

Методология определения шага расстановки зубьев корчевателя древесных включений

Ю.А. Казаков¹ ✉, А.И. Жигульская²

¹ Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

² Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Российская Федерация

✉ Kazakov_YuA@pers.spmi.ru

Резюме: В статье представлена методология определения рационального шага расстановки зубьев корчевателя древесных включений при разработке торфяных месторождений бульдозерным поверхностно-послойным способом. Актуальность исследования обусловлена необходимостью нормализации нагрузок на технологическое оборудование и исключения пропуска древесных остатков между рабочими органами, поскольку удельное сопротивление фрезерованию древесных включений в 70 раз превышает сопротивление торфяной залежи. Цель исследования – методологическое обоснование определения шага резания корчевателя древесных включений. Полевые исследования и отбор проб древесных включений произведены на участке месторождения «Заозерское» Ленинградской области. По методике шупового зондирования установлены пнистость участка 1% и частота обнаружения древесных включений – 5,5%. Извлечено и классифицировано 86 образцов древесных включений, разделённых на шесть характерных морфологических групп. Для каждой группы определены значимые габаритные размеры. Статистическая обработка выполнена с применением кластерного анализа, критериев Краскела–Уоллиса и Тьюки. Установлено, что распределение длины древесных включений подчиняется нормальному закону (коэффициент вариации 0,22–0,38), тогда как распределение ширины (коэффициент вариации 0,29–0,56) не является нормальным. Выявлена высокая статистическая общность габаритных размеров между группами по ширине. Средняя длина древесных включений составила 0,87 м, средняя ширина – 0,33 м. Предложена рациональная схема расстановки зубьев фронтального корчевателя шириной 4,26 м: шаг установки 330 мм, количество зубьев 13 единиц.

Ключевые слова: бульдозерная технология, торфяные месторождения, поверхностно-послойный способ, пнистость, древесные включения, корчевание, шаг резания

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации FSRW-2026-0003 «Исследование процессов комплексного освоения недр Земли и глубокой переработки георесурсов».

Для цитирования: Казаков Ю.А., Жигульская А.И. Методология определения шага расстановки зубьев корчевателя древесных включений. *Горная промышленность*. 2026;(4S):99–104. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-4S-99-104>

Methodology to determine tooth spacing for a woody debris grubber

Yu.A. Kazakov¹ ✉, A.I. Zhigulskaya²

¹ Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation

² Tver State Technical University, Tver, Russian Federation

✉ Kazakov_YuA@pers.spmi.ru

Abstract: The paper presents a methodology for determining rational tooth spacing of a woody debris grubber during peatland development using the bulldozer multilayer stripping method. The relevance of the study is justified by the need to normalize loads on the process equipment and prevent woody residues from passing between the working attachments, since the specific cutting resistance of woody debris is 70 times higher than that of the peat bed. The purpose of this study is to provide a methodological basis for defining the cutting width of the woody debris grubber. Field studies and sampling of the woody inclusions were carried out at the Zaozerskoye deposit in the Leningrad Region. The probing rod method was used on the site to determine the stump density of 1% using and the woody debris detection frequency of 5.5%. A total of 86 woody debris samples were extracted and classified into six distinct morphological groups. Significant overall dimensions were determined for each group. Statistical processing was performed using the cluster analysis, the Kruskal–Wallis test, and the Tukey's HSD. It was found that distribution of the woody debris by length is governed by the normal probability law (the variation coefficient of 0.22–0.38), whereas its distribution by the width (the variation coefficient of 0.29–0.56) fails to be normal. A high statistical similarity in the



overall dimensions between the groups was revealed with respect to the width. The average length of the woody inclusions was 0.87 m, the average width being 0.33 m. The following rational layout of the teeth is proposed for a front-mounted grubber with the working width of 4.26 m: the tooth spacing of 330 mm, the number of teeth being 13 pieces.

Keywords: bulldozer technology, peat deposits, multilayer stripping method, stump density, woody inclusions, grubbing

Acknowledgements: This work was carried out within the framework of a state assignment from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Study of the processes of integrated development of the Earth's interior and deep processing of geological resources, project No. FSRW-2026-0003).

