

УДК 629

DOI: 10.46960/1816-210X\_2022\_3\_98

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХОДА МАШИНЫ ПЛАНИРОВЩИКА И ЧИСЛА ОБОРОТОВ ФРЕЗЫ НА СИЛУ РЕЗАНИЯ СНЕЖНО-ЛЕДОВОЙ МАССЫ ТОРОСА

**И.С. Никандров**

ORCID: 0000-0001-9502-0298 e-mail: mnnd@mail.ru

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева  
*Нижний Новгород, Россия***А.Л. Малыгин**

ORCID: 0000-0002-2429-0685 e-mail: al.malygin.dpi@yandex.ru

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева  
*Нижний Новгород, Россия***А.Д. Шурашов**

ORCID: 0000-0002-1330-7840 e-mail: ktmdpingtu@mail.ru

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева  
*Нижний Новгород, Россия***Ю.В. Краснов**

ORCID: 0000-0003-2941-2669 e-mail: krasnov1955@internet.ru

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева  
*Нижний Новгород, Россия*

Рассматривается проблема очистки ледового покрова от торосов. Экспериментально обоснован технологический режим очистки поверхности льда фрезой новой конструкции. Представлено новое техническое решение по разрушению торосов. Изучено влияние скорости и глубины резания смерзшейся снежно-ледовой массы тороса на величину силы резания единичным резцом. Получена зависимость силы резания от хода ледорезной машины и числа оборотов шнековой фрезы, установленной на ней. Определена область оптимальных технологических параметров для шнековой фрезы диаметром 1 м. Полученные зависимости сил резания от хода машины позволили определить силовые нагрузки на элементах фрезы и требуемую мощность на ее валу. Использование теории разрыва снежно-ледовой массы при оптимальной расстановке режущих элементов на линии образующей позволило определить ширину режущей кромки резца для снижения энергоемкости процесса резания.

**Ключевые слова:** торосы, машина-планировщик, шнековая фреза, снежно-ледовая масса, резание, сила резания.

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Никандров, И.С. Исследование влияния хода машины планировщика и числа оборотов фрезы на силу резания снежно-ледовой массы тороса / И.С. Никандров, А.Л. Малыгин, А.Д. Шурашов, Ю.В. Краснов // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2022. № 3. С. 98-105. DOI: 10.46960/1816-210X\_2022\_3\_98

## STUDY OF EFFECT OF SURFACE PLANING MACHINE TRAVEL AND EFFECT OF CUTTER REVOLUTIONS NUMBER ON HUMMOCK SNOW-AND-ICE BULK CUTTING FORCE

**I.S. Nikandrov**

ORCID: 0000-0001-9502-0298 e-mail: mnnd@mail.ru

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev  
*Nizhny Novgorod, Russia*

**A.L. Malygin**ORCID: 0000-0002-2429-0685 e-mail: [al.malygin.dpi@yandex.ru](mailto:al.malygin.dpi@yandex.ru)

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev

*Nizhny Novgorod, Russia***A.D. Shurashov**ORCID: 0000-0002-1330-7840 e-mail: [ktmdpingtu@mail.ru](mailto:ktmdpingtu@mail.ru)

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev

*Nizhny Novgorod, Russia***Yu.V. Krasnov**ORCID: 0000-0003-2941-2669 e-mail: [krasnov1955@internet.ru](mailto:krasnov1955@internet.ru)

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev

*Nizhny Novgorod, Russia*

**Abstract.** Problem of ice cover cleaning from hummocks is considered. Technological mode of ice surface cleaning using a cutter of new design is experimentally substantiated. New technical solution for destruction of hummocks is presented. Effect of speed and depth of cutting of frozen snow-and-ice bulk of hummock by the cutting force intensity using a single cutter, is studied. Dependence of the cutting force on ice-cutting machine travel and revolutions number of worm-screw cutter installed on it, is obtained. Space of optimal technological parameters for a worm-screw cutter with diameter of 1 m, is determined. Obtained dependences of the cutting forces on the machine travel allowed to determine power loads at the cutter elements and required power at its shaft. Use of the theory of rupture of snow-and-ice bulk with optimal arrangement of cutting elements on the line of generatrix, made it possible to determine the width of cutting edge of cutter to reduce the energy intensity of cutting process.

