

УДК 629.331

DOI: 10.46960/1816-210X_2023_1_117

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ШНЕКОВОЙ ФРЕЗЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ ЛЕДОВОГО ПОКРОВА ВОДОЕМОВ ОТ ТОРОСОВ

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: ktmdpintu@mail.ru

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

*Нижний Новгород, Россия***А.А. Середкин**

ORCID: 0000-0002-4700-3570 e-mail: seredkin_2000@list.ru

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Нижний Новгород, Россия

Предложена организация транспортных трасс по ледовому покрову рек и озер Сибири. Описаны температурные условия протекания процесса резания снежно-ледовой массы тороса. Представлено описание переменного состава и неоднородной структуры торосов в зоне их формирования. Представлен технологический процесс очистки ледового покрова от торосов при прокладке трассы. Рассчитаны параметры шнековой фрезы для очистки покрова от торосов. Изучено резание льда клиновыми резами. Определены производительность фрезы, энергозатраты на очистку и оптимальный угол наклона полушнеков к направлению хода режущей машины-планировщика.

Ключевые слова: Сибирь, ледовый покров, реки, озера, очистка, транспортные трассы, прокладка, резание, торосы, клиновой резец, шнековая фреза, производительность, энергозатраты, оптимизация конструкции шнековой фрезы.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Никандров, И.С. Разработка модели шнековой фрезы для очистки ледового покрова водоемов от торосов / И.С. Никандров, А.Л. Малыгин, А.Д. Шурашов, А.А. Середкин // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2023. № 1. С. 117-124. DOI: 10.46960/1816-210X_2023_1_117

DEVELOPMENT OF A MODEL OF A SCREW CUTTER FOR CLEANING THE ICE COVER OF RESERVOIRS FROM HUMMOCKS

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. MalyginORCID: **0000-0002-2429-0685** e-mail: **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: **ktmdpington@mail.ru**Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev
*Nizhny Novgorod, Russia***A.A. Seredkin**ORCID: **0000-0002-4700-3570** e-mail: **seredkin_2000@list.ru**Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev
Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The organization of transport routes along the ice cover of rivers and lakes of Siberia is proposed. The temperature conditions of the process of cutting the snow-ice mass of the hummock are presented. A description of the variable composition and heterogeneous structure of hummocks in the zone of their formation is presented. The technological process of cleaning the ice cover from hummocks during the laying of the route is presented. The parameters of the screw cutter for cleaning the cover from hummocks have been determined. Ice cutting with wedge cutters has been studied. The productivity of the milling cutter and the energy consumption for cleaning are determined. The optimal angle of inclination of the half-screws to the direction of travel of the cutting machine - planner is determined.

Key words: Siberia, ice cover, rivers, lakes, cleaning, transport routes, laying, cutting, hummocks, wedge cutter, screw cutter, productivity, energy consumption, optimization of the screw cutter design.

FOR CITATION: I.S. Nikandrov, A.L. Malygin, A.D. Shurashov, A.A. Seredkin. Development of a model of a screw cutter for cleaning the ice cover of reservoirs from hummocks. Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alekseev. 2023. № 1. Pp. 117-124. DOI: 10.46960/1816-210X_2023_1_117

Введение

Резание снежно-ледового тороса существенно отличается от резания ледового покрова водоема условиями протекания процесса. Для ледового покрова оно проходит при относительно высоких температурах, близких к точке замерзания. Только в слое, близком к дневной поверхности льда, его температура приближается к температуре окружающего воздуха (минус 20-40 °С).

Разрушение массива тороса во всем его слое проходит при температуре окружающего воздуха. Взаимодействие резцов фрезы проходит со средой переменного состава и неоднородной структуры. До 60 % массы тороса сформирована кусками вздыбленного льда. Толщина кусков льда обычно равна 100-200 мм, ширина 200-400 мм, а длина 600-1000 мм. Эти куски пространственно ориентированы вертикально или под наклоном 60-80 ° к поверхности водоема (рис. 1).

