

УДК 625.768.5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТОРЦЕВОЙ ФРЕЗЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ ДОРОГ

Горшков А.С., Кулепов В.Ф., Никандров И.С., Малыгин А.Л., Шурашов А.Д.

Дзержинский политехнический институт Нижегородского государственного технического университета, Дзержинск, Россия (606029, Нижегородская обл., г. Дзержинск, ул. Гайдара, 49), e-mail: gorshkov_as@mail.ru

Предложена новая конструкция торцевой фрезы с клиновыми резцами, закрепленными к торцевой фрезе на гибких подвесах из отрезка стального каната. Определены параметры взаимодействия фрезы с разрабатываемой наледью прибордюрной зоны дорог и городских улиц. Определяющими факторами являются толщина наледи (20 ÷ 120 мм) и скорость движения льдоуборочной машины, равная 0,5 ÷ 2 км/час. Определяемыми параметрами работы фрезы являются: ширина клина резца, угол наклона оси фрезы, производительность фрезы, суммарный момент сил сопротивления резанию, мощность на валу фрезы. Получены уравнения расчета параметров работы фрезы. Коэффициент неравномерности нагрузки с изменением угла наклона оси фрезы от 2 до 42 градусов снижается с 4 до 1,8. При дальнейшем увеличении угла неравномерность нагружения резцов вновь возрастает. Для температуры от – 5 до – 15°С удельное сопротивление резанию наледи для оптимальных условий равно 180 Н/м. Приведены коэффициенты учета неравномерности хода машины, неоднородности состава, температуры и высоты слоя наледи.

Ключевые слова: наледь, резание, торцевая фреза, производительность, очистка.

DETERMINATION OF THE PARAMETERS OF THE FACE MILLING CUTTER FOR ROAD CLEANING

Gorshkov A.S., Kulepov V.F., Nikandrov I.S., Maligin A.L., Shurashov A.D.

Dzerzhinsky Polytechnic Institute of Nizhny Novgorod State Technical University. Dzerzhinsk, Russia (606029, Dzerzhinsk, Gaydarst, 49), e-mail: gorshkov_as@mail.ru

The new design of the face milling cutters with wedge cutters, fixed to the face milling cutters on a flexible rod of the segment of the wire rope. The parameters of interaction face milling cutters with destructible road ice area near curbstone roads and city streets. The determining factors are the thickness of the road ice (20 ÷ 120 mm) and the velocity of the road sweeper, of 0.5 ÷ 2 km/h. Determinable parameters of the cutter are: width of the wedge cutter, angle cutter axis, milling performance, the total moment of forces of resistance to cutting, shaft power cutters. Were obtained equations of calculation of working parameters cutters. Uneven load ratio when the angle of inclination of the axis of the cutter 2 to 42 degrees is reduced from 4 to 1.8. At the further increase of the angle of inclination of the axis milling uneven loading on the cutters increases again. For temperatures from - 5 to -15 degrees specific resistance to cutting road ice for optimal conditions is 180 N/m. Coefficients of the accounting of unevenness of a course of the car, heterogeneity of structure, temperature and height of a layer of road ice are presented.

Keywords: road ice, face milling cutters, cut, cutter, sweeper.

Очистка прибордюрной зоны дорожного полотна является наиболее трудоемкой операцией поддержания необходимого для обеспечения безопасности движения в осенне-зимний период. Наиболее эффективно очистка прибордюрных зон от наледи достигается при использовании оборудования для механического срезания наледи, к которому относятся торцевые фрезы с режущими рабочими органами [1–3]. Предложена новая конструкция торцевой фрезы с клиновыми резцами, закрепленными к торцевой фрезе на гибких подвесах из отрезка стального каната [4].

Цель работы

Разработка математической модели торцевой фрезы с клиновыми резцами для определения основных параметров работы фрезы: требуемая ширина клина резца, угол наклона оси фрезы, производительность и суммарный момент сил сопротивления резанию.