**Key words:** hummocks, planning machine, screw milling cutter, snow and ice mass, cutting, cutting force.

**FOR CITATION:** I.S. Nikandrov, A.L. Malygin, A.D. Shurashov, Yu.V. Krasnov. Study of effect of surface planning machine travel and effect of cutter revolutions number on hummock snow-and-ice bulk cutting force. Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alekseev. 2022. № 3. Pp. 98-105. DOI: 10.46960/1816-210X\_2022\_3\_98

**Введение**

Образование торосов на поверхности ледового покрова водоемов проходит в период ледостава. Постепенно из-за заноса снегом на них образуются смерзшиеся снежно-ледовые образования. При выполнении сезонных технологических работ, связанных с прокладкой трубопроводов, электрических кабелей, линий связи или транспортных трасс очистка ледовых поверхностей от сформировавшихся на них снежно-ледовых образований становится обязательной операцией обеспечения работы технологических комплексов на ледовом покрове водоема. Планирование поверхности неизбежно связано с резанием снежно-ледового материала и удалением снежно-ледовой массы с площади обслуживания технологического оборудования, работающего на льду. При использовании для планирования ледовой поверхности очистки ее от торосов машины-планировщика с горизонтальной шнековой фрезой резание снежно-ледового образования тороса выполняется множеством единичных резцов, расставленных по режущим кромкам шнека (рис. 1).

В общем случае взаимодействие фрезы с разрушаемым смерзшимся массивом снежно-ледового образования следует рассматривать как взаимодействие единичного резца с единичным объемом массы снежно-ледового образования.

Исследовали резание замороженных блоков снежно-ледовой массы с долей снега 0,4 от общей массы. Смесь льда и снега с размером частиц менее 3 см заливали нахоложенной водой с температурой 0 °С и ставили в морозильную камеру. Для экспериментального исследования процесса резания готовили два вида смерзшихся снежно-ледовых блоков с размерами первого 400x300x200 мм и второго 300x200x100 мм.



**Рис. 1. Работа машины-планировщика с горизонтальной шнековой фрезой**

**Fig. 1. Operation of a surface planing machine with horizontal worm-screw cutter**

### Экспериментальная часть

Блоки получили замораживанием в пластмассовых формах при  $t = -18-20$  °С смеси воды со снежно-ледовой крошкой в соотношениях, близких к их долям в торосе [1]. Испытания резания блоков первого вида проводили на установке, созданной на основе горизонтального фрезерного станка, описанного в работе [2], а блоки второго вида резали единичным резцом нажатием прецизионным прессом с усилием сжатия 5000 Н [3]. Погрешность замера усилия пресса составляла 0,1 %, ширина резца равна 16 мм. Скорость резания варьировалась в пределах 5,5-50 см/с. Глубина резания (толщина срезаемой стружки) составляла 0,5-5 см. Угол заточки резцов и угол скоса режущей кромки приняли оптимальными, как в работе [4], и равными соответственно 40 и 12°.

Результаты опытов приведены в табл. 1 и 2. Удельное сопротивление резанию снежно-ледовой массы принимали отнесенной к 1 см ширины резца. Результаты брали средними по трем параллельным опытам.

*Таблица 1.*

#### Резание снежно-ледовой массы на фрезерном стенде

*Table 1.*

#### Cutting of snow-and-ice bulk on a milling dummy machine

№ п/п	Глубина резания, см	Скорость резания, см/с	Удельная сила сопротивления резанию, Н/см <sup>2</sup>
1	0,6	5,2	33
2		10,8	31
3		15,2	36
4	1,2	5,8	37
5		12,0	33
6		16,4	35
7		20,5	39
8	2,0	4,4	38
9		10,6	35
10		16,8	40
11		20,8	52

Продолжение табл. 1.

