

УДК 624.139

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-2-162-171>

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВИНТОВОЙ ЛОПАСТИ БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА С МЕРЗЛЫМ ГРУНТОМ

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. Существующие буровые инструменты недостаточно эффективны в использовании, т.к. реализуют энергоемкие процессы бурения и не всегда пригодны для различных типов грунтов. Перспективным является применение винтовых рабочих органов, реализующих процесс разрушения грунта менее энергоемкими видами деформаций. Целью проведенных экспериментальных исследований являлось изучение процесса взаимодействия винтовой лопасти бурового инструмента с мерзлым.

Материалы и методы. В статье описана методика проведения экспериментальных исследований изучения процесса взаимодействия винтовой лопасти бурового инструмента с мерзлым грунтом и исследуемые модели бурового инструмента. Изучено влияние геометрических параметров винтового бура на процесс образования скважины.

Результаты. В результате экспериментальных исследований доказана гипотеза о возможности осуществления процесса бурения деформацией отрыва и получения скважины диаметром больше диаметра разрушающего участка винтовой лопасти. Установлена зависимость объема разрушаемого грунта и отношения диаметра полученной скважины к диаметру разрушающей части винтовой лопасти от угла поворота радиуса винтовой лопасти, при котором происходит его приращение.

Заключение. Установлено, что винтовой буровой инструмент осуществляет бурение скважины за счет реализации деформации отрыва, что позволяет достигать более эффективного бурения и получать диаметр скважины большего размера, чем диаметр разрушающего участка винтовой лопасти.

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

Поступила 12.03.2020, принята к публикации 24.04.2020.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

Для цитирования: 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>

© Мартюченко И.Г., Зенин М.И.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-2-162-171>

INTERACTION OF A HELICAL BLADE OF A DRILLING TOOL WITH FROZEN GROUND

Igor G. Martiuchenko, Maksim I. Zenin

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Saratov State Technical university named after Y.A. Gagarin»,
Saratov, Russia*

ABSTRACT

Introduction. Drilling of frozen and permafrost soils is one of the most complicated and energy-intensive processes of earthworks. The current drilling tools are not efficient enough to use since they implement energy-intensive drilling processes and are not always suitable for various types of soil. The use of helical working elements that implement the process of soil destruction with less energy-intensive types of deformations is advanced. The purpose of the research is to study the interaction of a helical blade of a drilling tool with frozen soil.

Materials and methods. The article covers a method for conducting experimental studies of the interaction of a helical blade of a drilling tool with frozen ground and the tested models of the drilling tool. The influence of geometric parameters of a helical drill on a borehole formation process is studied.

Results. The experimental research proved the hypothesis about the possibility of implementing a drilling process with tearing strain and obtaining a borehole diameter larger than a diameter of a destructive section of a helical blade. The dependence of the destroyed soil volume and the relation of an obtained borehole diameter to a diameter of a destroying section of a helical blade according to the angle of bend of a helical blade radius at which its increment occurs is determined.

Discussions and conclusion. It is established that a helical drilling tool performs a borehole drilling due to the tearing strain implementation, which makes it possible to achieve more efficient drilling and obtain a borehole diameter larger than a diameter of the destroying section of a helical blade.

KEYWORDS: helical working element, frozen ground, frozen ground drilling, helical blade, soil spalling, blade punching, destroying section, drilling tool.

Submitted 12.02.20120, revised 24.04.2020.

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. Interaction of a helical blade of a drilling tool with a frozen ground. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 17 (2): 162-171. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-2-162-171>

© Martiuchenko I. G., Zenin M. I.



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

ВВЕДЕНИЕ

Тенденция развития способов бурения мерзлых грунтов обуславливается постоянным созданием новых или совершенствованием существующих буровых инструментов [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15]. Причиной этого является достаточно сложная структура мерзлых грунтов, которые характеризуются особенностью физико-механических свойств – высокой прочностью и абразивностью.