For citation: Kazakov Yu.A., Zhigulskaya A.I. Methodology to determine tooth spacing for a woody debris grubber. *Russian Mining Industry*. 2026;(4S):99–104. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-4S-99-104>

Введение

Технологии концепции так называемой «зеленой добычи» в рамках рационального природопользования в горнодобывающей промышленности страны набирает все большее распространение ввиду увеличения потребностей потребителей и состояния геополитической ситуации в мире [1–3]. Для торфяной отрасли, характеризующейся сложными условиями эксплуатации оборудования на слабых грунтах, надежным и рациональным решением в существующем состоянии торфодобывающих компаний выступает бульдозерная технология поверхностно-послойной разработки торфяных месторождений¹ [4; 5].

Рациональная бульдозерная технология в рамках разработки торфяного месторождения включает последовательность операций:

- добыча торфяного сырья;
- корчевание древесных включений, распределенных в месторождении многоуровневыми слоями [6].

Операция добычи невозможна без проведения удаления верхнего слоя торфяной залежи с включениями – древесной, остатками растительности. После выравнивания поверхностного слоя торфяного месторождения следует первый основной этап реализации технологии – поверхностное рыхление верхнего слоя залежи. После рыхления – сушка и последующий сбор высушенного торфяного сырья². По мере отработки слоёв технологическое оборудование обнажает пнистые горизонты, содержащие древесные включения (ДВ) [7–9].

Требуется проводить периодическое корчевание древесных включений, объёмное содержание которых может достигать 3% и более от объема залежи, а масса отдельных фрагментов – до 70 кг. После корчевания – сбор и удаление ДВ за пределы технологической площадки [10].

Бульдозерная технология базируется на использовании мобильных многофункциональных агрегатов (бульдозеров с рыхлителями и отвалами, фронтальных погрузчиков, транспортных модулей) и позволяет вести комплексную выемку торфяного сырья с производительностью до 20–40 тыс. т в год [11–13]. Бульдозерный способ включает в себя одновременное применение технологических операций рыхления и уборки ДВ и отличается простотой организации работ для малых и средних торфодобывающих компаний [14–16]. Корчевание в рамках бульдозерной технологии осуществляется в зависимости от габаритных размеров ДВ, определяющих состав навесного оборудования

бульдозера. Малые и средние ДВ массой до 30 кг удаляются из залежи навесным спереди торфяным отвалом-корчевателем. ДВ больших габаритных размеров массой до 70 кг удаляются навесным сзади пятизубым рыхлителем-корчевателем.

При определении затрат энергии, необходимой для отработки торфяных месторождений поверхностно-послойным способом, требуется учитывать содержание древесных включений в залежи (пнистость). Удаление ДВ из рабочего слоя торфяного массива обусловлено необходимостью нормальной и стабильной работы технологического оборудования [17–19].

В существующих технологиях разработки торфяных месторождений поверхностно-послойным способом корчеватели³ применяются, однако их размерные параметры (ширина захвата, глубина внедрения зубьев, шаг установки) назначаются либо по аналогам, либо эмпирически, без учёта варьируемых размеров древесных остатков.

Поскольку размер древесных включений напрямую влияет на эксплуатацию корчевателя без пропуска ДВ между зубьями, а остальные размерно-массовые характеристики корчевателей обоснованы и установлены, в статье предлагается методология определения рационального шага расстановки зубьев корчевателя. Целью исследования является методологическое обоснование определения шага резания корчевателя древесных включений.

Результаты

В рамках работы предлагается классифицировать и статистически оценить размерные параметры древесных включений, изъятых из реального торфяного месторождения с последующим определением характерного среднего значения размера ДВ, определяющего эффективную работу корчевателя без пропуска ДВ между зубьями [20; 21]. Очевидно, расстояние между зубьями корчевателя необходимо определять посредством значений габаритных размеров ДВ. В рамках исследования организован анализ ДВ на месторождении «Заозерское» (Кадастровый номер №1021) Ломоносовского района Ленинградской области и последующий статистический анализ их размерных характеристик [22; 23].

На участке месторождения «Заозерское» длиной 100 м и шириной 16 м проводились разведывательные мероприятия по определению количества ДВ. В соответствии с методикой обнаружения древесных включений внедряя металлический щуп на глубину 0,4 м с шагом 1 м, произведено 1600 опробований. Древесные включения обнаружены в 86

1 О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 году: государственный доклад. М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова; 2022. 684 с.

2 Погрузчик торфа АМКОДОР 342Р-01. Холдинг «АМКОДОР». Режим доступа: <https://amkodor.by/catalog/tehnika-dlya-torfa/pogruzchik-torfa/amkodor-342r/> (дата обращения: 12.04.2026).

