

МОДЕРНИЗАЦИЯ ФРЕЗЕРНО-РОТОРНОГО СНЕГООЧИСТИТЕЛЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗИМНИХ ДОРОГ В ТУНДРЕ

Карнаухов Н.Н., Мадьяров Т.М., Морозов В.В., Рзаева А.Д.
Тюменский индустриальный университет, Тюмень

Ключевые слова: снежоледовые дороги, фрезерно-роторный снегоочиститель, снежная масса, процесс измельчения, рабочий орган, тундра.

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена необходимостью решения проблемы с уплотнением снега в тундре в зимний период, для последующего его использования в создании снежоледовых дорог как строительного материала. Проведен анализ существующих технологий строительства снежоледовых дорог. Выявлено, что существующая технология строительства дорог требует значительных временных, водных и материальных ресурсов, что характеризует создание снежоледовых дорог, как ресурсозатратное мероприятие. Предложена конструкция дополнительного рабочего оборудования для использования вместе с фрезерно-роторным снегоочистителем. Такая конструкция позволяет измельчить снег и уплотнить его до необходимых параметров, используя меньшее количество энергии. Ключевым преимуществом разрабатываемого решения является снижение общей ресурсоемкости процесса. За счет совмещения операций измельчения и уплотнения в одном цикле достигается экономия времени, энергии и материалов.

MODERNIZATION OF A ROTARY SNOWPLOW FOR BUILDING SNOW-ICE ROADS IN THE TUNDRA

Karnaukhov N.N., Madyarov T.M., Morozov V.V., Rzaeva A.D.
Industrial University of Tyumen, Tyumen

Keywords: snow-ice roads, rotary snowplow, snow mass, grinding process, working body, tundra.

Abstract. The relevance of this study stems from the need to address the problem of snow compaction in the tundra during winter, which can then be used as a building material for snow-and-ice roads. An analysis of existing snow-and-ice road construction technologies was conducted. It was found that current road construction technologies require significant time, water, and material resources, making the construction of snow-and-ice roads resource-intensive. A design for additional equipment for use with a snow-and-ice milling and rotary plow is proposed. This design allows for the crushing of snow and compaction to the required parameters using less energy. A key advantage of the developed solution is the reduction in overall resource intensity of the process. By combining crushing and compaction operations in a single cycle, savings in time, energy, and materials are achieved.

Введение

По данным на 2023 год, общая протяжённость автозимников составила 28 тысяч километров. Даже опираясь на эти данные, уже можно заявить о значимости постройки и использования подобных транспортных артерий, обеспечивающих связь регионов Крайнего Севера и просто удалённых к Полярному кругу частей территории Российской Федерации с другими субъектами, зачастую являющимися для северных земель источниками ресурсов для комфортного проживания [1, 2].

Каждый год государство и компании тратят очень большие деньги на создание и содержание снежоледовых путей сообщения. Подобные дороги очень привязаны к сезону: в большинстве своём они имеют срок жизни не более полугода, то есть к концу ноября их открывают для движения с ограничениями, а уже к середине апреля – началу мая движение по ним закрывают, так как автозимник по климатическим причинам становится непригоден к использованию. Преобладание автомобильных путей сообщения над остальными также развивает гипотезу о том, насколько важно понимание данного вопроса и корректное сооружение снежоледовых автодорог в условиях тундры с её почвенными и климатическими особенностями. При строительстве зимних дорог основной задачей является уплотнение снега до необходимых значений (рис. 1).



Рис. 1. Выравнивание снежной поверхности волокушами

Это наиболее хорошо происходит при температуре около -4 градусов Цельсия. При температуре ниже -8 градусов уплотнение снега в разы усложняется, так как он становится рыхлым и перестает быть влажным и липким, что требуется для грамотного создания спрессованной массы [3].