Пространство между большими кусками заполнено кусками льда меньшего размера (до 80-120 мм) и массой уплотненного снега. Их смесь имеет смерзшуюся уплотненную структуру. Лед в кусках в связи с ограниченностью размеров является для условий резки полублокированным. Взаимодействие резцов шнековой фрезы активно проходит в нижнем слое тороса высотой ~ 1 м. Некоторые длинные куски льда в нижней зоне тороса вмерзли в ледовый покров и взаимодействие резцов с ними проходит часто по всей высоте, вплоть до льда покрова водоема. Процесс очистки ледового покрова при прокладке по нему транспортных трасс включает: резание снежно-ледового образования тороса (далее – СЛЮ), транспортирование шнеком измельченной снежно-ледовой массы от периферии очищаемой полосы к центру, транспортирование массы плужным скребком и проталкивание ее в метатель.



Рис. 1. Поле торошения у северного берега оз. Байкал

Fig. 1. Field of hummocking near the northern shore of the lake Baikal

1. Производительность вырезки СЛЮ торосов шнековой фрезой

Шнековая фреза выполнена в виде двух полушнеков [1, 2] с общим редуктором подачи вращения, расположенным в центре очищаемой полосы. Для обеспечения эффективного резания СЛЮ на шнековых образующих полосах фрезы с равным шагом расставлены клиновые резцы. В процессе взаимодействия рабочих органов с разрушаемой массой тороса нагрузка на рабочий орган резания, на шнековой фрезе, взаимодействующей с массивом состоит в основном из воспринимаемого усилия сопротивления резанию. Шнековая полоса фрезы кроме суммарных сил сопротивления резанию воспринимает силы сопротивления измельченной массы перемещению по очищенной полосе.

Первые силы определяют преимущественно параметры резцов, их расстановку, включая шаг и углы постановки на шнеке относительно направления хода машины планировщика. Общая нагрузка на образующие шнековые полосы и фрезу в целом определяется и суммарной силой сопротивления резанию и сопротивления перемещения сыпучей массы. В конечном счете общая нагрузка на фрезу определяется её массовой производительностью.

Принятое за базовое шасси транспортное средство должно иметь следующие физико-технические параметры и свойства:

- обеспечивать возможность установки необходимой ледорезной техники, транспортных устройств удаления разрушенной массы торосов высотой до 1-1,5 м, обеспечивать её работоспособность при скорости движения машины-планировщика 0,2-4 км/ч;
- иметь запас мощности двигателя для обеспечения отбора части мощности на привод шнековой фрезы и метателя измельченного СЛЮ;
- иметь возможность перемещаться со скоростью хода 0,2-10 км/ч или быть дооборудовано ходоуменьшительным рабочим агрегатом, объемная производительность элементов шнековой фрезы (шнека, метателя) должна быть не менее 4 000 м³/ч (или ~ 2000 т/час).

При вращении шнеков фрезы на один оборот за период движения резца от положения точки 1 к точке 3 проходит резка СЛЮ с переменной производительностью от 0 до максимальной в точке 2 величины, а далее уменьшается вновь до 0 в точке 4 (рис. 2).

где n_{π} – число соседствующих винтовых поверхностей на шнеке.

Массовая производительность (G_1) в результате составит:

$$G_1 = \frac{D_{\phi} \cdot l_{\phi} \cdot l_{\pi} \cdot \rho_{\text{ср}}}{n_{\text{в}}} \quad (6)$$

где $\rho_{\text{ср}}$ – средняя насыпная масса измельченного СЛО тороса, т/м³.

Экспериментально определено, что насыпная масса колеблется в пределах 0,4-0,7 т/м³ ($\rho_{\text{ср}} = 0,54$).