Резание снежно-ледовой массы на фрезерном стенде

Table 1 (continued).

Cutting of snow-and-ice bulk on a milling dummy machine

№ п/п	Глубина резания, см	Скорость резания, см/с	Удельная сила сопротивления резанию, Н/см <sup>2</sup>
12	2,5	6,3	37
13		12,0	41
14		17,5	59
15		20,2	65
16	3,1	4,6	37
17		10,2	34
18		14,7	49
19		18,0	79

Таблица 2.

Резание снежно-ледовой массы единичным резцом с помощью пресса

Table 2.

Cutting of snow-and-ice bulk with a single cutter using a press

№ п/п	Глубина резания, см	Скорость резания, см/с	Удельная сила сопротивления резанию, Н/см <sup>2</sup>
1	0,5	7,6	34
2		10,2	35
3		15,4	36
4		20,5	39
5		30,2	42
6	1	6	36
7		10,8	33
8		16	35
9		20,5	37
10		38,8	40
11	1,5	7,8	34
12		11	32
13		15,2	34
14		20,4	36
15		30,3	38
16	2	6,3	38
17		10,8	41
18		16,2	46
19		20,4	49
20		29,6	54
21	3	7,5	36
22		12,5	36
23		15,6	39
24		20,6	51
25		39,8	74
26	4	10,4	46
27		16	49
28		25	59
29		40,4	82
30	5	10,3	57
31		22	70
32		31,4	86
33		40,8	102

### Обсуждение результатов

Опыты показали, что при глубине резания 2 см и менее сопротивление относительно мало, и удельная сила резания не превышает  $50 \text{ Н/см}^2$  даже при скоростях 20-40 см/с. При дальнейшем увеличении толщины срезаемой стружки сопротивление среды возрастает. Сила резания в интервале 40-50 Н/см сохраняет только при скоростях менее 20 м/с. При увеличении скорости резания больше 20 см/с сопротивление среды пропорционально возрастает. При глубине резания менее 1 см сила резания для скоростей 5-30 см/с практически остается постоянной, меняясь только в пределах  $32\text{-}40 \text{ Н/см}^2$ .

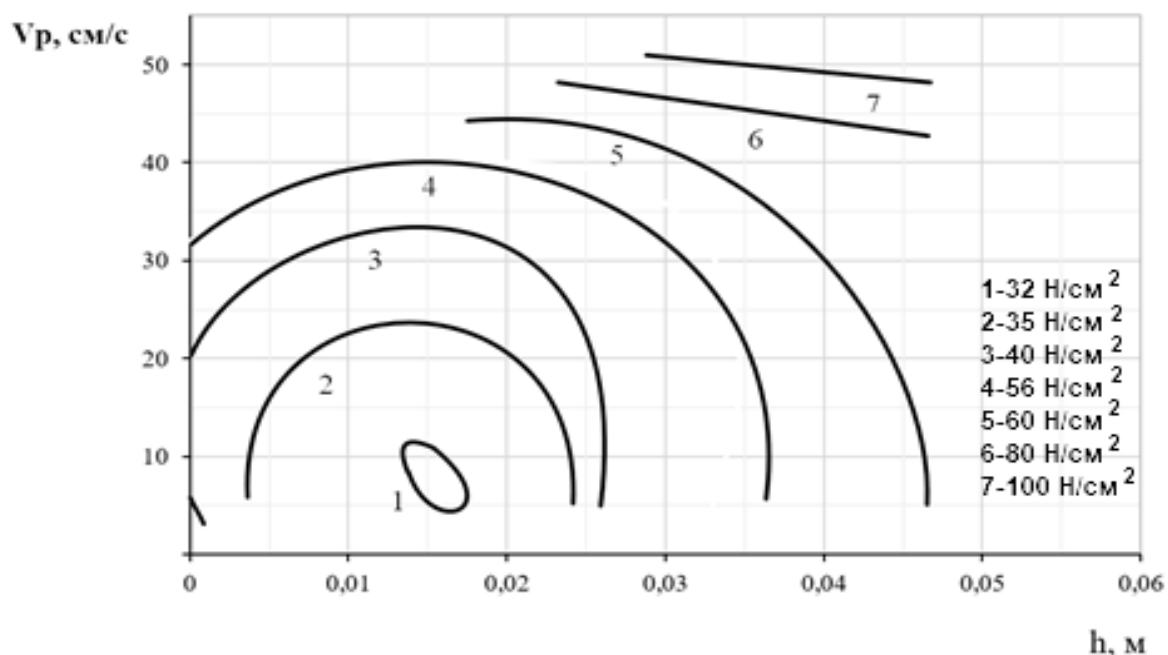
Выполнено сравнение полученных нами данных, экспериментальных значений удельных сил резания, отнесенных к 1 см ширины реза, с расчетными значениями, определенными по уравнению, полученному экспериментально-статистическим методом [2], имеющему вид:

$$q = 219,4 + 71,7 \alpha + 510h - 29,5\alpha h - 94hV_p - 0,084\alpha^2 - 463000h^2 \quad (1)$$

где  $q$  – это удельная сила сопротивления разрушаемой среды резанию, отнесенная к 1 см ширины реза.

Сравнение данных величин показало достаточно высокую сходимость расчетных и экспериментально полученных значений. В данном уравнении  $\alpha$  – угол резания (град),  $h$  – толщина стружки или глубина резания (м),  $V_p$  – скорость резания (см/с). Расхождение экспериментальных и расчетных величин для сопоставимых условий резания не превышало  $\pm 8 \%$ .

Результаты экспериментального определения сопротивления среды резанию показали (рис. 2) наличие области оптимума технологических параметров.



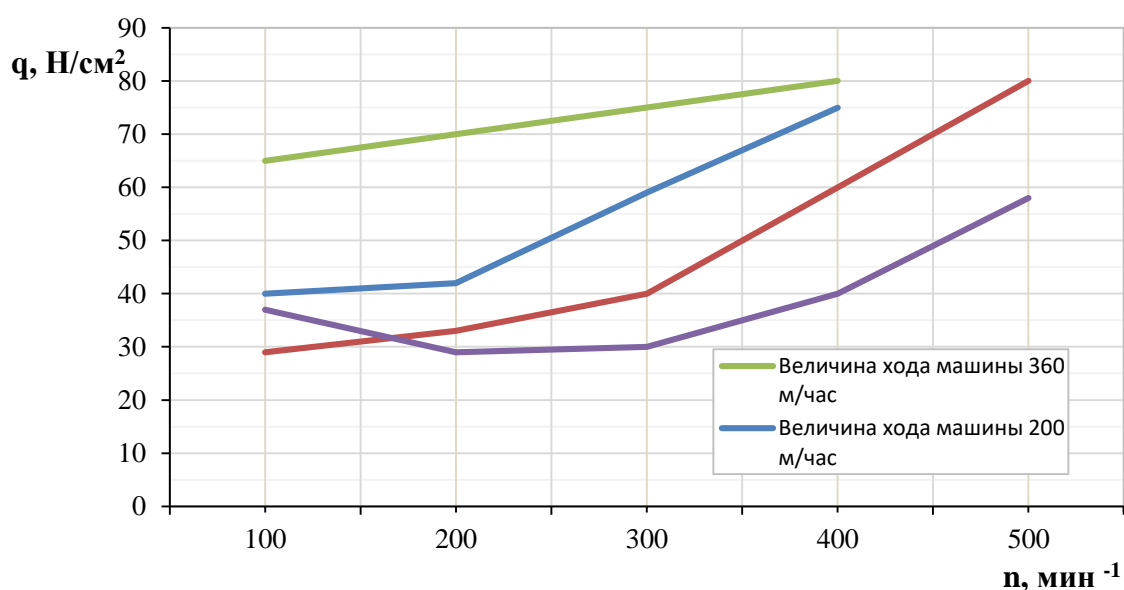
**Рис. 2.** Совместное влияние скорости резания ( $V_p$ ) и глубины резания на положение линии постоянных сил сопротивлений резанию снежно-ледовой массы единичным резцом

