

УДК. 624.139

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-2-160-167>

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИНТОВОГО БУРА НА МЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

И.Г. Мартюченко, М.И. Зенин
ФГБОУ ВО «СГТУ имени Ю.А. Гагарина»
г. Саратов, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Бурение мерзлых и вечномерзлых грунтов является одним из сложных и энергоемких процессов производства земляных работ. Буровые инструменты, используемые на мерзлых грунтах, реализуют процесс бурения грунта деформацией резания или дробящего действия. Существующие буровые инструменты недостаточно эффективны в использовании, т.к. реализуют энергоемкие процессы бурения и не всегда пригодны для различных типов грунтов. Рассматривается винтовой бур, который реализует процесс разрушения грунта деформацией сдвига и скола, что является менее энергоемким.

Материалы и методы. На основе теоретических исследований взаимодействия трех типов буровых инструментов с мерзлым грунтом был проведен сравнительный анализ для определения эффективности использования винтового бура. Сравнивали технические показатели процесса бурения. Приведена методика определения эффективности использования винтового бура на базе анализа специальных целевых функций.

Результаты. Получены результаты сравнительного анализа буровых инструментов. В зависимости от характера деформации грунта определена эффективность одного бурового инструмента над другим. В результате сравнительного анализа скорости бурения и энергоёмкости процесса бурения была установлена эффективность винтового бура.

Заключение. В ходе проведенного сравнительного анализа установлена эффективность винтового бура, реализующего деформацию сдвига и отрыва грунта, обосновывающая целесообразность проведения дальнейших исследований.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: винтовой бур, мерзлый грунт, бурение мерзлого грунта, винтовая лопасть, откол грунта, внедрение лопасти, разрушающая часть, буровой инструмент.

Поступила 05.02.21, принята к публикации 28.04.21.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Мартюченко И.Г. Сравнительный анализ эффективности использования винтового бура на мерзлых грунтах / И.Г. Мартюченко, М.И. Зенин. – DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-2-160-167> // Вестник СибАДИ. – 2021. – Т. 18, № 2(77). – С. 160-167.

© Мартюченко И.Г., Зенин М.И., 2021



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-2-160-167>

COMPARATIVE ANALYSIS OF EFFICIENCY OF USE A SCREW DRILL ON FROZEN SOIL

Igor G. Martiuchenko, Maksim I. Zenin
Y.A. Gagarin Saratov State Technical University
Saratov, Russia

ABSTRACT

Introduction. Drilling of frozen and permafrost soils is one of the complex and energy-intensive processes of earthworks. Drilling tools used on frozen soils implement the process of drilling the soil by deformation of cutting or crushing action. Current drilling tools are not efficient enough to use because they implement energy-intensive drilling processes and are not always suitable for various types of soils. A screw drill is considered, which implements the process of soil destruction by shear and shear deformation, which is less energy intensive.

Materials and methods. On the basis of theoretical studies of the interaction of 3 types of drilling tools with frozen soil, a comparative analysis was carried out to determine the efficiency of a screw drill use. The technical and economic indicators of the drilling process were compared. A method for determining the efficiency of the use a screw drill based on the analysis of special target functions is presented.

Results. The results of a comparative analysis of drilling tools have been obtained. Depending on the nature of soil deformation, the effectiveness of one drilling tool over another is determined. As a result of a comparative analysis of the drilling speed and the energy intensity of the drilling process, the efficiency of the screw drill was established.

Discussions and conclusion. In the course of the comparative analysis, the efficiency of the screw drill was determined, which implements shear deformation and soil separation, justifying the feasibility of further research.

KEYWORDS: screw drill, frozen soil, frozen soil drilling, screw blade, ground break, blade insertion, breaking part, drilling tool.

Submitted 05.02.21, revised 28.04.21.

The authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation: Martiuchenko I.G., Zenin M.I. Comparative analysis of efficiency of use a screw drill on frozen soil. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2021; 18(2): 160-167. DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-2-160-167>

© Martiuchenko I.G., Zenin M.I., 2021



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Более 25% всей поверхности земли занимает территория вечномёрзлых грунтов и 55% территории сезонного промерзания грунтов от районов Восточной Сибири, Северной Канады, Аляски, Гренландии до Арктики и Антарктиды. В связи с активным освоением этих территорий, в том числе добычей полезных ископаемых, возникают трудности при бурении грунтов, что обуславливается постоянным созданием новых или совершенствования существующих буровых инструментов [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]. Причиной этого является достаточно сложная структура мерзлых грунтов, которые характеризуются высокими прочностными свойствами [8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15].

В настоящее время для бурения мерзлых грунтов используются различные типы буров, осуществляющих различные виды деформации. По характеру разрушения мерзлого грунта буровые долота разделяют на режущего, дробящего и режуще-дробящего действий. Каждый тип бурового инструмента имеет свои преимущества на определённых типах грунтов. Таким образом, выделяют лопастные, шарошечные и комбинированные буровые инструменты, которые наиболее часто используются при бурении скважин.

Исследованию и развитию буровых инструментов, которые осуществляют разрушение грунта деформацией резания и истиранием, посвящены работы как отечественных ученых В.Г. Бугаева, Н.Г. Тимофеева, Р.М. Скрыбина, Б.В. Яковлева, С.А. Линькова, С.П. Ереско, Ю.П. Никифорова, В.Д. Рубцова [16, 17], так и зарубежных Li H., Liu S., De Moura J [18, 19].

Реализуемый характер деформации грунта при бурении широко используемыми типами инструментов является энергоёмким. Следует отметить повышенный износ бурового инструмента, что делает скважину с уменьшенным размером [16, 17].

К числу бурового инструмента, реализующего менее энергоёмкий процесс разрушения грунта, относятся долота шарошечного типа. Исследованиям шарошечных долот посвящены работы отечественных ученых В.Д. Буткина, А.В. Гилева, Р.М. Богомолова, В.А. Пяльниченкова, В.В. Долгушина, А.Ф. Брагина, В.Н. Виноградова, Д.Ю. Серикова, В.А. Ясашина [20, 21, 22, 23] и зарубежных авторов Darwesh A. K., Rasmussen T.M., Zhang, Jie [24, 25, 26].

При взаимодействии рабочих элементов долота с грунтом происходит вдавливание и перекачивание шарошек, осуществляется процесс деформации, соответствующий сжа-

тию, такой характер разрушения грунта менее энергоёмкий по сравнению с характером разрушения грунта, реализуемым долотами режущего типа [21, 22, 23].

К недостаткам процесса бурения, реализуемого долотами шарошечного типа, можно отнести возможность работы шарошечных долот только на мерзлых грунтах, подверженных хрупкому разрушению. На грунтах с пластичными свойствами процесс бурения неэффективен из-за того, что пластичные грунты не поддаются разрушению дроблением. Недостатком долот является также сложность конструкций и применение дорогостоящих высококачественных сталей и твердых сплавов, и, как следствие, низкая ремонтпригодность и высокая стоимость. При перекачивании с зуба на зуб шарошки возникает ударное напряжение, которое приводит к уменьшению срока службы подшипников и, соответственно, выходу из строя рабочего инструмента.

С целью реализации менее энергоёмкого способа разрушения грунта предложена конструкция винтового бура. В процессе бурения винтовым буром происходит деформация сдвига и отрыва грунта, что является новым способом разрушения грунта. Такой способ деформации мерзлого грунта является менее энергоёмким и более эффективным для процесса бурения и перспективным для дальнейших исследований [27].

Предлагаемый винтовой бур состоит из заходной и разрушающей частей. Заходная часть бура создает тяговое усилие, необходимое для работы бурового инструмента без задавливающей нагрузки, и состоит из конического сердечника с размещенной на нем винтовой лопастью переменного радиуса и постоянного шага. Разрушающая часть содержит винтовую лопасть с переменными геометрическими параметрами, которая и выполняет процесс разрушения мерзлого грунта посредством внедрения винтовой лопасти в породу и последующий ее отрыв [28].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На основе теоретических исследований взаимодействия лопастного и шарошечного долот с мерзлым грунтом [16, 17, 18, 19, 20, 21, 22] и полученных теоретических исследований взаимодействия винтового бура с мерзлым грунтом был проведен сравнительный анализ для определения эффективности винтового бура по алгоритму (рисунок 1). Первым этапом происходило определение оценки эффективности бурения по способу ре-