Анализ технологий

Уплотняют снег разными способами. Первый из них – растепление с помощью сжигания топлива. На это уходит много самого горючего вещества, и, соответственно, много материальных средств, из-за чего дороги получаются менее экономически целесообразными в возведении. Второй способ уплотнить снег – его увлажнение. Увлажняют снег при помощи воды в жидком агрегатном состоянии [4, 5]. Так как незамерзающий источник воды в тундре найти сложно, то воду зачастую привозят из ранее изведенного места. Подобным местом может быть скважина, большая река с насосом ниже глубины промерзания и другие подобные объекты. Даже при условии отсутствия платы за саму воду, доставка её на место строительства автозимника является достаточно дорогой, так как возить жидкость надо на утепленных автоцистернах, к тому же, само перемещение проходит в сложных условиях (низкие температуры -10°C и ниже, высокий расход топлива, не самые эффективные скорости перемещения). Получается, что чем дальше дорога от источника воды, тем выше становится ее стоимость и тем меньше рентабельность. Большие материальные затраты уходят на уплотнение снега. Приведённую выше проблему можно решить, если найти способ уплотнять снег при меньшем уровне его увлажнения. На основе данного процесса уплотнения снега без воды можно сконструировать потенциально эффективную модель машины для постройки зимних дорог [6-10].

Основная идея модернизации техники состоит в том, что снег перед укладкой необходимо измельчить. Измельчение будет происходить из-за частого его перемешивания при прочих атмосферных условиях (в тундре при холодной погоде). Так как снег хорошо измельчается как при контакте с внешними материалами, так и при контакте с самим собой, то можно направлять снег навстречу движению другого снега. Из этого следует, что целесообразно использование нескольких валов, движущихся в одну сторону, с большим количеством узких лопаток на них. Валы будут ударять снег, тем самым измельчая его, причём часть снежной массы станет двигаться вместе с лопатками в круговой траектории, пока не столкнётся с другим потоком снега,двигающимся за лопатками на другом валу. Для большей производительности валы с лопатками будут установлены с перекрытием рабочей зоны друг друга (рис. 2).

Так как модернизируемое оборудование является востребованным не во всех условиях работы снегоочистителя, то оно станет вспомогательным и сможет устанавливаться на стандартный шнекороторный или фрезерно-роторный снегоочиститель, а при необходимости

– сниматься. Для дальнейшего описания стоит отметить его размеры: берётся дополнительное оборудование для постановки на стандартное, то есть габариты надо взять от стандартного снегоочистителя – 2600 мм в ширину и 1250 мм в высоту.

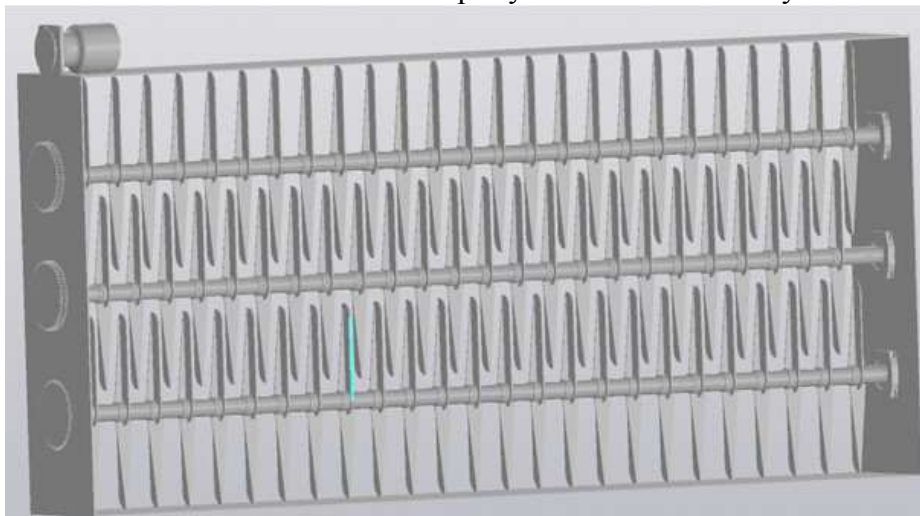


Рис. 2. Общий вид измельчителя

Расчетная часть

Расчет необходимой мощности, затрачиваемой на вращение валов:

$$N = N_{1n} + N_{2n}, \quad (1)$$

где N_{1n} , N_{2n} – мощность, затрачиваемая соответственно на вращение 1 и 2 валов;

$$N_{1n} = 10^{-3} \cdot P_{pn} \cdot \left(R_a \cdot \omega_n - \frac{\pi \cdot v_m}{z} \right) \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \delta), \quad (2)$$