**Fig. 2.** Combined effect of cutting speed ( $V_p$ ) and cutting depth on position of line of constant forces of resistance to cutting of snow-and-ice bulk with a single cutter

Как видно из рис. 2, совместное влияние скорости резания ( $V_p$ ) снежно-ледовой массы и глубины резания ( $h$ ), т.е. толщины слоя, срезаемого одним резцом, неоднозначно и носит

экстремальный характер. Область минимума величины силы сопротивления резанию приходится на резание со скоростью 7-10 см/с при глубине резания 1,2-1,8 см. При этом удельная сила резания равна 30-32 Н/см<sup>2</sup> для снежно-ледовой массы с долей снега 0,4 от общей массы, что характерно для большинства торосов. При дальнейшем увеличении скорости резания сопротивление резанию снежно-ледовой массы возрастает в 1,5-2 раза. Сопротивление резанию аналогично возрастает и с дальнейшим увеличением толщины срезаемой стружки.

Полученные данные по резанию достаточно хорошо корректируются с данными Романова В.В. [5], полученным при резании льда ударником КИСИ. Это косвенно подтверждает достоверность наших данных по резанию снежно-ледовой массы при  $t = -20-30$  °С. Поскольку глубина резания определяется ходом машины-планировщика и числом заходов винтовой линии, на которой расставлены резцы на шнековой фрезе, а скорость резания определяется числом оборотов шнека, практический интерес представляет изображения зависимости удельной силы резания от величины хода машины ( $L$ , м/ч) и числа оборотов шнека ( $n$ , об/мин). Данная зависимость представлена на рис. 3.



**Рис. 3. Совместное влияние хода машины-планировщика и числа оборотов фрезы на силу резания снежно-ледовой массы тороса двухзаходной шнековой фрезой диаметром 1 м**

**Fig. 3. Combined effect of surface planning machine travel and the cutter revolutions number on cutting force of snow-and-ice bulk of hummock using a two-thread worm-screw cutter with diameter of 1 m**

В процессе очистки ледовой поверхности от торосовых образований шнековая фреза надвигается на смерзшийся снежно-ледовый слой тороса. При этом разрушение массы тороса происходит при полном блокировании срезаемого резцами слоя льда. Понижение температуры разрушаемой массы также способствует увеличению силы резания и нагрузки на элементы фрезы. Неоднородность состава снежной ледовой массы в торосе приводит к значительным колебаниям нагрузки на резцы (как на высоте резки, так и по фронту очистки). В результате нагрузка на отдельных резцах может меняться в 2-3 раза.

Для шнековой фрезы диаметром 1 м оптимальное значение хода машины-планировщика равно 70-140 м/час, а число оборотов фрезы 200-300 об/мин. При резании клиновым резцом льда или снежно-ледового образования в зоне под острием клина резца действуют развивающиеся сжимающие напряжения. Перпендикулярно боковым поверхностям клина резца действуют растягивающие напряжения, приводящие к образованию трещин вдоль осевой линии режущего клина, распространяющихся по линии расстановки режущих элементов.

При соблюдении условия  $n_t \leq 2,5$  в, рекомендованного Зенковым Р.П. [6], создаются условия для смыкания развивающихся микротрещин в единый разрыв на длину более ширины полушнека фрезы.

Исходя из опыта работы землеройной техники при разработке смерзшегося материала [6], оптимальная расстановка режущих элементов на линии образующей цилиндрическую поверхность шнековой фрезы равна:

$$n = (z - 2,5)v \quad (2)$$

где  $v$  – ширина режущей кромки резца.

Отсюда

$$2,5v = \frac{B}{(z-1)} \quad (3)$$

где  $B$  – ширина одного полушнека фрезы,

$z$  – число резцов на одной шнековой линии.

Толщину резца рекомендуется для льда принять равной 0,5 в.

Схема размещения резцов на шнековой линии фрезы приведена на рис. 4.

