

РЕЗАНИЕ СМЕРЗШЕЙСЯ ГРУНТО-ЛЕДЯНОЙ МАССЫ КЛИНОВЫМ РЕЗЦОМ

Горшков А.С.¹, Кулепов В.Ф.¹, Шурашов А.Д.¹, Никандров И.С.¹

¹Дзержинский политехнический институт Нижегородского государственного технического университета, г. Дзержинск, Россия (606029, Нижегородская обл., г. Дзержинск, ул. Гайдара, 49), e-mail: gorshkov_as@mail.ru

Экспериментально определено влияние параметров резания на удельное сопротивление массы смерзшейся песчано-водяной смеси резанию клиновым резцом. Изучено влияние угла заточки клина реза, угла скола режущей кромки лезвия реза и скорости резания. Реализован план центрального ортогонального композиционного планирования. Получено уравнение регрессионной зависимости сопротивления резанию от действующих факторов. Дано уравнение определения энергозатрат на резание смерзшейся грунтово-ледяной массы. Максимальная величина среднего сопротивления резанию с увеличением угла скола режущей кромки с 2,5 до 27,5 градусов снижается с 315 Н/см до 106 Н/см для углов заточки клина 35÷45 градусов и скорости резания 10÷12 м/с. Энергозатраты на резание смерзшейся грунтово-ледяной массы при очистке поверхности дорожного полотна равны 1,2 кВт/м². Оптимальное значение угла заточки реза для фрезы с диаметром диска 800 мм равно 35÷45 градусов, угол скола режущей кромки 15÷20 градусов и скорость резания 10÷11 м/с.

Ключевые слова: песчано-водяная смесь, грунто-ледяная масса, смерзание, резание, сопротивление резанию

CUTTING THE FROZEN SOIL-ICE MASS OF WEDGE CUTTER

Gorshkov A.S.¹, Kulepov V.F.¹, Shurashov A.D.¹, Nikandrov I.S.¹

¹Dzержинsky Polytechnic Institute of Nizhny Novgorod State Technical University. Dzержинsk, Russia (606029, Dzержинsk, Gaydar st, 49) e-mail: gorshkov_as@mail.ru

Experimentally determined the effect of cutting parameters on the resistivity of the mass of frozen sand and water mixture to the cutting wedge cutter. We studied the effect of the sharpening angle of the wedge cutter, bevel angle of the cutting edges of the cutter blades and cutting speed. Implemented a plan orthogonal central composite planning. An equation is obtained of the regression dependence of the resistance to cutting of operating factors. Are given the equation determining the energy consumption for cutting the frozen soil and ice mass. The maximum value of secondary resistance to cutting by increasing the angle of bevel of the cutting edge from 2.5 to 27.5 degrees decreased from 315 N/cm to 106 N/cm for angles of sharpening wedge cutter 35÷45 degrees and cutting speed 10÷12 m/s. The energy consumption for cutting frozen soil and ice mass when cleaning the surface of the pavement is 1.2 kW/m². The optimal value for angle of sharpening cutter for milling cutter with diameter disk 800 mm is 35 ÷ 45 degrees, the bevel angle of cutting edge 15 ÷ 20 degrees and cutting speed of 10 ÷ 11 m/s.

Keywords: sand-water mixture, soil-ice mass, frozen, cutting, cutting resistance

Очистка поверхности дорожного полотна от смерзшейся грязе-водяной массы является сложной технической задачей в комплексе работ по содержанию городских дорог. Наиболее эффективно данная задача решается путем механического удаления смерзшейся массы. Для этого предложено [2,5] использовать торцевую фрезу с клиновыми резцами, закрепленными на вращающемся диске на упругих подвесах из отрезка стального каната.

В связи со спецификой состава и свойств смерзшейся песчано-водяной смеси [1] исследование резания её клиновыми резцами является актуальным.

Цель работы

Экспериментальное определение влияния параметров резания на удельное сопротивление массы смерзшейся песчано-водяной смеси резанию клиновым резцом,

сведения по которому до постановки данной работы в литературных источниках отсутствовали.

Процесс резания снежного наката и смерзшейся грунто-ледяной массы значительно отличается от резания мерзлого грунта, изученного А.Н. Зелениным [3]. Процесс включает внедрение острия клина в массу с формированием уплотненного ядра перед режущей кромкой, в котором образуются опережающие трещины, характерные для упругого разрушения хрупких материалов. Энергия, накопленная в процессе внедрения, расходуется на образование лидирующих трещин и на создание новых поверхностей трещин.