Существующие буровые инструменты, которые используются на мерзлых грунтах, например лопастные, шарошечные или режуще-шарошечные, не всегда способны эффективно работать на тех или иных категориях грунтов. Ввиду несоответствия реализуемых ими видов деформации, при которых происходит разрушение грунта в стволе образуемой скважины [16, 17, 18, 19, 20, 21, 22].

Более эффективные способы разрушения грунта при бурении скважины реализуют винтовые рабочие органы, представленные в патентах №1710689, №49844, №1254123 [23]. При контакте с грунтом такой тип буровых инструментов реализует менее энергоемкие процессы бурения мерзлых грунтов за счет реализации деформации сдвига.

Похожий характер разрушения грунта осуществляет винтовой бур по заявке на патент №2019114496 (рисунок 1). При использовании данного типа бурового инструмента и за счет хрупкого разрушения мерзлого грунта происходят деформации отрыва и сдвига. Такой процесс обеспечивает бурение при меньших энергозатратах по сравнению с другими видами существующих буровых инструментов [24].

Предлагаемый винтовой бур состоит из заходной и разрушающей частей (см. рисунок 1). Заходная часть обеспечивает тяговое усилие, необходимое для работы бурового инструмента без задавливающей нагрузки, и состоит из конического сердечника с размещенной на нем винтовой лопасти переменного радиуса и постоянного шага. Разрушающая часть содержит винтовую лопасть с переменными геометрическими параметрами. На первом участке лопасть имеет постоянный шаг и переменный радиус, изменяющийся при повороте радиуса на определенный угол (ψ), на втором участке винтовая лопасть имеет постоянный радиус и увеличивающийся шаг, при этом изменяется наклон верхней образующей поверхности винтовой лопасти к оси вращения – от острого до прямого угла [25].

При приращении радиуса винтовой лопасти происходит ее внедрение в грунт в радиальном направлении, что приводит к сколу грунта в сторону открытой поверхности, а приращение шага винтовой лопасти обеспечивает окончательное формирование ствола скважины диаметром большим, чем диаметр первого скалывающего участка винтовой лопасти.

На данный момент рассматриваемый процесс взаимодействия винтовой лопасти с мерзлым грунтом для образования скважины не изучен и требует должных исследований для обеспечения полноценной работы винтового бура.

При изучении процесса разрушения мерзлого грунта винтовым буром основными задачами экспериментальных исследований являлись:

- доказать выдвинутую гипотезу об осуществлении процесса бурения сколом и отрывом грунта;
- определить влияние скорости внедрения винтовой лопасти с изменяющимся радиусом на объем откалываемого грунта;
- определить влияние скорости на отношение диаметра образованной скважины к диаметру винтовой лопасти на разрушающей части.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Экспериментальные исследования проводились в лабораторных условиях. Учитывая, что физико-механические свойства мерзлого грунта оказывают значительное влияние на механизм процесса разрушения, особое внимание было уделено выбору и подготовке грунта для экспериментальных исследований. Для лабораторных экспериментов было выбрано три типа грунтов: песок, супесь, суглинок.

Температура грунта в большинстве опытов была от -4°C до -7°C . Влажность при этом составляла в среднем: для песка – 15%, для супеси – 18%, для суглинка – 20%.

Для получения равномерной плотности грунта производилось послойное уплотнение, режим уплотнения подбирался опытным путем. Для того чтобы достичь наибольшего сцепления слоев, производилось разрыхление верхней поверхности слоя на глубину 5–15 мм.

Для достижения массивной криогенной текстуры грунт в форме замораживался в холодильной камере при температуре -22°C и выдерживался не менее 48 ч при заданной температуре.