Экспериментальная часть

Торцевая дисковая фреза имеет следующие основные параметры, принятые для определения параметров работы:

D_ϕ – диаметр фрезы по внешним краям резцов;

z – число резцов на диске фрезы;

φ – угол расстановки резцов, $\varphi = 2\pi/z$;

b – ширина резца;

α – угол заточки резца;

β – угол скоса режущей кромки резца к радиусу расстановки резцов;

l_p – длина режущей кромки клина резца.

Условия взаимодействия фрезы с разрабатываемой наледью характеризуются:

h – высотой слоя наледи;

V_p – линейной скоростью резания;

L – скоростью движения льдоуборочной машины или скоростью подачи фрезы на разрабатываемый массив;

γ – углом между касательной в точке расстановки резцов и перпендикуляром к диаметру фронта резки наледи;

Δl – путем перемещения машины за 1 оборот фрезы;

S – толщиной срезаемого слоя наледи по ходу движения;

l_T – длиной подвесов крепления клинового резца;

m – число подвесов крепления одного резца.

Разрабатываемая наледь как среда взаимодействия с резцами характеризуется следующими свойствами [5]:

C_σ – доля воды в песчано-ледяной наледи;

ρ – средняя плотность материала наледи;

ρ_m – насыпная плотность массы взрыхленного материала наледи.

Скорость движения льдоуборочной машины принимают равной $0,5 \div 2$ км/час.

Результаты и их обсуждение

Вырезкой образцов кернов наледи в прибордюрной зоне уличного дорожного полотна показано [5], что толщина наледи и снежного наката меняется в пределах $20 \div 120$ мм. Толщина смерзшегося грязе-ледового слоя, прилежащего к асфальтобетону, равна $15 \div 35$ мм.

При наклоне оси приводного вала фрезы к очищаемой поверхности на угол δ (рисунок 1) толщина слоя, срезаемого каждым резцом, постепенно возрастает на величину $\left[\frac{h_1}{2}(1 - \sin\gamma)tg\delta \right]$, при одновременном уменьшении толщины стружки на величину $[\Delta l(1 - \sin\gamma)]$.

Тогда производительность резки наледи одним резцом (G'_t) равна:

$$G'_t = S \cdot h_x \cdot l_t \cdot \rho_x \quad (1)$$

Где S – толщина срезаемого слоя наледи по ходу машины, м;

h_x – высота срезаемого слоя наледи по вертикали, м;

ρ_x – средняя плотность материала срезаемого слоя, $\rho_x = 330 \div 1700 \text{ кг/м}^3$.