Экспериментальная часть

Исходные образцы заготовили замораживанием песчано-водяной смеси с долей воды $20 \pm 1\%$ масс в формах из полистирола с ячейками размером $100 \times 100 \times 100$ при температуре -8°C , соответствующей температуре дорожного покрытия в период последней декады декабря до первой декады января. Для резания использовали резцы шириной 10 мм с углами заточки режущего клина $20 \div 73$ градусов и углами скоса режущей кромки лезвия к горизонтальной поверхности разрезаемого образца $10 \div 27,5$ градусов. Усилия резания фиксировали измерительной системой пресса, развивающего усилие до 5000Н с погрешностью фиксации $\pm 0,1\%$. Скорость движения образца меняли в пределах $7,6 \div 16$ см/с регулированием скорости подъема стола крепления образца. Принятая скорость подъема соответствовала угловой скорости резца фрезы от 4 до $8,4 \text{ c}^{-1}$.

Изучено влияние на сопротивление резанию переменных величин: угла заточки резца (x_1), угла скоса режущей кромки (x_2), скорости резания (x_3), не коррелированные друг с другом, путем реализации плана центрального композиционного планирования эксперимента, включающего 8 опытов ПФЭ²³, 6 звездных точек нулевого уровня и точки общего центра плана [4]. Условия варьирования факторов воздействия приведены в таблице 1.

Таблица 1

Значения факторов влияния на сопротивление резанию смерзшейся массы

Величина фактора	x_1 , град (α)	x_2 , град (β)	x_3 , c^{-1} (V)
Шаг варьирования фактора	20	10	2
Нулевой уровень	40	15	6
Верхний +1	60	25	8
Уровень +1,215	73	27,5	8,4
Нижний -1	20	5	4
Уровень -1,215	7	2,5	3,6

Результаты и их обсуждение

Полученные результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2

Матрица ПФЭ и значения функции

№ опыта	Факторы влияния			Функция	
	x_1	x_2	x_3	q	q
1	-1	-1	-1	132	138
2	+1	-1	-1	196	204
3	-1	+1	-1	115	108
4	+1	+1	-1	224	219
5	-1	-1	+1	89	96
6	+1	-1	+1	240	259
7	-1	+1	+1	132	129
8	+1	+1	+1	74	71
9	-1,215	0	0	92	80
10	+1,215	0	0	316	332
11	0	-1,215	0	120	128
12	0	+1,215	0	136	131
13	0	0	-1,215	286	294
14	0	0	+1,215	93	84
15	0	0	0	107	102

Проверка результатов параллельных опытов по критерию Кохрена показала положительную воспроизводимость.

После отсеивания малозначащих коэффициентов уравнения полинома получено следующее уравнение регрессионной модели процесса резания смерзшихся образцов клиновым резцом торцевой дисковой фрезы после перехода к физическим переменным:

$$q = 929 - 0,51\alpha + 18,24\beta - 67,1V - 0,25\alpha\beta - 0,6\beta V - 11\alpha^2 - 1,8\beta^2 \quad (1)$$

Дифференцированием по одному из параметров получены уравнения количественной зависимости сопротивления резанию от каждого из изученных факторов:

$$\frac{dq}{d\alpha} = -0,51 - 0,25\beta - 22\alpha \quad (2)$$

$$\frac{dq}{d\beta} = 18,24 - 0,25\alpha - 0,6V - 3,6\beta \quad (3)$$

$$\frac{dq}{dV} = -67,1 - 0,6\beta \quad (4)$$

Для значений параметров $\alpha = 25$ градусов, $\beta = 10$ градусов и $V = 8$ м/с:
 $\frac{dq}{d\alpha} = -553$ Н·см/град; $\frac{dq}{d\beta} = -28,8$ Н·см/град; $\frac{dq}{dV} = -7190$ Н·с.

С увеличением угла заточки до 40 градусов пропорционально возрастает величина $\frac{dq}{d\alpha}$, тогда, как $\frac{dq}{dV}$ и $\frac{dq}{d\beta}$ остаются на прежних уровнях.

Энергетические затраты на резание смерзшейся песчано-водяной смеси на площадь очищаемой поверхности дорожного полотна за один оборот фрезы равны:

$$dE = \int_0^{360} q \cdot \Delta D \cdot \Delta L \cdot d\gamma \quad (5)$$

$$\Delta L = \frac{L}{60n \cdot x} \quad (6)$$

$$\Delta D = l_t \cdot \sin\gamma \quad (7)$$

$$l_t = \frac{\pi D_\Phi}{x} \quad (8)$$

где L – скорость движения льдоуборочной машины, м/ч;

ΔL – ход машины за время одного оборота фрезы, м;

n – число оборотов фрезы, мин⁻¹;

x – число резцов на диске фрезы;

l_t – расстояние между двумя резцами (модуль), м;

γ – угол между касательной к точке положения резца и перпендикуляром на диаметр диска, перпендикулярный направлению движения машины, численно равный углу поворота диска.