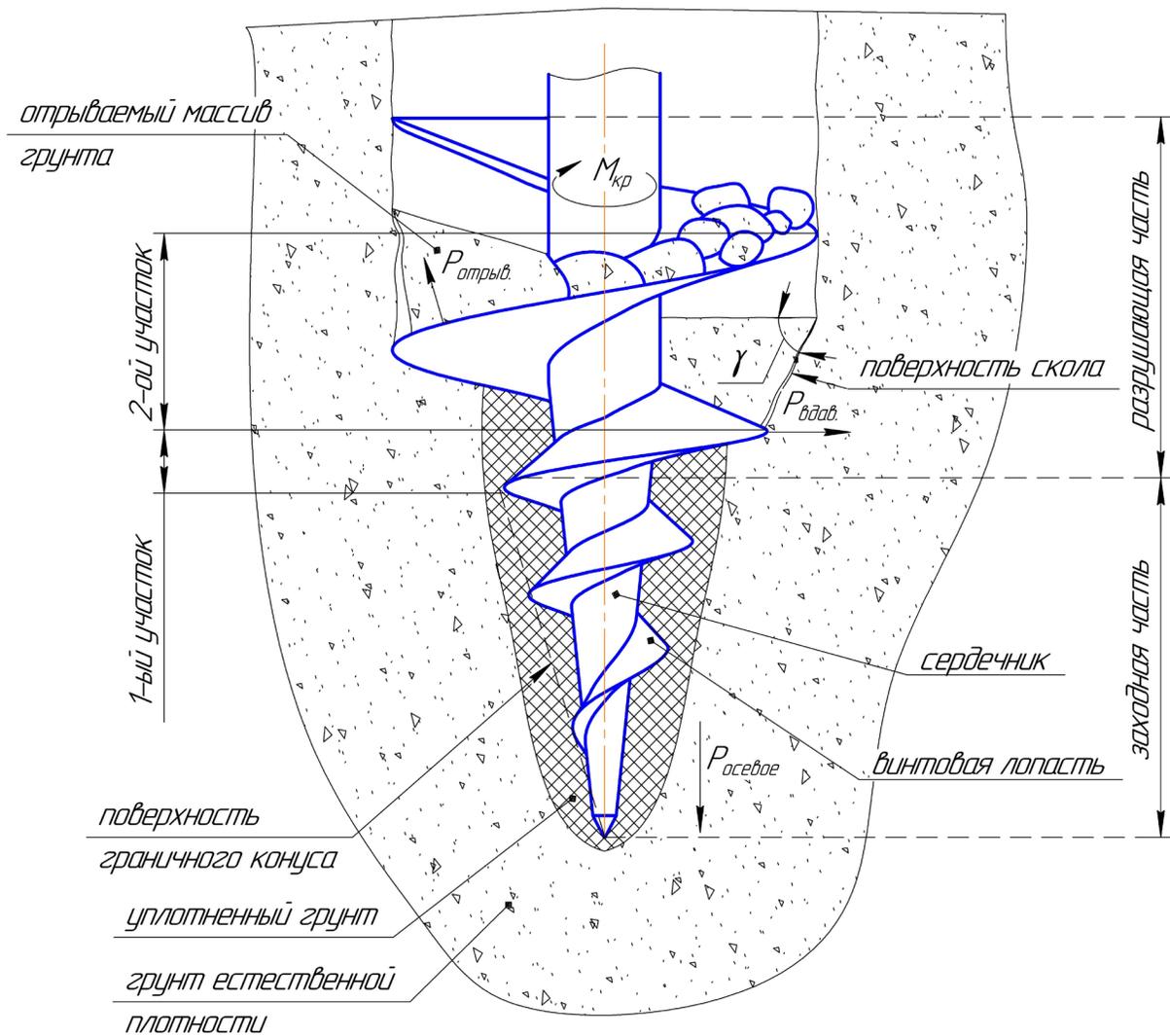


Рисунок 1 – Схема взаимодействия винтового бура с грунтом:
 γ – угол образования трещины

Figure 1 – Scheme of the interaction of a screw drill with soil:
 γ – a crack angle

Прочность подготовленных образцов грунта определялась по числу ударов С плотномер ДОРНИИ.