3 Бульдозер-болотоход DR-10LMT.01. Челябинский завод промышленных тракторов. Режим доступа: https://chzpt.com/Buldozer-bolotohod_DR-10LMT.01 (дата обращения: 25.04.2026).

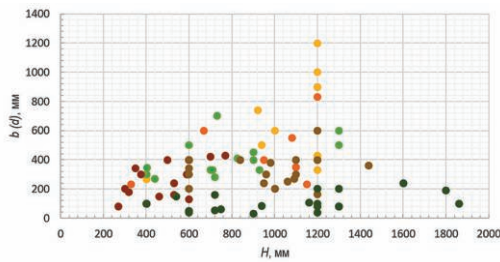


Рис. 1
Распределение древесных включений по габаритным размерам в пределах экспериментальной площадки

Fig. 1
Distribution of the woody inclusions by size within the experimental site

случаях, таким образом, попадание бура на пень составляет 5,5%, а пнистость участка месторождения составляет 1%.

Извлечение ДВ на выделенном участке месторождения проводилось бульдозером-корчевателем. Изъято с участка 86 образцов. Представлена классификация изъятых с участка ДВ по основным группам, на рис. 1 представлены габаритные размеры ДВ: группа 1 – кривоствольные; группа 2 – симметрично-лапчатые; группа 3 – односторонне-лапчатые; группа 4 – головки; группа 5 – корневые остатки; группа 6 – прямые.

Для описания геометрических параметров ДВ достаточно оценить их наибольший и наименьший габаритные размеры – длину H и ширину (диаметр) b [5]. Размерные характеристики древесных включений представлены в виде точечной диаграммы (см. рис. 1). Количество ДВ, по габаритным размерам попадающих в диапазоны по длине от 0,5 м до 1,3 м и по ширине от 0,05 м до 0,8 м, составляет 77%.

Для дальнейших статистических исследований построена диаграмма содержания древесных включений в пнистом горизонте глубиной 0,4 м по принципу Парето (рис. 2). Здесь основными выделяются группы «Прямые» (23% от общего количества ДВ) и «Корневые остатки» (20% от общего количества ДВ).

Для группировки и оценки неоднородной выборки ДВ по форме и размерам используют методы многомерного статистического анализа. Основная задача – перевести качественные (форма) и количественные (ширина) признаки в единую систему координат для сравнения. Метод кластеризации для выборок ДВ по ширине позволяет разбить множество объектов на группы. Если в объеме данных сохраняется малое расстояние в пространстве переменных, то объекты называются похожими. Разные группы в результате кластерного анализа должны значительно отличаться друг от друга

Все 86 образцов ДВ классифицированы в соответствии с характерными формами, сгруппированы по габаритным размерам. В рамках исследования для статистического анализа предпочтительнее использовать ширину ДВ как наименьший габаритный размер, влияющий на эксплуатацию корчевателя без пропуска ДВ между зубьями. В соответствии с методом кластеризации данных

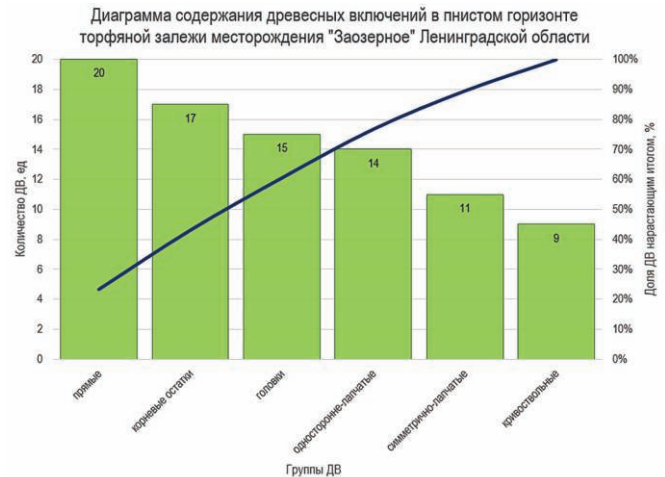


Рис. 2
Содержание древесных включений в пнистом горизонте торфяной залежи месторождения «Заозерное» Ленинградской области

Fig. 2
The content of woody inclusions in the stump-bearing layer of the Zaozerskoye peat deposit, Leningrad Region

и построения вертикальной дендрограммы установлены размеры трех основных видов ДВ, математическое ожидание, среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации ширины которых показаны на рис. 3.