лизации физического процесса разрушения грунта. Далее производилось определение коэффициента эффективности скорости бурения винтового бура относительно лопастного долота и следом определение коэффициента эффективности скорости бурения винтового бура относительно шарошечного долота. По-

следним этапом производилось определение коэффициента эффективности энергоёмкости процесса бурения винтовым буром относительно лопастного долота и, соответственно, определение коэффициента эффективности энергоёмкости процесса бурения винтовым буром относительно шарошечного долота.

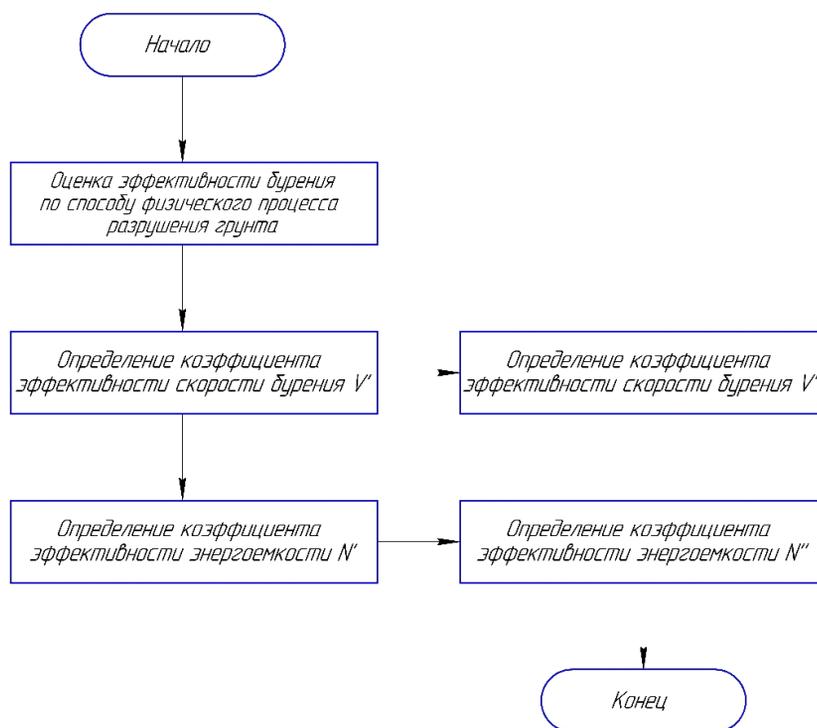


Рисунок 1 – Алгоритм сравнительного анализа для определения эффективности винтового бура

Figure 1 – Comparative analysis algorithm for determining the efficiency of a screw drill

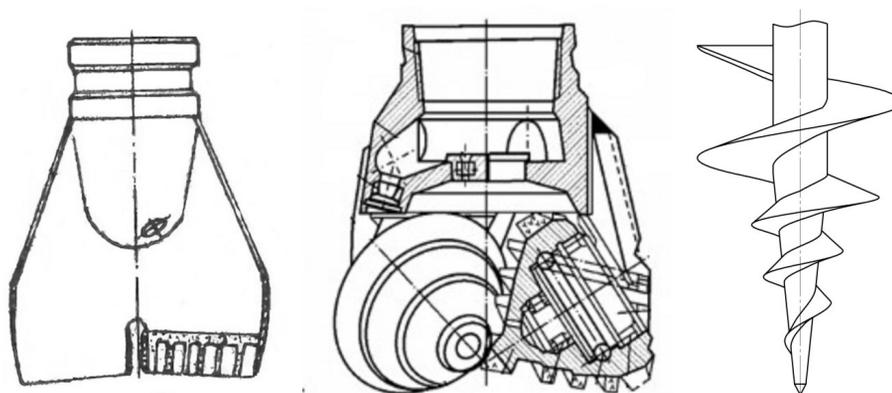


Рисунок 2 – Исследуемые буровые инструменты: лопастное долото, шарошечное долото и винтовой бур