$$dE = \int_0^{360} \frac{q \cdot L \cdot l_t \cdot \sin\gamma d\gamma}{60n \cdot x} = \frac{q \cdot L \cdot l_t}{60n \cdot x} \int_0^{360} \sin\gamma d\gamma = \frac{q \cdot L \cdot \pi D_\Phi}{60n \cdot x^2} \int_0^{360} \sin\gamma d\gamma \quad (9)$$

Регрессионный анализ процесса взаимодействия единичного резца с разрабатываемой средой при постоянном значении угла скоса режущей кромки $\beta = 10$ градусов показал, что зависимость величины удельного сопротивления резания имеет область pessимума с координатами $\alpha = 42$ градуса, $V_p = 11,5$ м/с. С увеличением угла скоса режущей кромки лезвия клина ($\beta = 15$ градусов) область pessимума смещается в сторону меньших значений угла заточки и скорости резания ($\alpha = 40$ градусов, $V_p = 10$ м/с). При угле скоса резца $\beta = 20$ градусов область максимума сопротивления резания соответствует значениям $\alpha = 39$ градусов и $V_p = 9,5$ м/с и далее с ростом β практически не меняется.

Максимальная величина среднего удельного сопротивления резанию, как видно из рисунка 1, с увеличением угла скоса от 2,5 до 27,5 градусов понижается с 305 Н/см до 106 Н/см для значений угла заточки 35÷45 градусов и скорости резания 10÷12 м/с.

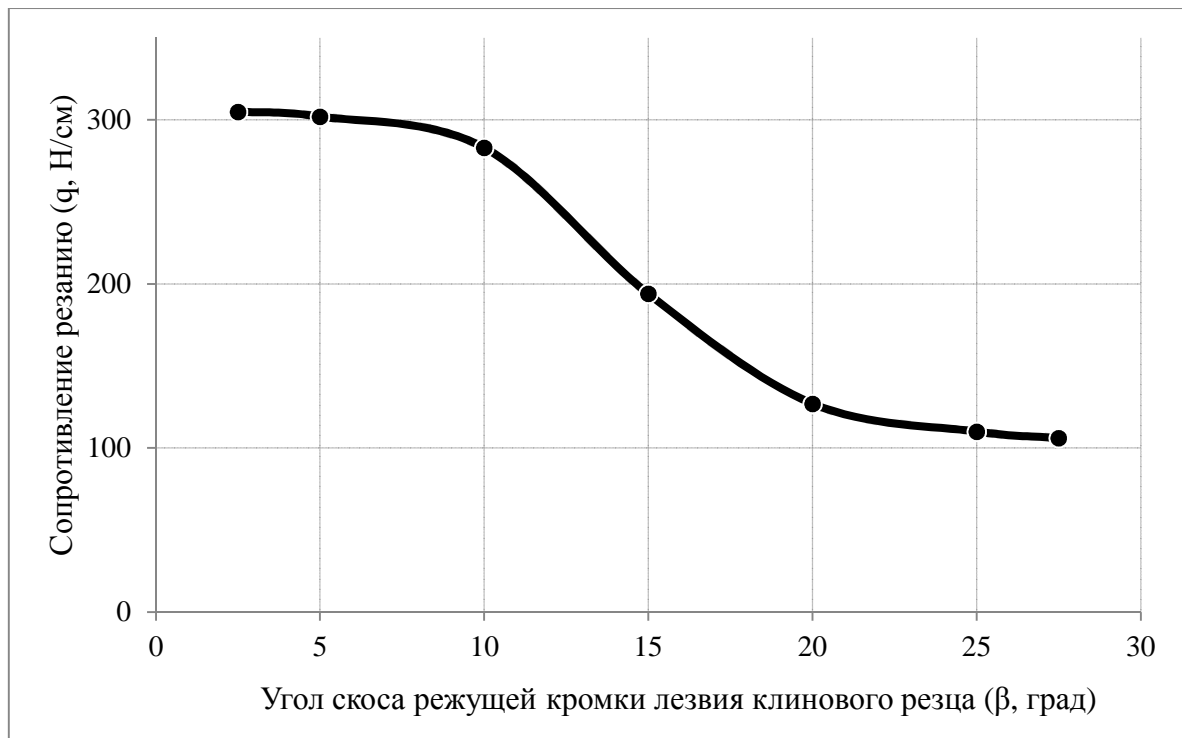


Рисунок 1. Влияние угла скоса режущей кромки лезвия клинового резца (β , град) на сопротивление резанию (q , Н/см).