Согласно статистическим данным, полученным при обработке массива габаритных размеров древесных включений, значения длины по группам ДВ подчиняются закону нормального распределения [24]. Интересующие и более значимые наименьшие значения ширины группы ДВ подчиняются распределению Вейбулла [25–27].

Рассмотрено применение многомерной статистической обработки данных для анализа массива данных по размерам ДВ, как наиболее часто применяемого для исследования метода многомерной статистики [28–30]. Многомерная статистическая обработка данных проведена по тесту Краскела–Уоллиса – непараметрическому методу

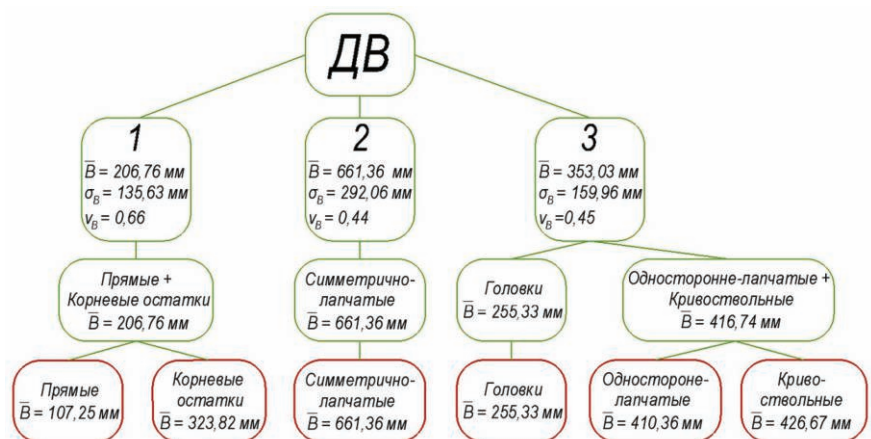


Рис. 3
Дендрограмма групп древесных включений с указанием математического ожидания их ширины:
1 – прямые и корневые остатки;
2 – симметрично-лапчатые;
3 – объединение односторонне-лапчатых с головчатыми

Fig. 3
A dendrogram of the woody inclusion groups with the expected value of the woody debris width:
1 – straight and root-like debris;
2 – symmetrical-branched;
3 – a combination of unilateral-branched and capitate

4 Погрузчик торфа АМКОДОР 342Р-01. Холдинг «АМКОДОР». Режим доступа: <https://amkodor.by/catalog/tehnika-dlya-torfa/pogruzchik-torfa/amkodor-342r/> (дата обращения: 12.04.2026).



для сравнения трех и более групп, когда не выполняются предположения ANOVA (о нормальности распределения данных).

Для проверки общности групп ДВ по значимым габаритным размерам проведены статистические тесты по критериям Краскела–Уоллиса и Тьюки. Тест Краскела–Уоллиса работает с неравными размерами групп, но для надежности желательно иметь не менее 5 наблюдений в каждой группе. Тест Тьюки (Tukey HSD) в данном случае является уточняющим [31; 32]. Результат показал статистически значимую связь между принадлежностью к группе и итоговым размером ($p < 0,001$) по ширине ДВ, что означает высокую общность значений габаритных размеров между группами ДВ. В таком случае среднее значение ширины ДВ – 0,33 м. В соответствии с применяемыми бульдозерами-болотоходами типа DR-10LMT.01 и габаритными размерами ходовой части по краям гусениц 3180 мм рекомендуется увеличить ширину захвата корчевателя по краям зубьев до 4,26 м, а количество зубьев корчевателя рекомендуется устанавливать с шагом 330 мм в количестве 13 единиц.

В дальнейшем необходимо провести экспериментальные исследования по взаимодействию моделей пар зубьев корчевателя, внедренных в торфяной грунт и установить предельное минимальное значение шага расстановки зубьев.