Figure 2 – Drilling tools under study: a blade bit, a ball bit and a screw drill

Таблица 1
Относительные соотношения удельного сопротивления мерзлого грунта различным видам деформации

Table 1
Relative ratios of the specific resistance of frozen soil to various types of deformation

Характер деформации	Разрыв	Сжатие	Сдвиг	Изгиб	Резание	Вдавливание
Среднее значение относительного показателя	1	3	1,7	2	7	21

Для определения эффективности использования винтового бура на мерзлых грунтах сравнительный анализ проводился для трех типов буровых инструментов, таких как винтовой бур, лопастное долото, шарошечное долото (рисунок 2).

Исследовались такие параметры, как скорость бурения и энергоёмкость при работе данных типов буровых инструментов при диаметре 150 мм. Оценка эффективности бурового инструмента производилась также по видам реализуемых деформаций с учетом относительных соотношений удельного сопротивления мерзлого грунта различным видам деформации (таблица 1).

В соответствии с рекомендациями В. И. Баловнева [29] эффективность использования бурового инструмента была оценена на базе анализа специальных целевых функций, которые представляются в виде отношения разности величин и определяются по следующей зависимости:

$$K_3 = 1 - \frac{\Phi_1}{\Phi_2}, \quad (1)$$

где Φ_1 – функция, определяющая величину, которая характеризует протекание соответствующего процесса для традиционного бурового инструмента;

Φ_2 – функция, определяющая величину, которая характеризует протекание соответствующего процесса для винтового бурового инструмента.

Выражения для определения коэффициента эффективности использования винтового бура имеют следующий вид:

Для скорости бурения

$$V = 1 - \frac{V_1}{V_2}, \quad (2)$$

где V_1 – скорость бурения мерзлого грунта существующим видом бурового инструмента;

V_2 – скорость бурения мерзлого грунта предлагаемого вида бурового инструмента.

Для энергоёмкости

$$N_{y3} = 1 - \frac{N_2}{N_1}, \quad (3)$$

где N_1 – энергоёмкость бурения мерзлого грунта, которая достигается существующим видом бурового инструмента;

N_2 – энергоёмкость бурения мерзлого грунта, которая достигается винтовым буром.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе сравнительного анализа было установлено, что самый энергозатратный процесс бурения наблюдается при работе лопастным долотом со сплошной кромкой, что обуславливается характером разрушения мерзлого грунта. Такой характер разрушения грунта соответствует деформации резания. Усилия, затрачиваемые на процесс резания грунта, соответствуют значению 7 по критерию относительного показателя для мерзлого грунта (см. таблицу 1). Кроме того, деформация резания породы сопровождается высоким сопротивлением вдавливанию породоразрушающих элементов долота в мерзлый грунт, что приводит к большим значениям осевых нагрузок. Также снижается толщина срезаемой стружки грунта, равная глубине внедрения лопасти в грунт, что, соответственно, снижает скорость бурения грунта.

Рабочий процесс, осуществляемый долотами со ступенчатыми лезвиями, является менее энергоёмким по сравнению с процессом бурения, реализуемого лопастными долотами со сплошной кромкой на 25–30%. Снижение энергоёмкости объясняется иным характером взаимодействия рабочих элементов с грунтом, при котором реализуются деформации резания и скалывания. Последовательное расположение резцов долота позволяет снизить сопротивление вдавливания породоразрушающих элементов в грунт, что приводит к увеличению срезаемой толщины мерзлого грунта и, соответственно, к увеличению скорости бурения до 10%.

Таблица 2
Оценка эффективности использования винтового бура

Table 2
Evaluation of the efficiency of the use a screw drill

Показатель	Тип бурового инструмента		
	Лопастное долото	Винтовой бур	Шарошечное долото
Скорость бурения, м/ч	36	95	55
Коэффициент эффективности			
Энергоемкость бурения, кВт*ч/м	54.2	20	37.5
Коэффициент эффективности	0.63		
		0.47	

Процесс бурения, производимый шарошечными долотами на мерзлых грунтах, на 45–50% менее энергозатратный в сравнении с энергозатратами бурения, реализуемого лопастными долотами. Разрушение грунта породоразрушающими элементами шарошечного долота происходит под действием деформации сжатия, ведущей к дроблению породы. Также за счет разрушения дроблением повышается скорость прохождения скважины на 20–30% по сравнению со скоростью, осуществляемой лопастными долотами.