P_{pn} – суммарная сила сопротивления снега резанию винтовой лопастью питателя; R_a – радиус окружности вращения питателя; ω_n – угловая скорость питателя; v_m – рабочая скорость снегоочистителя; z – число заходов винтовой лопасти питателя; α – угол подъема винтовой лопасти питателя; δ – угол внешнего трения снега.

$$P_{pn} = \frac{2 \cdot 10^6 \cdot \pi^2 \cdot K_{pez} \cdot R_a \cdot B \cdot v_m \cdot z_n}{\omega_n \cdot z \cdot t_n \cos \alpha}, \quad (3)$$

где K_{pez} – удельное сопротивление снега резанию; B – ширина захвата питателя; z_n – число винтовых рабочих органов питателя; t_n – шаг шнека.

$$N_{2n} = 1,39 \cdot 10^{-3} \frac{B \cdot \omega_n^2 \cdot R_a \cdot \Pi_{TEX} \cdot \operatorname{tg} \rho \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \delta)}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha}, \quad (4)$$

где Π_{TEX} – техническая производительность роторного снегоочистителя; ρ – угол внутреннего трения снега;

$$\Pi_{TEX} = 3,6 \cdot B \cdot H \cdot v_m \cdot \gamma, \quad (5)$$

где H – толщина удаляемого снежного покрова; γ – плотность снега.

Дальнейшие расчеты выполнены при следующих значениях исходных данных: скорость движения снегоочистителя $v = 0,16$ м/с; ширина захвата питателя $B = 2,59$ м; плотность снега $\gamma = 0,4$ т/м³; толщина снежного покрова $H = 0,3$ м; число заходов винтовой лопасти $z_n = 2$; угол подъема винтовой лопасти $\beta = 20^\circ$; угол внешнего трения снега $\delta = 25^\circ$; угол внутреннего трения снега $\rho = 22^\circ$; удельное сопротивление снега резанию $K_{pez} = 100$ Н/м². Выбранные значения показателей в целом соответствуют реальным условиям эксплуатации в тундре и типичным параметрам снежного покрова данного региона.

С учетом принятых данных

$$\Pi_{TEX} = 3,6 \cdot 2,59 \cdot 1 \cdot 0,16 \cdot 400 = 596,736 \text{ т/ч (600 т/ч при округлении);}$$

$$N_{2n} = 1,39 \cdot 10^{-3} \frac{259 \cdot 26^2 \cdot 0,275 \cdot 600 \cdot 1 \cdot 1}{2 \cdot 1} = 20 \text{ кВт};$$

$$P_{pn} = \frac{2 \cdot 10^6 \cdot 3,14^2 \cdot 0,09 \cdot 0,275 \cdot 2,59 \cdot 0,16 \cdot 3}{26 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 1} = 233363,08 \text{ Н};$$

$$N_{1n} = 10^{-3} \cdot 233363 \cdot \left(0,275 \cdot 26 - \frac{3,14 \cdot 0,16}{1} \right) \cdot 1 = 1600 \text{ Вт};$$

$$N = 20 \text{ кВт} + 1600 \text{ Вт} = 21,6 \text{ кВт}.$$

Т.к. в конструкции измельчителя предусмотрено три рабочих вала, то предполагается, что мощность распределяется между всеми валами равномерно:

$$21,6 \div 3 = 7,2 \text{ кВт}.$$

В свою очередь, крутящий момент, передаваемый на валы измельчителя, определяется следующим образом:

$$M = 9550 \cdot \frac{7,2}{250} = 275 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Необходимость расчёта данного параметра обусловлена определением прочности валов и элементов трансмиссии, а также производительности при заданных параметрах работы.