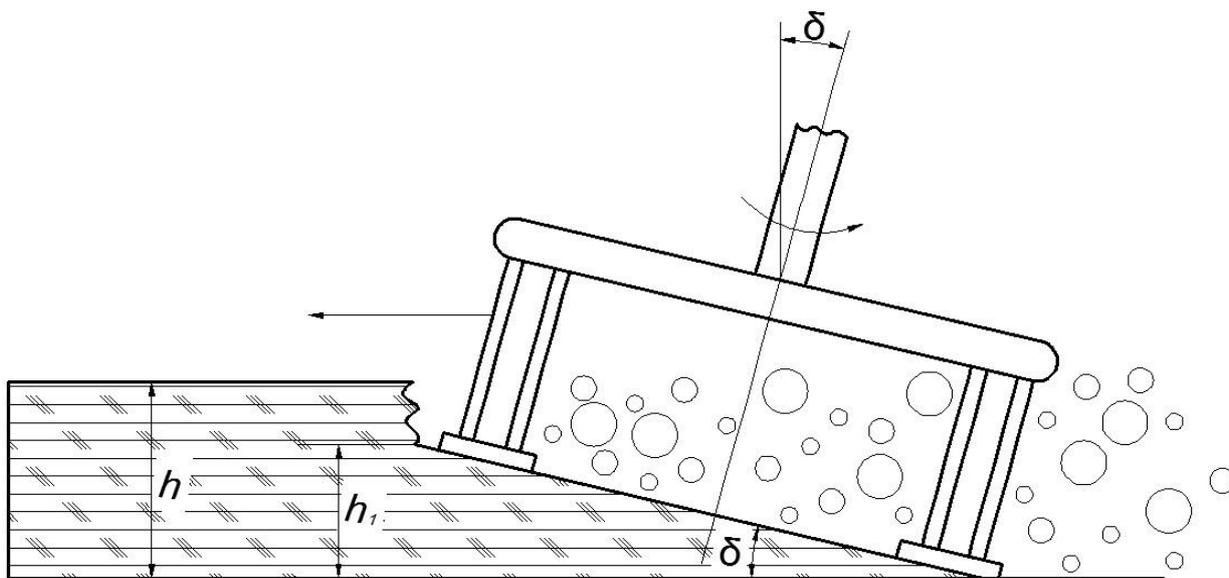


Рисунок 1. Схема резания наледи наклонной фрезой

При вращении диска фрезы на угол $d\varphi$

$$G'_t = \Delta l \sin\gamma \left[h - h_1 + \frac{h_1}{2}(1 - \sin\gamma)tg\delta \right] \cdot \frac{\pi D_\Phi}{z} \cdot \rho_x d\varphi \quad (2)$$

где $d\varphi$ – угловой шаг расстановки резцов на диске фрезы ($z = 21$, $\varphi = 17^\circ 8' 24''$).

При толщине слоя наледи 120 мм и средней плотности слоя $\rho_x = 660 \text{ кг/м}^3$ экспериментально определенная производительность резцов меняется при повороте фрезы на угол φ от 0 до 0,12 кг. Средняя производительность резцов равна 0,03 кг. Коэффициент неравномерности нагрузки на резцы (k) равен:

$$k = \frac{dG_{tmax}}{dG_{tcp}} = \frac{0,12}{0,03} = 4 \quad (3)$$

При увеличении угла наклона диска торцевой фрезы на δ , как видно из рисунка 2, равный 4,2 градуса, коэффициент неравномерности уменьшается до 1,8. При дальнейшем увеличении угла наклона до 6 градусов и более, коэффициент неравномерности нагружения резцов (k) вновь растет. Для $\delta = 6^\circ$ он равен 3,2. Это связано с тем, что часть резцов, выходя

за дневную поверхность слоя наледи, не несет нагрузку, и работа резания выполняется оставшимися в работе резцами, проходящими срезаемый слой.

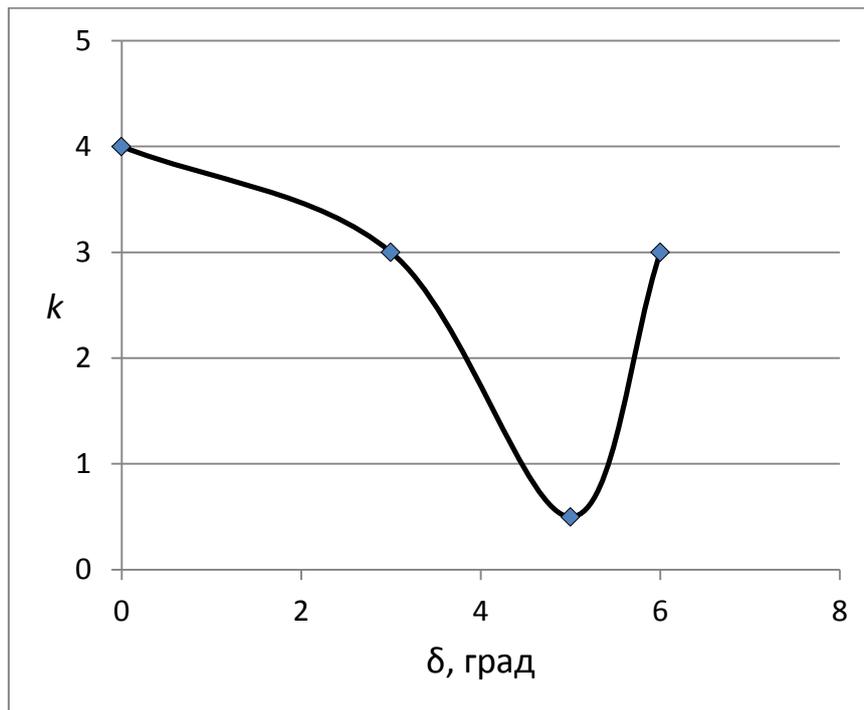


Рисунок 2. Влияние угла наклона плоскости резания фрезы (δ) на равномерность нагружения резцов (k) торцевой фрезы