Экспериментальные исследования проводились с использованием масштабных моделей винтовых буров. Размер моделей определялся по методике моделирования рабочих процессов дорожно-строительных машин профессора В.И. Баловнева [26].

Модель бурового инструмента представляла собой сердечник с цилиндрической и конической частями и с размещенной на них винтовой лопастью. Варьируемым геометрическим параметром являлся угол поворота радиуса винтовой лопасти ψ , при котором радиус изменяет свое значение от максимального радиуса винтовой лопасти на заходной части $r_{зак}$ до максимального радиуса винтовой лопасти на первом участке $r_{1зак}$ (рисунок 2).

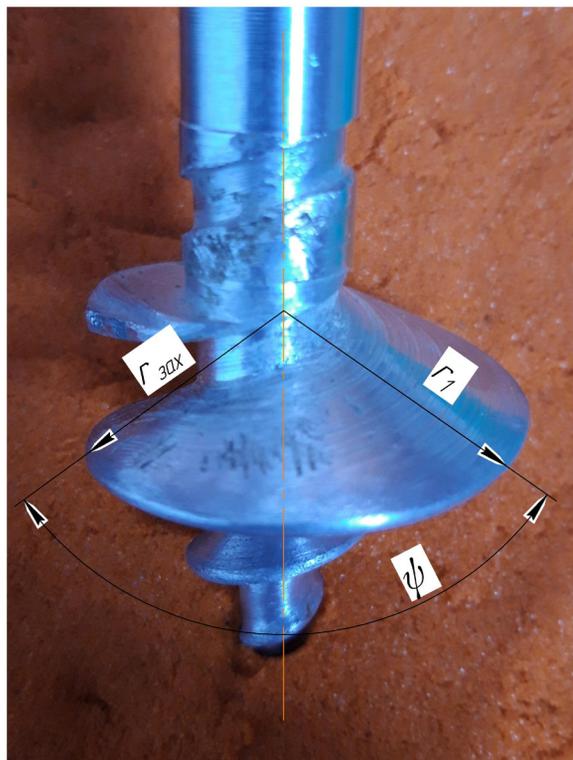


Рисунок 2 – Модель винтового бура с исследуемым геометрическим параметром:

Ψ – угол поворота радиуса винтовой лопасти, при котором происходит его приращение на разрушающей части

Figure 2 – A model of a helical drill with a tested geometric parameter:

Ψ – the angle of bend of a radius of a helical blade, at which an increment on the destroying part occurs

Для проверки влияния скорости внедрения винтовой лопасти в грунт на характер его разрушения было исследовано 5 моделей винтовых буров с разными углами поворота радиуса, при которых происходит его приращение на разрушающей части винтовой лопасти: 45° , 90° , 180° , 270° , 360° (рисунок 3).

Экспериментальные исследования проводились на лабораторном стенде, на котором обеспечивалось равномерное вращательное и осевое поступательное движения винтового бура. Так как заходная часть винтового инструмента исследована ранее и для нее определена эффективная частота вращения, равная 50 об/мин, то и для всего винтового бура была принята та же частота вращения [18]. Для начального задавливания модели бурового инструмента в грунт была принята скорость погружения, соответствующая погружению бура за один оборот на величину шага винтовой лопасти. Экспериментальные исследования включали проведения серии экспериментов с трехкратным повторением.

В ходе экспериментов изучалась картина разрушения грунта в образуемой скважине винтовой лопастью переменного радиуса на цилиндрическом участке винтового бура. Для этого использовались разъемные формы, позволяющие разделять грунт по оси скважины. Картина разрушения грунта винтовой лопастью бура представлена на рисунке 4.