Результаты

Результат проверки вала на кручение (рис. 3) показал, что вал выдержит нагрузку с многократным запасом. Расчет прочности вала на изгиб (рис. 4) показал, что вал выдержит данную нагрузку с запасом в 50%. Это означает, что вал подобран верно и не послужит причиной отказа рабочего оборудования даже при внештатной нагрузке.

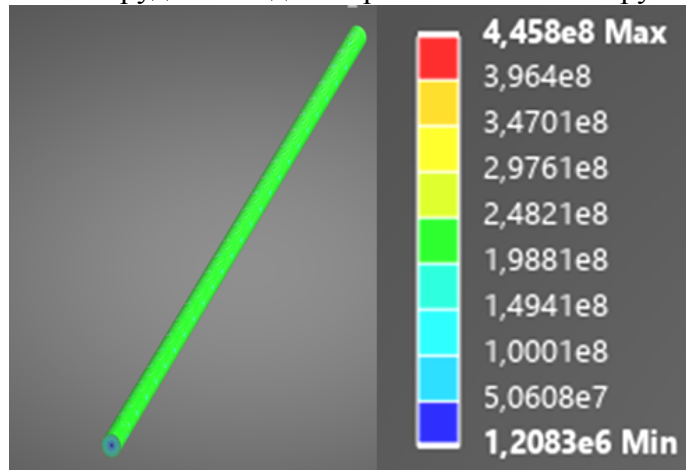


Рис. 3 Нагрузка на кручение, нагрузочная диаграмма (данные приведены в МПа)

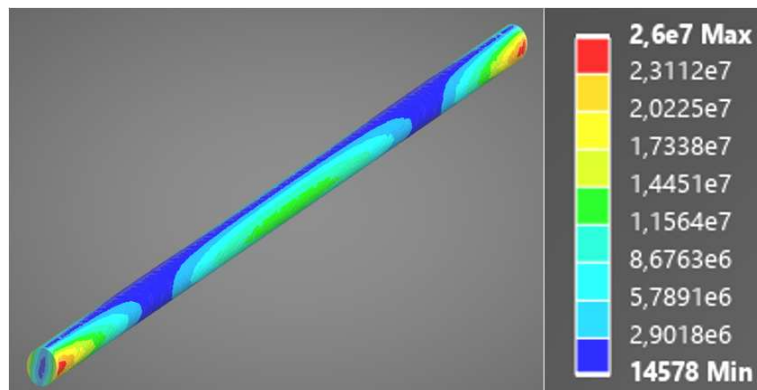


Рис. 4. Расчёт вала на изгиб, нагрузочная диаграмма (данные приведены в МПа)

Далее была разработана система передачи крутящего момента с гидромотора на валы (рис. 5).

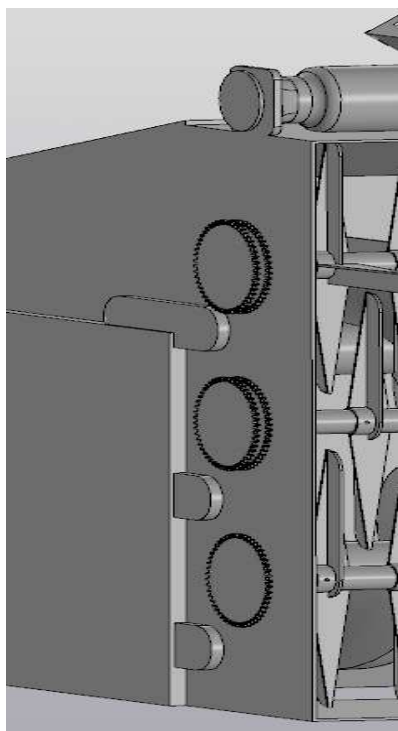


Рис. 5. Система передачи крутящего момента

При рассмотрении возможных вариантов выбор пал на цепную передачу, которая имеет потенциально наиболее низкую стоимость реализации и высокую простоту монтажа, следовательно, наивысшую рентабельность и экономическую эффективность. Крутящий момент на валах известен, соответственно, есть возможность рассчитать прочность звезды в программе ANSYS.