Самая низкая энергоемкость процесса бурения была получена при работе винтового бура. Установлено, что значение энергоемкости, затрачиваемой при работе винтовым буром, меньше до 20–30%, чем при работе шарошечным, и до 65–70% ниже, чем при работе лопастным долотом. Это обуславливается тем, что разрушение грунта осуществляется деформацией сдвига и отрыва породы (см. таблицу 1).

Результаты оценки эффективности использования винтового бура относительно лопастного и шарошечного долот представлены в таблице 2.

В результате оценки эффективности использования винтового бура была подтверждена перспективность направления развития конструкций винтовых буров. Было установлено, что возможно получить увеличение скорости бурения и снижение энергоемкости процесса бурения за счет реализации характера разрушения грунта деформацией сдвига отрыва.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассматриваемый винтовой бур осуществляет процесс бурения за счет деформаций отрыва и сдвига грунта. Проведенный сравнительный анализ подтвердил перспективность совершенствования винтового бурового инструмента и целесообразность проведения

дальнейших исследований, направленных на определение рациональных геометрических параметров бура и режимов рабочего процесса бурения, реализующих наибольшую эффективность бурения скважин в мерзлых грунтах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Lev V. E., Lev V. E., Izzy M. K. Well drilling in permafrost regions: dynamics of the thawed zone. *Polar Research*. 2019. vol. 38.
2. Shan W. et al. Resistivity Model of Frozen Soil and HighDensity Resistivity Method for Exploration *Discontinuous Permafrost. Electrical Resistivity and Conductivity*. 2017. pp. 23-52.
3. Cao P. et al. Experimental study of the drilling process in debris-rich ice. *Cold Regions Science and Technology*. 2015. vol. 120. pp. 138-144.
4. Zubrzycki S. Drilling frozen soils in Siberia. *Polarforschung*. 2012; 81(2): 151-153.
5. Arenson L. U., Springman S. M. Mathematical descriptions for the behaviour of ice-rich frozen soils at temperatures close to 0 C // *Canadian Geotechnical Journal*. – 2005; 42(2): 431-442.
6. Герасимов Д. С. [и др.]. О влиянии режима нагружения на механические свойства мерзлых грунтов // Наземные транспортно-технологические комплексы и средства. 2016. С. 73–77.
7. Yang Z. J., Still B., Ge X. Mechanical properties of seasonally frozen and permafrost soils at high strain rate. *Cold regions science and technology*. 2015, vol. 113, pp. 12-19.
8. Aksenov, V.I., Kal'bergenov, R.G. & Leonov, A.R. Strength Characteristics of Frozen Saline Soils. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2003, 40:55–59
9. Yang Y., Lai Y., Chang X. Laboratory and theoretical investigations on the deformation and strength behaviors of artificial frozen soil // *Cold regions science and technology*. – 2010; 64(1): 39-45.
10. Zhou G. et al. Laboratory investigation on tensile strength characteristics of warm frozen soils // *Cold Regions Science and Technology*. – 2015. – Т. 113. – pp. 81-90.
11. Тимофеев Н.Г., Жирков А.Н. Концепция разработки инновационного породоразрушающего инструмента для бурения скважин в условиях криолитозоны // *Евразийский союз ученых*. 2015. №4. С. 151–154.