Рисунок 3 – Исследуемые модели винтовых буров

Figure 3 – The tested models of helical drills

Процесс разрушения грунта винтовой лопастью происходит в две стадии. Первая стадия – внедрение винтовой лопасти сопровождается образованием уплотнённой зоны вокруг винтовой поверхности разрушающей части лопасти за счет действия сил сжатия грунта. При этом разрушение грунта не наблюдалось. Далее лопасть продолжает поворачиваться, внедряясь в грунт, и протекает вторая стадия. На второй стадии грунт продолжает сжиматься и достигает предельного состояния, при котором происходит образование трещин под углом γ . Вслед за этим протекает отрыв грунта под действием результирующей силы, возникающей на верхней поверхности (см. рисунок 4).



Рисунок 4 – Процесс отрыва грунта разрушающей частью винтовой лопастью винтового бура

Figure 4 – The process of soil removing by the destroying section of a helical blade of a helical drill

На рисунке 4 видно, что грунт разрушается под действием винтовой лопасти диаметром d_1 , и при этом трещина идет под углом γ , что приводит к образованию скважины с большим диаметром d_2 . Данный процесс наблюдается при наличии разрушенного грунта над разрушающей лопастью на определенном расстоянии от нее по всей цилиндрической поверхности ствола скважины диаметром d_2 .

Таким образом, для достижения данного эффекта необходимо применения второго участка винтовой лопасти диаметром d_2 с увеличивающимся шагом, который будет формировать поверхность, свободную от неразрушенного грунта.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате экспериментальных исследований была доказана выдвинутая гипотеза о влиянии приращения радиуса винтовой лопасти на первом участке разрушающей части винтовой лопасти на физический процесс разрушения мерзлого грунта. Также было установлено, что возможно получить диаметр скважины (d_2) больше, чем диаметр (d_1) винтовой лопасти на разрушающей части.

При проведении опытов была определена зависимость объема отрываемого грунта разрушающей частью винтовой лопастью за один ее оборот.

Зависимость объема отрываемого грунта и отношения диаметра полученной скважины к диаметру разрушающей части винтовой лопасти от угла поворота ее радиуса, при котором происходит приращение радиуса, представлена на рисунке 5.