Оптимальное нагружение резцов достигается для фрезы с диаметром диска 800 мм при $\delta = 4 \div 4,5^\circ$, а для диска диаметром 1200 мм при $\delta = 3,5 \div 4^\circ$. Производительность фрезы за её один оборот составляет:

$$G_1 = \int_{\varphi}^{360} \Delta G'_t d\varphi = \Delta l \sin \gamma \left[h - h_1 + \frac{h_1}{2} (1 - \sin \gamma) \operatorname{tg} \delta \right] \cdot \frac{\pi D_\phi}{z} \cdot \rho_{cp} \cdot \frac{360}{d\varphi} \quad (4)$$

Она может быть определена по средней нагрузке:

$$G_1 = \frac{\Delta G'_{tcp} \cdot 360 \cdot z}{d\varphi} = \Delta G'_{tcp} \cdot z^2 \quad (5)$$

Часовая производительность фрезы:

$$G_\phi = D_\phi \cdot L \cdot h \cdot \rho_{cp} = 60 D_\phi \cdot \Delta l \cdot h \cdot \rho_{cp} \cdot i \quad (6)$$

Необходимая ширина клина резца равна:

$$b = \frac{1000 L \cdot k_1 k_2}{60 \cdot i \cdot z} \quad (7)$$

Она обратно пропорциональна числу резцов размещенных на диске фрезы (рисунок 3)

Здесь k_1 – коэффициент неравномерности хода машины ($k_1 = 1,25$);

k_2 – коэффициент неоднородности состава наледи ($k_2 = 1,5$).

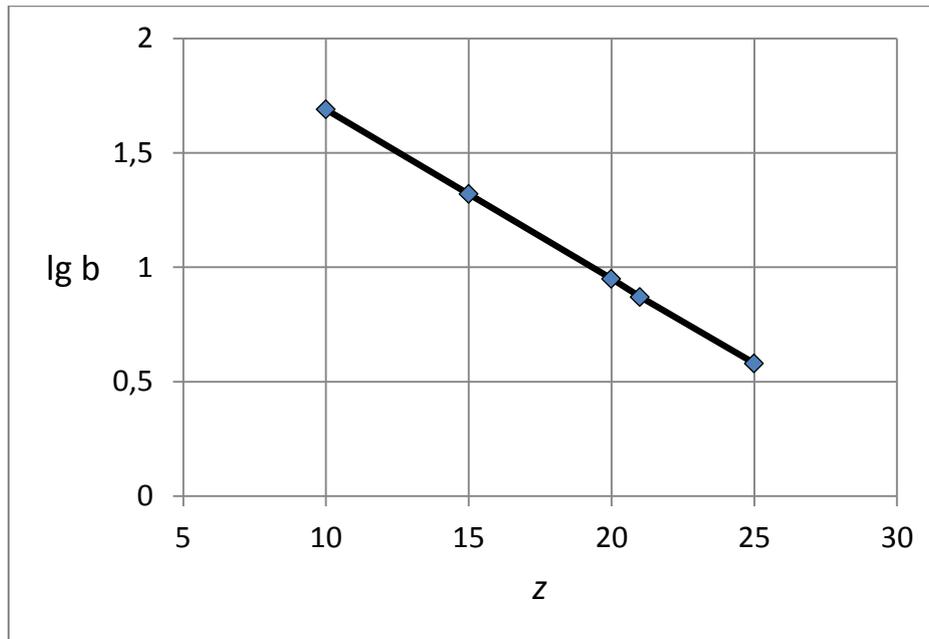


Рисунок 3. Влияние числа резцов (z) торцевой фрезы на ширину реза (b , см)

Суммарный момент сил сопротивления резанию ($\sum M_i$) равен:

$$\sum M_i = M_p + M_{тс} + M_{тб} + M_{тм} \quad (8)$$

где M_p – момент сил сопротивления резанию наледи;

$M_{тс}$ – момент сил трения материала наледи по стали поверхности резцов и их подвесов;

$M_{тб}$ – момент сил трения материала по бетону дорожного покрытия;

$M_{тм}$ – момент сил внутреннего трения частиц наледи.