Заключение

Методология определения рационального шага расстановки зубьев корчевателя древесных включений (ДВ) при разработке торфяных месторождений бульдозерным поверхностно-послойным способом заключается в анализе пнистости торфяной залежи, отборе образцов древесных включений, их классификации и статистической обработке значимых габаритных размеров. На участке месторождения «Заозерское» Ленинградской области методом щупового зондирования установлены пнистость участка 1% и частота обнаружения ДВ – 5,5%. Сортировка и классификация отобранных с месторождения 86 образцов ДВ по шести группам позволили провести их кластеризацию по габаритным размерам групп. Посредством построения дендрограммы в соответствии со статистическим анализом ширины ДВ установлена необходимость применения тестов по критериям Краскела–Уоллиса и Тьюки и определена высокая общность габаритных размеров между группами по ширине. В соответствии со статистическим анализом установлено среднее значение ширины ДВ – 0,33 м. Как следствие, предложен рациональный шаг расстановки зубьев торфяного корчевателя – 330 мм в количестве 13 единиц.

Список литературы / References

1. Литвиненко В.С., Петров Е.И., Василевская Д.В., Яковенко А.В., Наумов И.А., Ратников М.А. Оценка роли государства в управлении минеральными ресурсами. *Записки Горного института*. 2023;259:95–111. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.100>
Litvinenko V.S., Petrov E.I., Vasilevskaya D.V., Yakovenko A.V., Naumov I.A., Ratnikov M.A. Assessment of the role of the state in the management of mineral resources. *Journal of Mining Institute*. 2023;259:95–111. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.100>
2. Litvinenko V.S., Dvoynikov M.V., Trushko V.L. Elaboration of a conceptual solution for the development of the Arctic shelf from seasonally flooded coastal areas. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2022;32(1):113–119. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2021.09.010>
3. Nurmi P. Green mining – a holistic concept for sustainable and acceptable mineral production. *Annals of Geophysics*. 2017;60(7):1–7. <https://doi.org/10.4401/ag-7420>
4. Волкодаева М.В., Киселев А.В. О развитии системы экологического мониторинга качества атмосферного воздуха. *Записки Горного института*. 2017;227:589–596. <https://doi.org/10.25515/PMI.2017.5.589>
Volkodaeva M.V., Kiselev A.V. On development of system for environmental monitoring of atmospheric air quality. *Journal of Mining Institute*. 2017;227:589–596. <https://doi.org/10.25515/PMI.2017.5.589>
5. Мисников О.С., Тимофеев А.Е. О рациональном использовании энергетических и минеральных ресурсов торфяных месторождений. *Горный журнал*. 2008;(11):59–63. Режим доступа: <https://www.rudmet.ru/journal/735/article/10187/> (дата обращения: 29.03.2026).
Misnikov O.S., Timofeev A.E. On rational use of the energy and mineral resources of peat deposits. *Gornyi Zhurnal*. 2008;(11):59–63. (In Russ.) Available at: <https://www.rudmet.ru/journal/735/article/10187/> (accessed: 29.03.2026).
6. Михайлов А.В., Жигульская А.И., Казаков Ю.А. Рациональная технология комплексной разработки торфяных месторождений. *Горная промышленность*. 2024;(1):66–69. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-1-66-69>
Mikhailov A.V., Zhigul'skaya A.I., Kazakov Yu.A. Rational technology for integrated mining of peat deposits. *Russian Mining Industry*. 2024;(1):66–69. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-1-66-69>
7. Тюремнов С.Н., Ларгин И.Ф., Ефимова С.Ф., Скобеева Е.И. *Торфяные месторождения и их разведка*. М.: Недра; 1977. 264 с.
8. Холодныяков Г.А., Аргимбаев К.Р. Технология открытой разработки нетрадиционного месторождения полезных ископаемых. *Записки Горного института*. 2015;216:82–88. Режим доступа: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/5169> (дата обращения: 29.03.2026).
Kholodnyakov G.A., Argimbaev K.R. Open mining technique for unconventional mineral deposits. *Journal of Mining Institute*. 2015;216:82–88. (In Russ.) Available at: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/5169> (accessed: 29.03.2026).