По рисунку 6 видно, что шестерня не испытывает серьезных напряжений при передаче крутящего момента с цепи на вал.

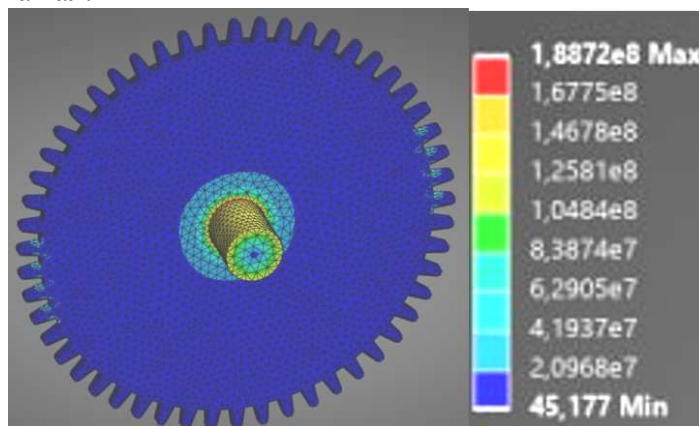


Рис. 6. Распределение нагрузки на шестерне, нагрузочная диаграмма (данные приведены в МПа)

В заключение следует отметить, что процесс измельчения снежной массы является критически важным для строительства зимних дорог. Решение задачи по изменению структуры снега с целью его дальнейшего применения обуславливает экономическую целесообразность данных работ. Кроме того, совершенствование технологии напрямую связано с разработкой новых конструкций и специализированной техники. В дальнейшем исследование будет направлено на решение проблемы синхронизации частоты вращения валов силовых элементов.

Вывод

Ключевым преимуществом разрабатываемого решения является снижение общей ресурсоемкости процесса. За счет совмещения операций измельчения и уплотнения в одном цикле достигается:

1. Экономия времени: сокращение количества проходов техники и исключение стадии независимой проливки.
2. Экономия энергии: уменьшение энергозатрат на единицу объема уплотненного снега благодаря оптимизированному силовому воздействию.
3. Экономия материалов: снижение или полное исключение потребности в воде для формирования прочного ледового слоя.

Список литературы

1. Шитый В.П., Шаруха А.В. Временные зимние дороги из снега как способ развития социально-экономической инфраструктуры северных территорий // Управленческий учет. – 2022. – №4-2. – С. 340-346. – DOI: 10.25806/uu4-22022340-346.
2. Шитый В.П., Шаруха А.В., Мерданов Ш.М., Сысоев Ю.Г. Обоснование целесообразности создания машин совмещающих технологические операции при строительстве снежоледовых дорог // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №3. – С. 145.
3. Мерданов Ш.М., Егоров А.Л. Механизированный комплекс для строительства и содержания временных зимних дорог // Транспорт и машиностроение Западной Сибири. – 2020. – №2. – С. 22-28.
4. Шитый В.П., Шаруха А.В. Техничко-экономическое обоснование возведения временных зимних дорог из снега // Экономика и предпринимательство. – 2021. – №2(127). – С. 1304-1306. – DOI: 10.34925/EIP.2021.127.2.261.