В среднем момент сил сопротивления резанию наледи равен:

$$M_p = q \cdot \Delta l \cdot z/2 \cdot l_n \cdot \mu_{ст} \quad (9)$$

где q – удельное сопротивление резанию наледи, $q = 180 \div 280$ Н/м;

$\mu_{ст}$ – коэффициент трения материала наледи по стали.

$$M_{тс} = F \cdot \mu_{ст} \cdot 2z/\pi D_\phi \cdot q \cdot b \frac{(1-\sin\alpha)+1}{2} \quad (10)$$

где F – площадь поверхностей реза, участвующих в трении с материалом.

$$M_{тс} = q \cdot 2z/\pi D_\phi \left(l_p \cdot b^2 + \frac{l_k b^2}{\cos\alpha} + \pi d_T b l_T \right) (1 - 0,5\sin\alpha) \cdot \mu_{ст} \quad (11)$$

здесь d_T – диаметр троса подвеса реза.

$$M_{тб} = 9,8 \frac{\pi D_\phi^2}{4} b \cdot h_{вс} \cdot \rho_m \cdot \mu_B \cdot k_3 \quad (12)$$

где $h_{вс}$ – высота взрыхленного слоя материала наледи, м;

ρ_m – насыпная масса взрыхленного материала наледи, т/м³;

k_3 – доля поверхности, очищенной до асфальта; ($k_3 = 0,33$);

$$M_{тм} = \pi D_\phi^2 \cdot b \cdot h_{вс} \cdot \mu(1 - k_4) \quad (13)$$

где μ – коэффициент внутреннего трения взрыхленного материала.

Производительность по убранной массе наледи:

$$Q = D_{\phi} \cdot L \cdot h_{cp} \cdot \rho_{cp} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \quad (14)$$

где k_4 – коэффициент неравномерности высоты наледи, $k_4 = 1,7$.

Работа резания и дробления наледи равна:

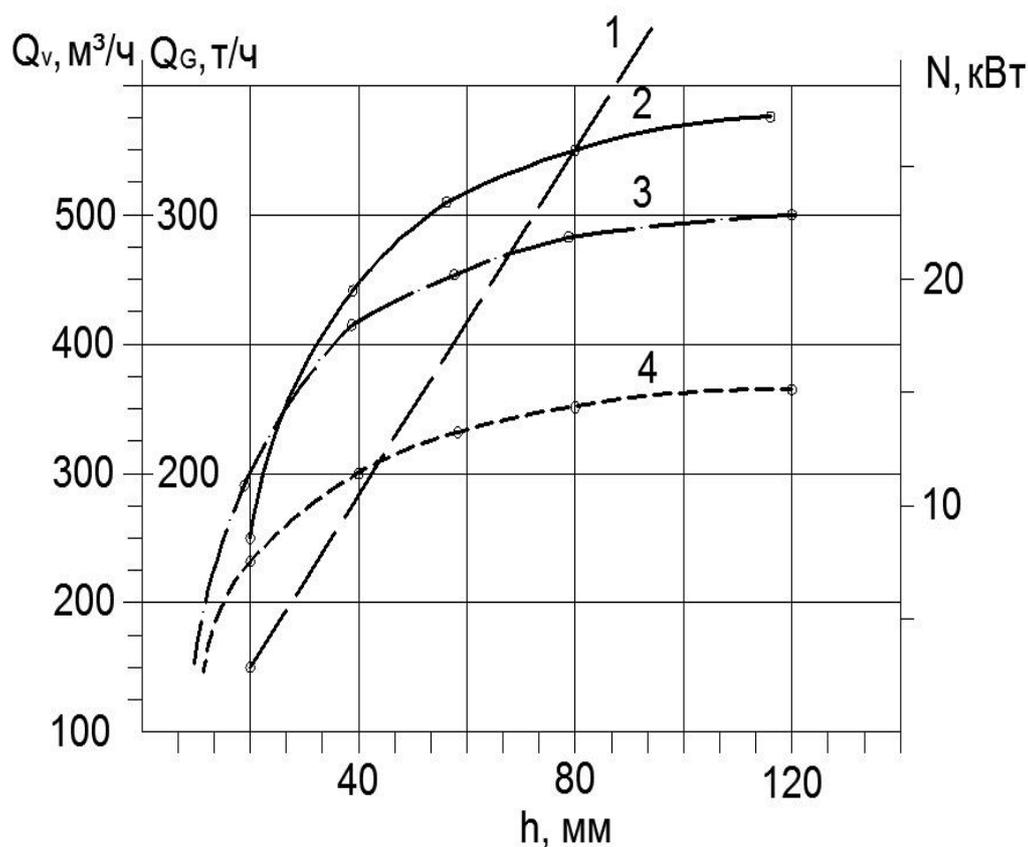
$$P = 9,81[P_0]D_{\phi} \cdot L \cdot h_{cp} \cdot h_{cp} \cdot \rho_{cp} \cdot k_1 \quad (15)$$