9. Шумилова Л.В. Стратегия технического интегрирования территориальных промышленных систем на основе геотехнологий. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2021;(5):68–84. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_5_0_68
Shumilova L.V. Geotechnology-based technical integration strategy for territorial industrial systems. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2021;(5):68–84. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_5_0_68
10. Михайлов А.В., Смирнов А.И. Анализ метода выемки торфяного сырья с откоса карьера. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2026;(2-1):197–209. Режим доступа: https://giab-online.ru/files/Data/2026/2-1/2-1_2026_197-209.pdf (дата обращения: 23.01.2026).
Mikhailov A.V., Smirnov A.I. Digging method analyzing organogenic materials mining by in-pit method. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2026;(2-1):197–209. (In Russ.) Available at: https://giab-online.ru/files/Data/2026/2-1/2-1_2026_197-209.pdf (accessed: 23.01.2026).
11. Babyr N.V., Kuziev D.A., Szankova E.S., Dobler M.O. Influence of cyclic impacts of powered roof support on weakening of immediate roof rocks. *Eurasian Mining*. 2026;(1):14–19. Available at: <https://www.rudmet.ru/journal/2523/article/41017/> (accessed: 09.04.2026).
12. Tien D.L., Trung T.V., Anh S.D., Babyr N.V. Ground pressure and methods to enhance roof stability in mechanized coal mining. *International Journal of Engineering, Transactions A: Basics*. 2026;39(4):862–869. <https://doi.org/10.5829/ije.2026.39.04a.05>
13. Drebenstedt C. The responsible mining concept – contributions on the interface between science and practical needs. In: *Drebenstedt C., Singhal R. (eds) Mine Planning and Equipment Selection: Proceedings of the 22nd MPES Conference, Dresden, 14–19 October 2013*. Cham: Springer; 2014, pp. 3–24. https://doi.org/10.1007/978-3-319-02678-7_1
14. Шишлянников Д.И., Иванов С.Л., Звонарев И.Е., Зверев В.Ю. Повышение эффективности применения выемочных и транспортирующих машин комбайновых комплексов калийных рудников. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2020;(9):116–124. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-9-0-116-124>
Shishlyannikov D.I., Ivanov S.L., Zvonarev I.E., Zverev V.Yu. Improving efficiency of shearing and hauling machines in longwall potash mining. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2020;(9):116–124. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-9-0-116-124>
15. Юсов Д.С., Иванова П.В., Иванов С.Л. Систематизация рабочих органов машин глубокого фрезерования. *Горная промышленность*. 2024;(3):85–89. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-85-89>
Yusov D.S., Ivanova P.V., Ivanov S.L. Systematization of end effectors of deep milling machines for peat extraction. *Russian Mining Industry*. 2024;(3):85–89. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-85-89>
16. Плащинский В.А., Шешукова Е.И., Салимов А.Э., Шибанов Д.А., Иванов С.Л. Численное моделирование процесса копания ковшом экскаватора методом дискретных элементов. *Горная промышленность*. 2025;(4):144–150. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-144-150>
Plaschinsky V.A., Sheshukova E.I., Salimov A.E., Shibano D.A., Ivanov S.L. Numerical simulation of the digging process with an excavator bucket using the discrete element method. *Russian Mining Industry*. 2025;(4):144–150. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-144-150>
17. Вагапова Э.А., Иванова П.В. Комплекс гидромеханизированной добычи и газификации торфяного сырья для удаленных и труднодоступных регионов. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2026;(5):66–79. Режим доступа: https://giab-online.ru/files/Data/2026/5/05_2026_66-79.pdf (дата обращения: 29.03.2026).
Vagapova E. A., Ivanova P. V. Complex of hydromechanized extraction and gasification of peat raw materials for remote and hard-to-reach regions. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2026;(5):66–79. (In Russ.) Available at: https://giab-online.ru/files/Data/2026/5/05_2026_66-79.pdf (accessed: 29.03.2026).
18. Adamsson L. *Peat stratigraphical study of hydrological conditions at Stass Mosse, southern Sweden, and the relation to Holocene bog-pine growth* [Master's thesis, No. 343]. Department of Geology Lund University; 2013. 30 p. Available at: <https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/3807020> (accessed: 29.03.2026).
19. Edvardsson J., Leuschner H.H., Linderson H., Linderholm H.W., Hammarlund D. South Swedish bog pines as indicators of Mid-Holocene climate variability. *Dendrochronologia*. 2012;30(2):93–103. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2011.02.003>
20. Зюзин Б.Ф., Яконовская Т.Б., Жигульская А.И. Системный подход к развитию классификации торфяных машин и оборудования. *Горные науки и технологии*. 2022;7(4):320–329. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-06-06>
Zyuzin B.F., Yakonovskaya T.B., Zhigulskaya A.I. A systematic approach to the peat machines and equipment classification development. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2022;7(4):320–329. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-06-06>
21. Kuvshinkin S., Ivanova P. Impact analysis of bucket capacity and boom length of mining excavators on hoisting mechanism life. *E3S Web of Conferences*. 2021;326:00032. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132600032>
22. Scott B., Ranjith P.G., Choi S.K., Khandelwal M. A review on existing opencast coal mining methods within Australia. *Journal of Mining Science*. 2010;46(3):280–297. <https://doi.org/10.1007/s10913-010-0036-3>
23. Zadkov D.A., Martyshev N.V., Malozyomov B.V., Demin A.Y., Pogrebnoy A.V., Kuleshova E.E., Valuev D.V. Mathematical modeling of operational reliability of mine lifting equipment based on censored data. *Mathematics*. 2026;14(4):716. <https://doi.org/10.3390/math14040716>
24. Габов В.В., Задков Д.А., Прялухин А.Ф., Садовский М.В., Молчанов В.В. Совершенствование конструкции шнекового исполнительного органа очистного комбайна. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023;(11-1):51–71. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_111_0_51
Gabov V. V., Zadkov D. A., Pryaluhin A. F., Sadovsky M. V., Molchanov V. V. Mining combine screw executive body design. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023;(11-1):51–71. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_111_0_51