12. Talalay P. G. Introduction to Ice Drilling Technology. *Mechanical Ice Drilling Technology*. Springer, Singapore, 2016. pp. 1-8.
13. Ивкин В.С., Алашеев М.О. Влияние физико-механических свойств грунтов на работу машин для земляных работ // Вестник УлГТУ. 2015. №3. С. 62–67.
14. Ивкин В. С., Вунберова Н. П. Малообъемные, рассредоточенные зимние земляные работы в стеснённых условиях строительства // Вестник Ульяновского государственного технического университета. 2018. №. 2. С. 52–55.
15. Валигура Н. С. Способы бурения неглубоких скважин // Разведка и охрана недр. 2014. №. 2. С. 27–30.
16. Тимофеев Н. Г., Скрыбин Р. М., Яковлев Б. В. Повышение эффективности работы породоразрушающего инструмента при бурении скважин в многолетнемерзлых породах // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2017. №. 6. С. 105–113.
17. Скрыбин Р. М., Леонтьев С. Н., Тимофеев Н. Г. Бурение скважин большого диаметра пневмоударным кластером в породах высокой категории буримости // Геология и минерально-сырьевые ресурсы северо-востока России. 2017. С. 570–574.
18. Li H., Liu S., Chang H. Experimental research on the influence of working parameters on the drilling efficiency. *Tunnelling and Underground Space Technology*. – 2020. – Т. 95. – pp. 103-174. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2019.103174>
19. De Moura J. et al. Widening Drilling Operation: Performance Analysis on the Application of Fixed Cutter Drill Bits in Hard Rock Formation // International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering. – American Society of Mechanical Engineers, 2020. – Т. 84430. – С. V011T11A078. <https://doi.org/10.1115/OMAЕ2020-18836>
20. Бугаев В. Г., Ереско С. П., Бугаев И. В. Выбор рационального угла резания мерзлых грунтов при бурении строительных скважин // Строительные и дорожные машины. 2018. №. 2. С. 30–36.
21. Богомолов Р. М. [и др]. Бурение дополнительных боковых стволов долотами PDC // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2018. №. 2. С. 17–20.
22. Панин Н. М., Богомолов Р. М. Совершенствование промывки шарошечных буровых долот // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2020. №. 9. С. 11–14.
23. Сериков Д. Ю. Анализ конструкций и технологий изготовления твердосплавного вооружения шарошечных буровых долот // Сфера. Нефть и Газ. 2017. №. 1. С. 30–35.
24. Darwesh A.K., Rasmussen T.M., Al-Ansari N. Controllable drilling parameter optimization for roller cone and polycrystalline diamond bits. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*. – 2020. – Т. 10. – №. 4. – pp. 1657-1674. <https://doi.org/10.1007/s13202-019-00823-1>
25. Spurin, Jurij, et al. "The characterization of wear in roller cone drill bit by rock material–Sandstone." *Journal of Petroleum Science and Engineering* – 2019. – Т. 173. – pp. 1355-1367. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2018.10.090>
26. Zhang, Jie, and Yang Hu. "Mechanical behavior and sealing performance of metal sealing system in roller cone bits." *Journal of Mechanical Science and Technology* – 2019. – Т. 33. – №. 6. – pp. 2855-2862. <https://doi.org/10.1007/s12206-019-0533-5>
27. Мартюченко И.Г., Зенин М.И. Перспективы развития бурового инструмента для вечномёрзлых грунтов // Строительные и дорожные машины. 2019. №9. С.47–48.
28. Мартюченко И.Г., Зенин М.И. Взаимодействие винтовой лопасти бурового инструмента с мерзлым грунтом. Вестник СибАДИ. 2020;17(2):162-171. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-2-162-171>
29. Баловнев В. И. [и др.]. Определение оптимальных параметров транспортно-технологических машин методами теории подобных преобразований // Строительные и дорожные машины. 2019. №. 12. С. 3–11.

REFERENCES:

1. Lev V. E., Lev V. E, Izzy M. K. Well drilling in permafrost regions: dynamics of the thawed zone. *Polar Research*. 2019, 38: 1-9.
2. Shan W. et al. Resistivity Model of Frozen Soil and High-Density Resistivity Method for Exploration Discontinuous Permafrost. *Electrical Resistivity and Conductivity*. 2017: 23-52.
3. Cao P. et al. Experimental study of the drilling process in debris-rich ice. *Cold Regions Science and Technology*. 2015, 120: 138-144.
4. Zubrzycki S. Drilling frozen soils in Siberia. *Polarforschung*. 2012, vol. 81, no. 2, pp. 151-153.
5. Arenson L. U., Springman S. M. Mathematical descriptions for the behaviour of ice-rich frozen soils at temperatures close to 0 C. *Canadian Geotechnical Journal*. 2005, 42(2): 431-442.
6. Gerasimov D. S. On the influence of the loading regime on the mechanical properties of frozen soils. *Land transport and technological complexes and facilities*. 2016: 73-77.
7. Yang Z. J., Still B., Ge X. Mechanical properties of seasonally frozen and permafrost soils at high strain rate. *Cold regions science and technology*. 2015, 113: 12-19.
8. Aksenov, V.I., Kal'bergenov, R.G. & Leonov, A.R. Strength Characteristics of Frozen Saline Soils. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2003, 40: 55–59 (In Russian)
9. Yang Y., Lai Y., Chang X. Laboratory and theoretical investigations on the deformation and strength behaviors of artificial frozen soil. *Cold regions science and technology*. 2010, vol. 64, no. 1, pp. 39-45.
10. Zhou G. et al. Laboratory investigation on tensile strength characteristics of warm frozen soils. *Cold regions science and technology*. 2015, 113: 81-90.
11. Timofeev N.G., Zhirkov A.N. Konceptcija razrabotki innovacionnogo porodorazrushajushhego instrumenta dlja burenija skvazhin v uslovijah kriolitozony [The concept of developing an innovative rock cutting tool for drilling in cryolithozone conditions]. *Eurasian Union of Scientists*. 2015, 4: 151-154.
12. Talalay P. G. Introduction to Ice Drilling Technology. *Mechanical Ice Drilling Technology*. Springer, Singapore, 2016, pp. 1-8.
13. Ivkin V.S., Alasheev M.O. Vlijanie fiziko-mehaničeskikh svojstv gruntov na rabotu mashin dlja zemljanyh rabot [The influence of physical and mechanical proper-

ties of soils on the work of machines for earthworks]. *Bulletin of UISTU*. 2015, no. 3, pp. 62-67. (In Russian)

14. Ivkin V.S., Vunberova N.P. Malob#jomnye, rassredotochennye zimnie zemljanye raboty v stesnjonyh uslovijah stroitel'stva [Small, dispersed winter earthworks in cramped construction conditions]. *Vestnik of the Ulyanovsk State Technical University*. 2018, 2: 52-55. (In Russian)

15. Valigura N. S. Sposoby burenija neglubokih skvazhin [Methods of drilling shallow wells]. *Exploration and protection of the subsoil*. 2014, 2: 27-30. (In Russian)

16. Timofeev NG, Skryabin RM, Yakovlev BV Povyshenie jeffektivnosti raboty porodorazrushajushhego instrumenta pri burenii skvazhin v mnogoletnemerzlyh porodah [Improving the efficiency of rock-cutting tools when drilling wells in permafrost]. *Physical and technical problems of mining*. - 2017. 6: 105-113. (In Russian)

17. Scriabin RM, Leontiev SN, Timofeev NG Burenie skvazhin bol'shogo diametra pnevmoudarnym klasterom v porodah vysokoj kategorii burimosti [Drilling of large-diameter wells with a pneumatic impact cluster in rocks of a high drillability category]. *Geology and mineral resources of the North-East of Russia*. 2017: 570-574. (In Russian)

18. Li H., Liu S., Chang H. Experimental research on the influence of working parameters on the drilling efficiency. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2020. 95: 103-174. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2019.103174>

19. De Moura J. et al. Widening Drilling Operation: Performance Analysis on the Application of Fixed Cutter Drill Bits in Hard Rock Formation //International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering. – *American Society of Mechanical Engineers*, 2020. 84430: V011T11A078. <https://doi.org/10.1115/OMAE2020-18836>

20. Bugaev VG, Eresko SP, Bugaev IV Vybor racional'nogo ugla rezanija merzlyh gruntov pri burenii stroitel'nyh skvazhin [Choice of a rational angle of cutting frozen soils when drilling construction wells]. *Stroitelnye i dorozhnye mashiny*. 2018. 2: 30-36. (In Russian)