Необходимая мощность на валу фрезы:

$$N = \frac{9,81 \cdot Q \omega_0 \pi D_{\phi}}{3600} + \frac{P}{1000 \cdot 3600} \quad (16)$$

где ω_0 – обобщенный коэффициент сопротивления перемещению материала наледи, $\omega_0 = 4 \div 4,5$.

Из рисунка 4 видно, что с увеличением высоты слоя срезаемой наледи с 20 до 120 мм, мощность на резание наледи фрезой диаметром 1200 мм возрастает с 7,4 до 14,3 кВт, а мощность на перемещение взрыхленного материала возрастает с 3,8 до 7,7 кВт. При этом производительность по массе убранной наледи возрастает с 169 до 347 т/час.



Производительность (Q): 1 – объемная и 2 – массовая. Мощность на валу фрезы (N): 3 – общая, 4 – мощность, затраченная на резание наледи.

Рисунок 4. Влияние высоты слоя смерзшейся наледи (h) на характеристику льдодоборочной машины с шириной фрезы 1200 мм и скоростью машины 2 км/час.

Заключение

На основании исследований свойств и усилий резания разработана математическая модель дисковой торцевой фрезы для механической очистки прибордюрной зоны от наледи.

Список литературы

1. Горшков А.С. Конструктивное решение рабочего органа для разрушения и очистки снежно-ледовых образований в прибордюрной зоне городских магистралей // Международный научно-исследовательский журнал. – 2013. – №. 11 (18). – С. 84-85.
2. Горшков А.С., Кулепов В.Ф., Малыгин А.Л., Гусев О.Р. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАЛЕДИ, РАЗРУШАЕМОЙ РЕЗЦОМ ПРИ ОЧИСТКЕ ПРИБОРДЮРНОЙ ЗОНЫ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 4; URL: www.science-education.ru/118-14134 (дата обращения: 18.08.2014).
3. Климентьева Г.В., Лебедев П.П., Тихомиров А.Г., Филатов Н.А. Рабочий орган для очистки дорожных покрытий от льда // Патент России № 2041314. 09.08.1995.
4. Погорельский С.В. Устройство для очистки поверхности ото льда, уплотненного снега и/или обработки грунта // Патент России № 2267575. 10.01.2006 Бюл. № 01.
5. Семенов В.И., Синявский А.В., Юдина В.В. Очиститель гололеда // Патент России № 2493318.20.09.2013 Бюл. № 26.

Рецензенты:

Луконин В.П., д.т.н., профессор, генеральный директор НИИ Полимеров им. А.А. Каргина, г. Дзержинск.

Сажин С.Г., д.т.н., профессор, генеральный директор ООО НТЦ «АСТ», г. Дзержинск.