Совместное влияние угла заточки клина резца и угла скоса его режущей кромки, как видно из рисунка 2, носит сложный характер. С увеличением угла заточки клина резца α при отсутствии скоса резца ($\beta = 0 \div 5$ градусов) сопротивление среды резанию постепенно понижается и достигает минимума в области $\alpha = 30 \div 35$ градусов. Однако при углах скоса 20 и более градусов минимум сопротивления резанию достигается уже при углах заточки клина $22 \div 26$ градусов. При дальнейшем увеличении угла заточки сопротивление несколько возрастает (в $1,2 \div 1,3$ раза) до $\alpha = 30 \div 35$ градусов и далее понижается вновь, достигая вторичного более выраженного минимума при $\alpha = 47 \div 55$ градусов. С дальнейшим увеличением угла заточки клина резца α от 55 до 90 градусов сопротивление резанию растёт, достигая максимума при $\alpha = 90$ градусов.

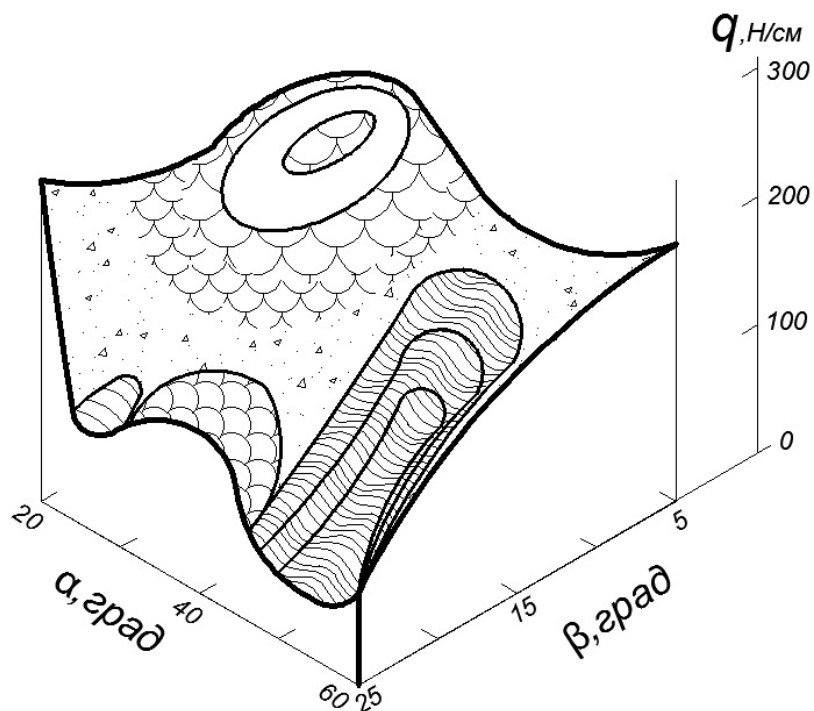


Рисунок 2. Совместное влияние угла заточки клина резца (α) и угла скоса его режущей кромки на удельное сопротивление резанию (q).

В соответствии с полученными данными для фрезы диаметром 800 мм можно рекомендовать число оборотов фрезы 60÷65 об/мин, длину резцов 55÷60 мм, угол заточки клина резца 35÷45 градусов и угол скоса режущей кромки 15÷20 градусов.

Заключение

1. Энергозатраты на резание смерзшейся песчано-ледяной массы за один оборот фрезы носят синусоидальный характер. В среднем при толщине срезаемого слоя 140 мм энергозатраты на зачистку поверхности равны 1,2 кВт/м².
2. Оптимальные значения угла заточки резца равен 35÷45 градусов, угла скоса режущей кромки 15÷20 градусов и скорости резания 10÷11 м/с.

Список литературы

1. 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: <http://www.science-education.ru/118-14134> (дата обращения: 31.07.2014).
2. Горшков А.С., Кулепов В.Ф., Никандров И.С., Малыгин А.Л., Шурашов А.Д. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТОРЦЕВОЙ ФРЕЗЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ ДОРОГ //

Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5; URL: <http://www.science-education.ru/119-14651> (дата обращения: 28.09.2014).

3. Зеленин А. Н. и др. Машины для земляных работ. Учебное пособие для вузов / А. Н. Зеленин, В. И. Баловнев, И. П. Керов. – М.: Машиностроение, 1975. – 424 с.

4. Саутин С.Н. Планирование эксперимента в химии и химической технологии. – Л.: Химия, 1975.

5. Шурашов А.Д., Кулепов В.Ф., Горшков А.С., Малыгин А.Л., Никандров И.С. УПРУГАЯ ДЕФОРМАЦИЯ ПОДВЕСОВ КЛИНОВЫХ РЕЗЦОВ ТОРЦЕВОЙ ФРЕЗЫ ПРИ РЕЗАНИИ НАЛЕДИ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5; URL: <http://www.science-education.ru/119-14836> (дата обращения: 10.10.2014).

Рецензенты:

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

Смирнов А.С., д.т.н., начальник отдела экспериментального исследования взрывных процессов ОАО "ГосНИИмаш им. В.В. Бахирева", г.Дзержинск.