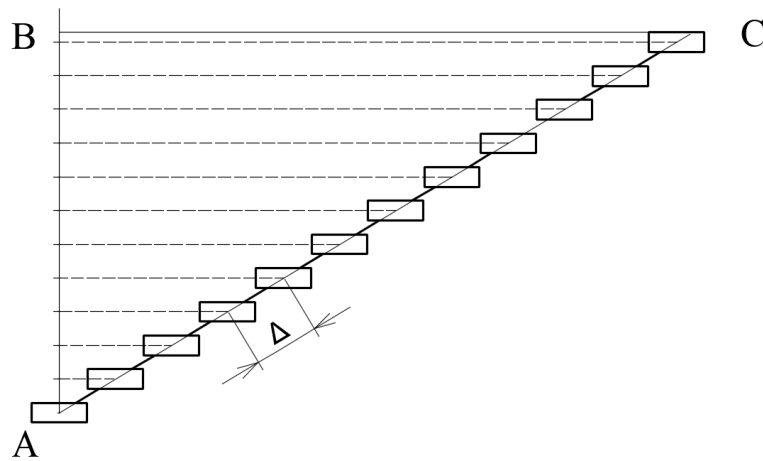


Рис. 4. Схема расстановки резцов на шнековой образующей линии фрезы

Fig.4. Scheme of arrangement of cutters on the line of generatrix of worm-screw cutter

При ширине полушнека АВ, равной 1400 мм, для фрезы диаметром 1000 мм величина ВС равна:

$$BC = \pi D / 2 = 1570 \text{ мм} \quad (4)$$

Тогда длина образующей шнековой линии АС равна 2152 мм, а расстояние между резцами на этой линии равно:

$$\Delta = \frac{(AC-B)}{(z-1)} \approx 175 \text{ мм} \quad (5)$$

Необходимая ширина клина резца равна:

$$v = \frac{B}{2,5 \cdot (z-1)} = \frac{1400}{2,5 \cdot 12} = 46,6 \text{ мм} \quad (6)$$

### Заключение

Среднее значение сил сопротивления резанию снежно-торосовых образований можно принять равным  $32 \text{ Н/см}^2$ . Угол заточки клина резцов следует принять равным  $40^\circ$ , угол скоса резца  $12-15^\circ$ .

Для шнековой фрезы диаметром 1 м рекомендуется число оборотов 150-300 об/мин при рабочем ходе машины-планировщика 70-280 м/ч. Для полушнека шириной 1400 мм и диаметром 1000 мм ширину режущей кромки фрезы следует принять равной 46,6 мм.

### Библиографический список

1. **Nikandrov, I.** Structure and property hummock on the river and lake / I. Nikandrov, Dunaev, D. Zolotov, A. Shurashov, A. Gorshkov // Norwegian diurnal of development of the international science. 2018. vol. 1, no.18. P. 46-50.
2. **Никандров, И.С.** Построение математической модели силы резания снежно-ледовой массы / А.Л. Малыгин, И.М. Дунаев, А.А. Кукушкин, В.В. Парамонов // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2019. № 5. С. 187-191.
3. **Горшков, А.С.** Резание смерзшейся грунто-ледяной массы клиновым резцом / А.С. Горшков, В.Ф. Кулепов, А.Д. Шурашов // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. С. 214.
4. **Горшков, А.С.** Определение характеристик торцевой фрезы для резания грунто-ледяной массы опытными образцами / А.С. Горшков, В.Ф. Кулепов, А.Д. Шурашов, И.С. Никандров, Ю.В. Краснов // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 2. С. 32-36.
5. **Романов, В.В.** Приборы для оценки прочностных свойств разрабатываемых сред / В.В. Романов, А.И. Убитин, Ю.В. Сосевич // Тезисы всесоюзной научно-технической конференции «Повышение надежности и экологических показателей автомобильных двигателей». – Горький, 1990. С. 111.
6. **Зенков, Р.А.** Механика насыпных грузов / Р.Л. Зенков. – М.: Машиностроение, 1964. С. 246.

*Дата поступления  
в редакцию: 08.04.2022*