Отсюда производительность фрезы по вырезке СЛО тороса равна:

$$G_{\phi} = G_1 \cdot Z_p \cdot D_{\phi} \cdot l_{\phi} \cdot l_{\pi} \cdot \rho_{\text{ср}} \cdot k, \quad (7)$$

где k – коэффициент неравномерности нагрузки, равный отношению максимальной и средней нагрузок.

$$k = \frac{dG_{\text{max}}}{dG_{\text{ср}}} = \frac{1}{0,66} = 1,57 \quad (8)$$

Высота торосов на реках обычно составляет 0,4-0,7 м, на озере Байкал до 1,5-1,7 м (в среднем 1-1,1 м).

При прокладке транспортной трассы по ледовому покрову шириной 3,2 м производительность режущей машины по удаляемой массе СЛО равна 130-500 т/ч при скорости хода режущей машины 0,2-1 км/ч (рис. 3).

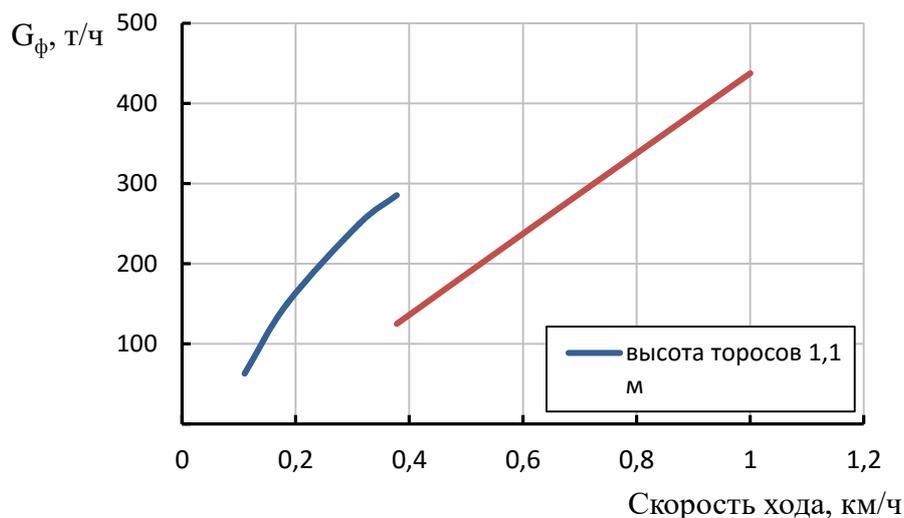


Рис. 3. Производительность режущей машины при очистке полосы трассы шириной 3,2 м

Fig. 3. The performance of the cutting machine when cleaning a 3.2 m wide track strip

2. Компоновка узла привода полушнеков фрезы

Для удаления корки льда с дорожной полосы даны решения рабочих органов фрез [3-6]. Согласно [3], шнековая фреза состоит из двух полушнеков, у которых шнековые винтовые линии закручены в противоположных направлениях навстречу друг другу. Это обеспечивает перемещение измельченной массы от периферии к центру очищенной полосы для подачи в метатель, что является существенным преимуществом конструкции. Из-за размещения редуктора привода полушнеков в центре фрезы при постановке полушнеков перпендикулярно направлению хода машины в центральной части очищаемой полосы образуется узкая, плохо очищаемая полоса. Ее наличие препятствует подаче измельченной массы из шнекового пространства в камеру метателя для ее удаления.

Данный существенный недостаток может быть устранен путем установки полушнеков под некоторым углом к направлению движения режущей машины [3]. Для этого необходимо максимально снизить расстояние между центральными торцами шнековых образующих на каждом полушнеке. Это достигается выполнением конечных участков шнековых образующих консольными по отношению к опорному диску валов фрезы, что позволило надвинуть полушнеки на редуктор.