21. Bogomolov RM et al. Burenie dopolnitel'nyh bokovyh stvolov dolotami PDC [Drilling additional side-tracks with PDC bits]. *Equipment and technologies for the oil and gas industry*. 2018 2: 17-20. (In Russian)

22. Panin N.M., Bogomolov R.M. Sovershenstvovanie promyvki sharoshechnyh burovyh dolot [Improvement of flushing of roller cone drill bits]. *Construction of oil and gas wells on land and at sea*. 2020. 9: 11-14. (In Russian)

23. Serikov D. Yu. Analiz konstrukcij i tehnologij izgotovlenija tverdosplavnogo vooruzhenija sharoshechnyh burovyh dolot [Analysis of structures and manufacturing technologies of carbide weapons for roller-cutter drill bits]. *Sfera. Oil and gas*. 2017. 1: 30-35. (In Russian)

24. Darwesh A.K., Rasmussen T.M., Al-Ansari N. Controllable drilling parameter optimization for roller cone and polycrystalline diamond bits. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*. – 2020. 10. (4): 1657-1674. <https://doi.org/10.1007/s13202-019-00823-1>

25. Spurin, Jurij, et al. "The characterization of wear in roller cone drill bit by rock material–Sandstone." *Journal of Petroleum Science and Engineering* 2019. 173: 1355-1367. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2018.10.090>

26. Zhang, Jie, and Yang Hu. "Mechanical behavior and sealing performance of metal sealing system in roller cone bits." *Journal of Mechanical Science and Tech-*

nology 2019. 33(6): 2855-2862. <https://doi.org/10.1007/s12206-019-0533-5>

27. Martyuchenko I.G., Zenin M.I. Perspektivy razvitiya burovogo instrumenta dlja vechnomerzlyh gruntov [Prospects for the development of drilling tools for permafrost]. *Construction and road machines*. 2019. 9: 47-48. (In Russian)

28. Martyuchenko I.G., Zenin M.I. Vzaimodejstvie vintovoj lopasti burovogo instrumenta s merzlym gruntom [Interaction of a screw blade of a drilling tool with frozen soil. Scientific peer-reviewed] *The Russian Automobile and Highway Industry Journal* 2020; 17 (2): 162-171. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-2-162-171> (In Russian)

29. Balovnev VI et al. Opredelenie optimal'nyh parametrov transportno-tehnologicheskikh mashin metodami teorii podobnyh preobrazovanij [Determination of the optimal parameters of transport and technological machines by methods of the theory of similar transformations]. *Construction and road machines*. 2019; 12: 3-11. (In Russian)

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Мартюченко И.Г. Формулирование проблемы исследований, постановка задач исследования, обозначение алгоритма сравнительного анализа (50%).

Зенин М.И. Проведение сравнительного анализа буровых инструментов, анализ полученных результатов, выполнение обзора литературных источников (50%).

AUTHORS' CONTRIBUTION

Igor G. Martiuchenko – research problem statement, research tasks statement, comparative analysis algorithm determination (50%).

Maksim I. Zenin – conducting a comparative analysis of drilling tools, analyzing the results obtained, bibliography review (50%).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мартюченко Игорь Гаврилович – д-р техн. наук, проф., ORCID: 0000-0001-7067-6530 проф. кафедры «Транспортное строительство» ФГБОУ ВО «СГТУ имени Гагарина» (410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, e-mail: rosdortex_sstu@rambler.ru).

Зенин Максим Иванович – ассистент кафедры «Транспортное строительство» ФГБОУ ВО «СГТУ имени Гагарина» ORCID: 0000-0001-5296-6841 (410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, e-mail: zenin-1995@mail.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Igor G. Martyuchenko – Dr. of Sci., Professor, ORCID: 0000-0001-7067-6530, the Professor of the Transport Construction Department, Y.A.Gagarin Saratov State Technical University (410054, Saratov, Politechnicheskaja Street, 77 e-mail: rosdortex_sstu@rambler.ru)

Maksim I. Zenin – ORCID: 0000-0001-7067-6530, Assistant of the Transport Construction Department, Y.A.Gagarin Saratov State Technical University (410054, Saratov, Politechnicheskaja Street, 77 e-mail: zenin-1995@mail.ru).