5. Егоров А.Л., Мерданов М.Ш., Черняков Е.Н., Чернякова О.О. Комплект машин для строительства временных зимних дорог // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – №5. – С. 50.
6. Мерданов Ш.М., Спиричев М.Ю., Шаруха А.В., Егоров А.Л. Технология строительства снеголедовых дорог // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – №5. – С. 112.
7. Мадьяров Т.М., Русмиленко А.К., Костырченко В. А. Компоновка комбинированной машины на базе автомобиля КамАЗ // Инженерный вестник Дона. – 2022. – №4(88). – С. 566-575.
8. Мадьяров Т.М., Русмиленко А.К., Костырченко В.А. Технология строительства автозимников специального назначения для перевозки негабарита с применением комбинированной машины // Инженерный вестник Дона. – 2021. – №10(82). – С. 291-300.
9. Русмиленко А.К., Мадьяров Т.М. Перспективы развития техники для строительства автозимников // Наземные транспортно-технологические комплексы и средства: Материалы международной научной-технической конференции, Тюмень, 08 февраля 2019 года. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2019. – С. 230-233.
10. Мерданов Ш.М. Научные основы создания комплексов машин для строительства временных зимних дорог в районах Севера и Сибири: автореф. дисс. ... докт. техн. наук. – Тюмень, 2010. – 38 с.

References

1. Shitiy V.P., Sharukha A.V. Temporary winter roads made of snow as a way to develop the socio-economic infrastructure of the northern territories // Managerial Accounting. 2022, no. 4-2, pp. 340-346. DOI: 10.25806/uu4-22022340-346.
2. Shitiy V.P., Sharukha A.V., Merdanov Sh.M., Sysoev Yu.G. Substantiation of expediency of creation of machines combining technological operations in construction of snow-and-ice roads // Modern problems of science and education. 2014, no. 3, p. 145.
3. Merdanov Sh.M., Egorov A.L. Mechanized complex for construction and maintenance of temporary winter roads // Transport and mechanical engineering of Western Siberia. 2020, no. 2, pp. 22-28.
4. Shitiy V.P., Sharukha A.V. Technical and economic substantiation of construction of temporary winter roads from snow // Economics and Entrepreneurship. 2021, no. 2(127), pp. 1304-1306. DOI: 10.34925/EIP.2021.127.2.261.
5. Egorov A.L., Merdanov M.Sh., Chernyakov E.N., Chernyakova O.O. A set of machines for the construction of temporary winter roads // Modern Problems of Science and Education. 2013, no. 5, p. 50.
6. Merdanov Sh.M., Spirichev M.Yu., Sharukha A.V., Egorov A.L. Technology of snow and ice road construction // Modern Problems of Science and Education. 2013, no. 5, p. 112.
7. Madyarov T.M., Rusmilenko A.K., Kostyrchenko V.A. Layout of a combined machine based on a KamAZ vehicle // Engineering Bulletin of the Don. 2022, no. 4(88), pp. 566-575.
8. Madyarov T.M., Rusmilenko A.K., Kostyrchenko V.A. Technology of construction of special-purpose winter roads for transportation of oversized cargo using a combined machine // Engineering Bulletin of the Don. 2021, no. 10(82), pp. 291-300.
9. Rusmilenko A.K., Madyarov T.M. Prospects for the Development of Equipment for the Construction of Winter Roads // Terrestrial Transport and Technological Complexes and Means: Materials of the International Scientific and Technical Conference, Tyumen, February 8, 2019. – Tyumen: Tyumen Industrial University, 2019. – P. 230-233.
10. Merdanov Sh.M. Scientific Foundations of Creating Complexes of Machines for Building Temporary Winter Roads in the Regions of the North and Siberia: Abstract of the diss. ... doct. of tech. sc. – Tyumen, 2010. – 38 p.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Карнаухов Николай Николаевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Транспортных и технологических систем	Karnaukhov Nikolai Nikolaevich – doctor of technical sciences, professor, professor of the Department of transport and technological systems
Мадьяров Тимур Маратович – старший преподаватель кафедры Транспортных и технологических систем	Madyarov Timur Maratovich – senior lecturer at the Department of transport and technological systems
Морозов Вячеслав Валерьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры Транспортных и технологических систем	Morozov Vyacheslav Valerievich – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of transport and technological systems
Рзаева Амалия Джейхуневна – студент madjarovtm@tyuiu.ru	Rzaeva Amalia Dzheikhunovna – student

Получена 11.11.2025