Поскольку сближение центральных торцевых участков полушнеков ограничено диаметром вала, подающего вращение от вала отбора мощности к валу редуктора привода полушнеков (обычно 140-150 мм), расстояние между торцевыми консольными участками на полумуфтах остается равным ~ 60 мм, если оси полушнеков расположить под углом направлению движения машины равным $(90-\delta)$. Угол δ (рис. 3) равен отношению половины расстояния сближения плоскостей вращения торцевых резцов в центральной части шнека к диаметру расстановки кончиков резцов крайнего в центральной части фрезы. Следовательно, угол между осями полушнеков и направлением движения машины (при $\delta = 5-6^\circ$) должен быть соответственно равен $85-86^\circ$.

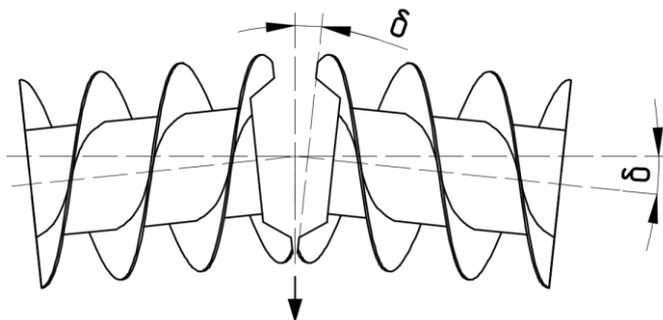


Рис. 4. Схема расположения полушнеков фрезы относительно направления хода машины-планировщика

Fig. 4. Scheme of the location of half augers of the cutter relative to the direction of the machine-scheduler

3. Определение мощности необходимой для резания СЛЮ торося

Исследование резания снежно-ледовых блоков показало [1], что удельное сопротивление резанию (q) зависит от глубины резания. При толщине срезаемой стружке 1-2 см сила сопротивления резанию равна 10-25 Н на 1 см ширины резца. Для глубины резания 2-4 см удельное сопротивление резания возрастает до 20-40 Н/см. За один оборот фрезы в процессе резания, участвуют все установленные на фрезе резцы. Их суммарная сила сопротивления резанию определяется уравнением:

$$F_o = q \cdot b \cdot n_p \cdot k_{III} \cdot k_p \cdot k_c, \quad (9)$$

где b – ширина резца, см;

n_p – число резцов на шнековой фрезе;

k_{III} – коэффициент, учитывающий долю диаметра окружности вращения резца, участвующего в резании;

k_p – доля резцов, одновременно участвующих в резании СЛЮ;

k_c – коэффициент учета неоднородности среды, равный 0,8.

Поскольку в резании одновременно участвуют оба полушнека, то k_p равняется:

$$k_p = \frac{m}{n_p} \quad (10)$$

При наличии 4-х винтовых шнековых линий и 36-ти резцах на каждом полушнеке коэффициент равен:

$$k_{\rho} = \frac{4}{72} = 0,055 \quad (11)$$

Расчетом по полученному уравнению определены значения потребляемой мощности на резание торосовых образований шнековой фрезой (рис. 5).

