED ON THE OPERATING CONDITIONS

D.S. Aleshkov, denisaleshkov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4204-7221>
P.A. Korchagin, korchagin_pa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8936-5679>
I.A. Teterina[✉], lateterina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8012-8511>
E.V. Khiryaynov, hiryaynove@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-5754-2400>

Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russian Federation

This paper assesses the introduction and application of design solutions at the early stages of snowblower design. Analytical expressions were obtained for the volumes of snow mass cut by the horizontal and vertical cutters of the rotary snowplow feeder. The time of transporting the cut snow mass was estimated. The influence of the design and technological parameters on the size of the cut snow mass and the time of its transportation is shown. The results show the range of values 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, snow mass, rotary snowplow feeder, efficiency, design parameters, technological parameters.

References

1. Balovnev V.I., Danilov R.G. [Rotary Snow Blowers]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny* [Construction and road machines]. 2019. Vol. 6. P. 10–20. (in Russ.)
2. Denisova L., Meshcheryakov V. Predictor-based adaptive control system with stability analysis. *IFAC-Papers On Line*. 2019. Vol.52(13). P. 486–491 DOI: 10.1016/j.ifacol.2019.11.110.
3. Gerling B., Herwijnen van Alec, Löwe H. Measuring the Elastic Modulus of Snow. *Geophysical Research Letters*. 2017. P. 44. DOI: 10.1002/2017GL075110.
4. Ovsyannikov V., Nekrasov R., Putilova U., Il'yaschenko D., Verkhoturova E. On the issue of automatic form accuracy during processing on CNC machines. *Revista Facultad de Ingenieria*. 2022. № 103. C. 88–95. DOI: 10.17533/udea.redin.20201111
5. Du Sen, Petrie John, Shi X. Use of Snow Fences to Reduce the Impacts of Snowdrifts on Highways: Renewed Perspective. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2017. Vol. 2613. P. 45–51. DOI: 10.3141/2613-06.
6. Boote D., Vergassola G., Di Matteo V. Strength Analysis of Superyacht Superstructures with Large Openings. *International Review of Mechanical Engineering (IREME)*. 2017. Vol. 11 (1). P. 1–9. DOI: 10.15866/ireme.v11i1.9289.
7. Trofimova I.F., Balovnev V.I. [A Plow Snow Plow for High-Speed Cleaning of Roads from Snow]. *Tehnologija kolesnyh i gusenichnyh mashin [Technology of wheeled and tracked vehicles]*. 2015. Vol. 4. P. 49–55. (in Russ.)
8. Dudkin M. V., Kim A. I., Moldahanov B. A., Rogovskij V.V. [Determination of Efforts on the Working Body of a Milling Rotary Snowplow]. *Trudy universiteta [Proceedings of the University]*. 2022. Vol. 2(87). P. 16–22. DOI: 10.52209/1609-1825_2022_2_16. (in Russ.)
9. Bobillier G., Bergfeld B., Capelli A., Dual J., Gaume J., Herwijnen van Alec and Schweizer J. Micromechanical modeling of snow failure. *The Cryosphere*. 2020. Vol. 14. P. 39–49. DOI: 10.5194/tc-14-39-2020.

10. Denisova L.A., Meshcheryakov V.A. Control systems design: the technology of stochastic perturbations simulation. *Journal of Physics: Conference Series*. 2018. Vol. 1050, Vol. 1. P. 012020. DOI: 10.1088/1742-6596/1050/1/012020.1.
11. Kang L., Zhou X., Hooff T., Blocken B., Gu M. CFD simulation of snow transport over flat, uniformly rough, open terrain: Impact of physical and computational parameters. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2018. Vol. 177. P. 213–226. DOI: 10.1016/j.jweia.2018.04.014.
12. Mikheyev V.V. Generator of periodic inertia force concentrated in one direction. *Journal of Physics: Conference Series. XIII International Scientific and Technical Conference “Applied Mechanics and Systems Dynamics”*. 2020. P. 012106. DOI: 10.1088/1742-6596/1441/1/012106.
13. Dudkin M.V., Moldahanov B.A., Bugaev A.B. [Classification of Methods for Improving the Efficiency of Feeders for Screw and Milling Rotary Snowplows]. *Vestnik Vostochno-Kazahstanskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta im. D. Serikbaeva [Bulletin of the East Kazakhstan State Technical University. D. Serikbaeva]*. 2022. Vol. 2. P. 67–70. DOI 10.51885/1561-4212_2022_2_64. (in Russ.)
14. Plotnikova V.A., Kaljonov K.A., Zaharov D.P. [Review of Rotary Type Snowplows]. *Avtomatizirovannoe proektirovanie v mashinostroenii [Computer-aided design in mechanical engineering]*. 2022. No. 13. P. 43–47. DOI: 10.26160/2309-8864-2022-13-43-47. (in Russ.)
15. Azieva L.D. Examples of solving problems for the heat equation in Matlab. *Trends in the development of science and education*. 2020. P. 8–11. DOI: 10.18411/lj-07-2020-23.
16. Bartenev I., Malyukov S., Malyukova M. Forest fire extinguishing: theoretical study of the screw drum parameter influence on the efficiency of a forest fire soil-sweeping machine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 595. P. 012013. DOI: 10.1088/1755-1315/595/1/012013.
17. Balovnev V.I., Danilov R.G. [Snow Loaders]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny [Construction and road machines]*. 2020. Vol. 1. P. 3–9. (in Russ.)
18. Aleshkov D.S., Sukovin M.V. Aerodynamic characteristics of the milling and rotary snowblower feeder in the loading gate area. *International Review of Mechanical Engineering*. 2017. Vol. 11. No. 9. P. 701–708. DOI: 10.15866/ireme.v11i9.13832.
19. Carbone A., Chiaia B. M., Frigo B., Turk C. Multi-scale modeling of snow microstructure. *Journal for Multiscale Computational Engineering*. 2013. Vol. 11(2). P. 177–184. DOI: 10.1615/IntJMultCompEng.2012001697.
20. Vasilyev V., Ovsyannikov V., Kovalev R. Optimization of vehicle diagnostic algorithms at equipment design stage. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. Vol. 1115. P. 677–684. DOI: 10.1007/978-3-030-37916-2_66.

Received 24 April 2023

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Обоснование выбора конструкции питателя роторного снегоочистителя, исходя из условий эксплуатации / Д.С. Алешков, П.А. Корчагин, И.А. Тетерина, Е.В. Хирьянов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2023. – Т. 23, № 2. – С. 39–48. DOI: 10.14529/engin230204

FOR CITATION

Aleshkov D.S., Korchagin P.A., Teterina I.A., Khiryakov E.V. The feeder of a rotary snowblower based on the operating conditions. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2023, vol. 23, no. 2, pp. 39–48. (in Russ.) DOI: 10.14529/engin230204