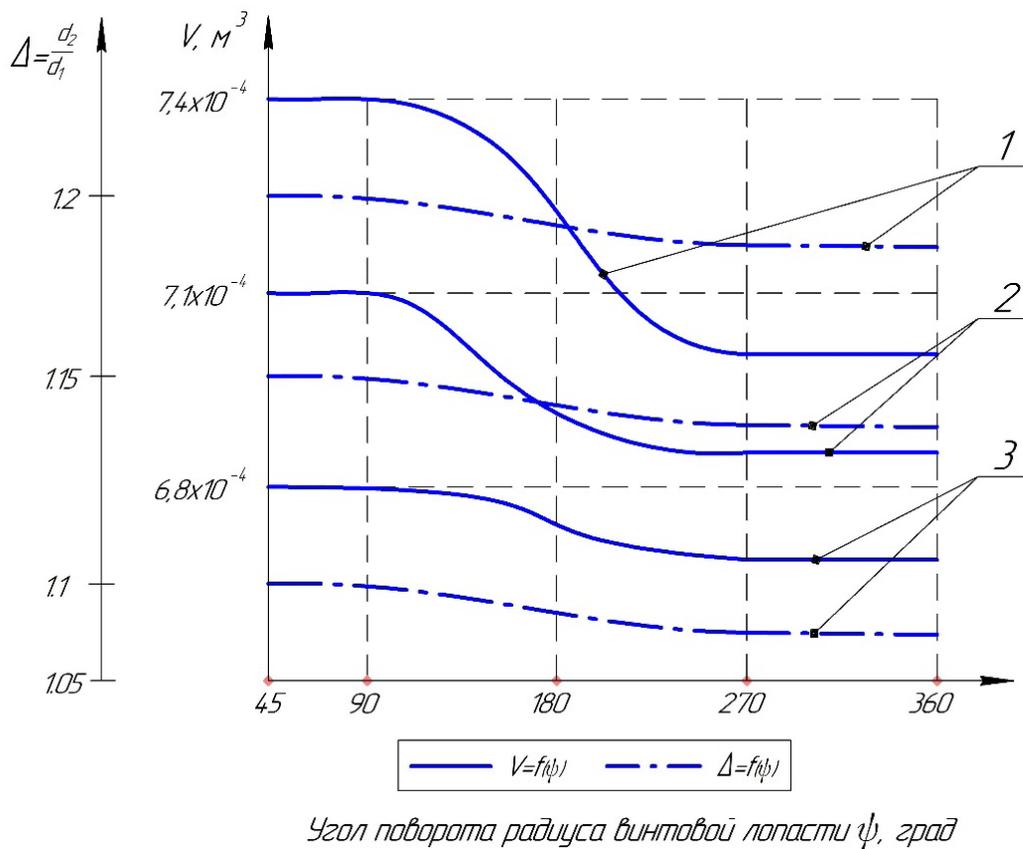


Рисунок 5 – Зависимость объема отрываемого грунта и отношения диаметра полученной скважины к диаметру винтовой лопасти разрушающей части от угла поворота радиуса винтовой лопасти, при котором происходит

приращение радиуса винтовой лопасти: 1 – песок, 2 – супесь, 3 – суглинок; $\Delta = d_2/d_1$ – отношение диаметра полученной скважины к диаметру винтовой лопасти разрушающей части, V – объем разрушаемого грунта

Figure 5 – The dependence of the destroyed soil volume and the relation of an obtained borehole diameter to a diameter of a destroying section of a helical blade according to the angle of bend of a helical blade radius at which its increment occurs:

1 – sand, 2 – sandy loam, 3 – loam; $\Delta = d_2/d_1$ – the relation of an obtained borehole diameter to a diameter of a destroying section, V – a volume of destructible soil

Анализ результатов проведенных экспериментов показывает, что для всех типов грунтов важным фактором является угол поворота, при котором происходит приращение радиуса винтовой лопасти, этот параметр влияет на скорость внедрения разрушающего участка винтовой лопасти в грунт.

Установлено, что с увеличением угла поворота радиуса винтовой лопасти, при котором происходит его приращение, наблюдается уменьшение объема отрываемого грунта и величины отношения диаметра полученной скважины к диаметру винтовой лопасти раз-

рушающей часть в диапазоне значений от 90° до 270° . Большой эффект этих показателей проявляется при значениях угла ψ до 90° (см. рисунок 5).

Наибольшая эффективность исследуемого винтового бура проявляется на мерзлых грунтах, обладающих в большей степени хрупкими свойствами – песчаных и супесчаных. Это представляет наибольшее значение, т.к. именно эти грунты вызывают большие трудности при их бурении из-за высокой прочности и абразивности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемый буровой инструмент осуществляет процесс бурения за счет деформаций отрыва и сдвига грунта. Такой характер деформации грунта является менее энергоемким и наиболее эффективным процессом по сравнению с деформациями грунта, которые осуществляют другие существующие буровые инструменты. Это имеет огромное значение для процесса бурения мерзлого грунта. Использование винтового бурового инструмента позволит осуществлять процесс бурения мерзлых грунтов с меньшими энергозатратами, по сравнению с существующими видами буровых инструментов, и большей эффективностью.