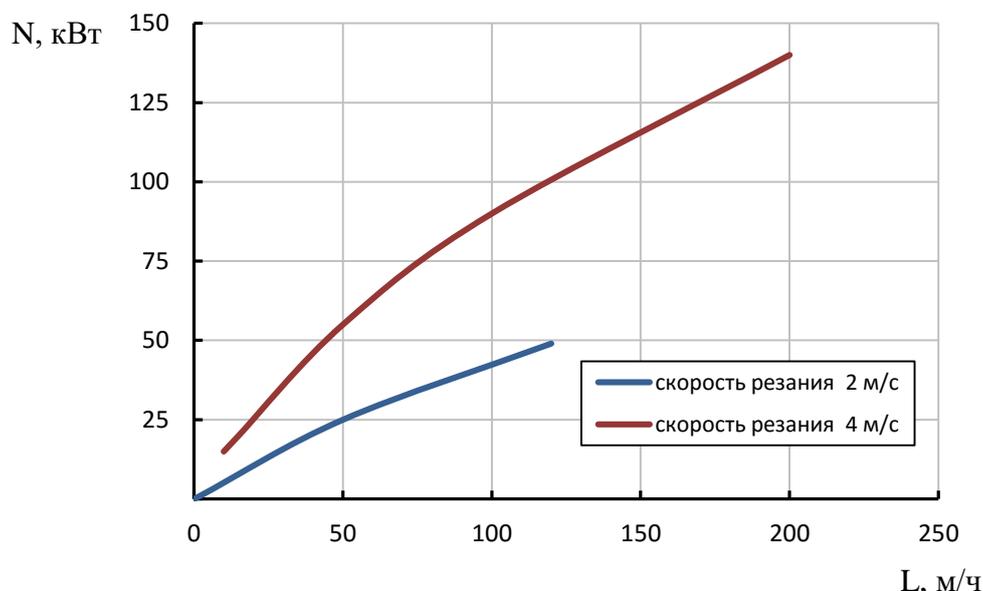


Рис. 5. Влияние хода машины L на потребляемую фрезой мощность

Fig. 5. Influence of the machine stroke L on the power consumed by the cutter

При работе шнековой фрезы с 72-мя резцами, с увеличением хода режущей машины с 50 до 200 м/час потребляемая мощность возросла 2,3 раза и составила 128 кВт при скорости резания 4 м/с. При установке полушнеков под углом, скопления массы на входе в метатель не происходит, потребляемая мощность составила не более 50 кВт.

Заключение

Выполненным исследованием влияния конструктивных параметров установлено:

- число необходимых резцов при ширине полушнека фрезы 1600 мм равно 9;
- для обеспечения необходимой чистоты поверхности очищаемой транспортной трассы угол наклона осей вращения полушнеков к направлению движения режущей машины оптимально равен 84-86°;
- энергозатраты на транспортирование измельченной снежно-ледовой массы не превышают 25 % от общих затрат на работу шнековой фрезы.

Библиографический список

1. **Никандров, И.С.** Построение математической модели силы резания снежно-ледовой массы // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2019. № 2 (125). С. 187-191
2. **Зенков, Р.Л.** Машины непрерывного транспорта Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. / Р.Л. Зенков, И.И. Ивашков, Л.Н. Колобов. – М.: Машиностроение, 1987. – 432 с.

3. Патент RU 2765160 С1, МПК E01H4/00 E01H5/09 E01H5/12 Устройство для очистки ледовой поверхности от снежно-торосовых образований / И.С. Никандров, В.Ф. Кулепов, А.Д. Шурашов, М.И. Никандров, В.В. Трегубова. Заявл. 2021-06-15, опубл. 2022-01-26, Бюл. № 3-5с.
4. Патент RU 2 263177 С1, МПК E01H 5/12. Устройство для рыхления и скалывания снежно-ледяных образований на дорожных покрытиях/ Ю.Н. Возный. Заявл. 2004.02.24, опубл. 2005.10.27, Бюл. № 30-бс.
5. Патент SU 1090791 А, МПК E01H 5/12. Устройство для очистки прилотовой части дорог / Ю.Г. Храпов, Е.С. Поляков, Д.И. Малиованов, Е.А. Шварцберг, К.А. Васильев. Заявл. 28.09.1982, опубл. 07.05.1984, Бюл. № 17-3с.
6. Патент RU 2463407 С1, МПК E01H 5/12. Устройство для разрушения снежно-ледяных образований на дорожных покрытиях/ Р.Б. Желукевич, В.А. Ганжа, А.В. Лысянников, Ю.Ф. Кайзер, Ю.Н. Безбородов. Заявл. 14.04.2011, опубл. 10.10.2012. Бюл. № 28-9с.

*Дата поступления
в редакцию: 22.05.2022*

*Дата принятия
к публикации: 01.03.2023*