Проведенные экспериментальные исследования показали необходимость и целесообразность проведения дальнейших исследований, направленных на определение рациональных геометрических параметров и режимов рабочего процесса, способствующих достижению наибольшей эффективности 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 High-Density 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. 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. T. 42. №. 2. pp. 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. T. 64. №. 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. T. 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 стесненных 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. Du H. Strength properties of icy frozen silt sands under uniaxial compression for a wide range of strain rates and moisture content. *Science and technology of cold regions*. 2016. no. 123. pp. 107–113.
17. Черкасов В.И. Области применения и проблемы бурения неглубоких скважин // *Разведка и охрана недр*. 2014. №2. С. 24–27.
18. Валигура Н.С. Породоразрушающие инструменты для вращательного бурения неглубоких скважин и их основные конструктивные особенности // *Разведка и охрана недр*. 2014. №2. С. 30–33.
19. Саленко А.Ф., Федотьев А.Н., Федотьев Н.А. Перспективы использования регенерированного твердого сплава для производства буровых долот // *Вісник СевНТУ. Серія: Машиноприладобудування та транспорт*. 2014. №150. С. 139–145.
20. Гилев А.В., Бовик К.А., Шигин А.О., Белозеров И.Р. Анализ проходки шарошечных долот в условиях Олимпиадинского ГОКа ЗАО «ПОЛЮС» // *Современные проблемы науки и образования*. 2015. №2. С. 153–153.
21. Zhiqiang H., Qin L., Yi Z., Shuang J., Yachao M., Wengang H., Yongtao F. Experimental research on the surface strengthening technology of roller cone bit bearing based on the failure analysis. *Engineering Failure Analysis*. 2013. no.12. pp. 12–26.
22. Бугаев В.Г., Ереско С.П., Бугаев И.В. Выбор и обоснование конструктивных параметров бурового режущего инструмента для проходки скважин в мерзлых грунтах // *Горное оборудование и электромеханика*. 2013. №2. С. 6–13.
23. Мартюченко И.Г. Винтовые рабочие органы машин для разработки мерзлых грунтов / И.Г. Мартюченко.: монография. М.: Научная мысль. ИНФА-М, 2014. 200 с.
24. Мартюченко И.Г., Зенин М.И. Перспективы развития бурового инструмента для вечномерзлых грунтов // *Строительные и дорожные машины*. 2019. №9. С.47–48.
25. Мартюченко И.Г., Зенин М.И. Состояние и перспективы развития бурового инструмента для

мерзлых грунтов // Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2019. № 1(34).

26. 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; vol. 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; 81, no. 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, no. 2: 431–442.

6. Gerasimov D.S. O vlijanii rezhima nagruzheniya na mehanicheskie svojstva merzlyh gruntov [About the influence of the loading regime on the mechanical properties of frozen soils]. *Nazemnye transportno-technologicheskie komplekсы i sredstva*. 2016: 73–77. (in Russian).

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.

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, no. 1: 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. Konceptiya razrabotki innovacionnogo porodorazrushajushhego instrumenta dlja burenija skvazhin v uslovijah kriolitozony [The concept of developing an innovative rock cutting tool for borehole drilling in cryolithozone conditions]. *Evrazijskij sojuz uchenyh*. 2015; 4: 15–154. (in Russian).

12. Talalay P.G. Introduction to Ice Drilling Technology. *Mechanical Ice Drilling Technology*. Springer, Singapore. 2016: 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 properties of soils on the work of machines for earthworks]. *Vestnik UIGTU*. 2015; 3: 62–67. (in Russian).

14. Ivkin V.S., Vunberova N.P. Maloob'jomnye, rassredotočennye zimnie zemljanye raboty v stesnjonnyh uslovijah stroitel'stva [Low volumed dispersed winter earthworks in cramped construction conditions]. *Vestnik Ul'janovskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*. 2018; 2: 52–55. (in Russian).

15. Valigura N.S. Sposoby burenija neglubokih skvazhin [Methods of drilling shallow wells]. *Razvedka i ohrana nedr*. 2014; no. 2: 27–30.

16. Du H. Strength properties of icy frozen silt sands under uniaxial compression for a wide range of strain rates and moisture content. *Science and technology of cold regions*. 2016; 123: 107–113.

17. Cherkasov V.I. Oblasti primeneniya i problemy burenija neglubokih skvazhin [Fields of application and issues of drilling shallow wells]. *Razvedka i ohrana nedr*. 2014; 2: 24–27. (in Russian).

18. Valigura N. S. Porodorazrushajushhie instrumenty dlja vrashatel'nogo burenija neglubokih skvazhin i ih osnovnye konstruktivnye osobennosti [Rock-Breaking tools for rotational drilling of shallow wells and their main design features]. *Razvedka i ohrana nedr*. 2014; 2: 30–33. (in Russian).

19. Salenko A.F., Fedotiev A.N., Fedotiev N.A. Perspektivy ispol'zovanie regenerirovannogo tverdogo splava dlja proizvodstva burovyh dolot [The prospects for the use of regenerated hard alloy for the production of drill bits]. *Visnik SevNTU. Serija: Mashinopriladobudovannja ta transport*. 2014; 150: 139–145. (in Russian).

20. Gilev A.V., Bovik K.A., Shigin A.O., Belozero I.R. Analysis of rolling cone chisels in the conditions of the Olympiadinsky GOK CJSC POLYUS. *Modern problems of science and education*. 2015; 2: 153–153.

21. Zhiqiang H., Qin L., Yi Z., Shuang J., Yachao M., Wengang H., Yongtao F. Experimental research on the surface strengthening technology of roller cone bit bearing based on the failure analysis. *Engineering Failure Analysis*. 2013; 12: 12–26.

22. Bugaev V.G., Eresko S.P., Bugaev I.V. Vybor i obosnovanie konstruktivnyh parametrov burovogo rezhushhego instrumenta dlja prohodki skvazhin v merzlyh gruntah [The selection and substantiation of design parameters of a drilling cutting tool for drilling holes in frozen soils]. *Gornoe oborudovanie i jelektromehanika*. 2013; 2: 6–13. (in Russian).

23. Martyuchenko I.G. Vintovye rabochie organy mashin dlja razrabotki merzlyh gruntov [The helical working elements of machines for the frozen soils excavation]. Moscow. INFA-M, 2014: 200p.

24. Martyuchenko I.G., Zenin M.I. Perspektivy razvitiya burovogo instrumenta dlja vechnomerzlyh gruntov [The perspectives for the development of drilling tools for permafrost soils]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2019; 9: 47–48. (in Russian).

25. Martyuchenko I.G., Zenin M.I. Sostojanie i perspektivy razvitiya burovogo instrumenta dlja merzlyh gruntov [Conditions and perspectives of development of drilling tools for frozen soils]. *Tehničeskoe regulirovanie v transportnom stroitel'stve*. 2019; 34. (in Russian).

26. Balovnev V.I. Opredelenie optimal'nyh parametrov transportno-tehnologicheskikh mashin metodami teorii podobnykh preobrazovaniy [Determination of optimal parameters of transport and technological machines by methods of the theory of similar transformations]. Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2019; 12: 3–11. (in Russian).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Мартюченко Игорь Гаврилович – Формулирование проблемы исследований, постановка задач исследования, обозначения алгоритма экспериментальных исследований (50%).

Зенин Максим Иванович – Проведение экспериментальных исследований взаимодействия моделей винтового бура с мерзлым грунтом, анализ полученных результатов, выполнение обзора литературных источников (50%).

AUTHORS' CONTRIBUTION

Igor G. Martiuchenko – Formation of the research problem, statement of the research tasks, designation of the experimental research algorithm (50%).

Maksim I. Zenin – Conducting experimental studies of the interaction of screw drill models with frozen soil, analysis of the results, a review of literary sources. (50%).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

Зенин Максим Иванович (г. Саратов) – ассистент кафедры «Транспортное строительство» ФГБОУ ВО «СГТУ имени Гагарина» (410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77 e-mail: sdm-sstu@rambler.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Igor G. Martiuchenko (Saratov, Russia) – Dr. of Tech. Sci., Professor, the Department of Transport Construction, "Saratov State Technical university named after Y.A. Gagarin" (410054, Saratov, Polytechnicheskaya Street, 77 e-mail: sdm-sstu@rambler.ru).

Maksim I. Zenin (Saratov, Russia) – Assistant, the Department of Transport Construction, "Saratov State Technical university named after Y.A. Gagarin" (410054, Saratov, Polytechnic, 77 e-mail: zenin-1995@mail.ru).