25. Королев Р.И., Уразов Д.В., Юнгмейстер Д.А., Сержан С.Л., Федоров Е.В. Комплекс послойной механизированной обратной закладки выработанного пространства для утилизации отходов обогащения. *Обогащение руд*. 2025;(6):47–52. <https://doi.org/10.17580/or.2025.06.09>
Korolev R.I., Urazov D.V., Yungmeyster D.A., Serzhan S.L., Fedorov E.V. System for layer-by-layer mechanized backfill of mined-out spaces for the disposal of processing waste. *Obogashchenie Rud*. 2025;(6):47–52. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/or.2025.06.09>
26. Ботян Е.Ю., Николайчук Л.А., Мартемьянова А.Н., Степук Е.И., Пушкарев А.Е. Совершенствование подхода к организации технических ремонтов карьерных автосамосвалов при помощи систем удаленного мониторинга их узлов. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2025;(12-2):137–152. Режим доступа: https://giab-online.ru/files/Data/2025/12-2/12-2_2025_137-152.pdf (дата обращения: 07.04.2026).
Botyan E.Y., Nikolaichuk L.A., Martemyanova A.N., Stepuk E.I., Pushkarev A.E. Improving the approach to the organization of technical repairs of dump trucks using remote monitoring systems of their nodes. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2025;(12-2):137–152. (In Russ.) Available at: https://giab-online.ru/files/Data/2025/12-2/12-2_2025_137-152.pdf (accessed: 07.04.2026).
27. Хамидов О.У., Шибанов Д.А. Техническое обслуживание и ремонт карьерных экскаваторов по регламенту с учетом фактических условий и режимов их эксплуатации. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2025;(12-3):152–167. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2025_123_0_152
Khamidov O.U., Shibanov D.A. Regulated maintenance and repair of quarry excavators considering real-world conditions and operating modes. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2025;(12-3):152–167. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2025_123_0_152
28. Катаев А.В., Кутовой С.Н. *Прикладной статистический анализ в горном деле (многомерная математическая статистика)*. Пермь: Изд-во Пермского нац. исслед. политехнического ун-та; 2022. 318 с.
29. Keksin A.I., Filipenko I.A., Sorokopud N.I., Ovsyannikov D.A. Effect of process parameters of magnetic abrasive finishing on productivity while ensuring surface quality of electrical engineering products. *International Journal of Engineering, Transactions B: Applications*. 2026;39(11):2815–2823. <https://doi.org/10.5829/ije.2026.39.11b.13>
30. Maksarov V.V., Keksin A.I., Filipenko I.A. Improvement of magnetic-abrasive finishing of nonuniform products made of high-speed steel in digital conditions. *Key Engineering Materials*. 2020;836:71–77. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.836.71>
31. Унгуряну Т.Н., Гржибовский А.М. Сравнение трех и более независимых групп с использованием непараметрического критерия Краскела–Уоллиса в программе STATA. *Экология человека*. 2014;21(6):55–58. <https://doi.org/10.17816/humeco17232>
Unguryanu T.N., Grijibovski A.M. Analysis of three independent groups using non-parametric Kruskal-Wallis test in STATA software. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2014;21(6):55–58. (In Russ.) <https://doi.org/10.17816/humeco17232>
32. Allam I.M.A. *Implementation and comparative analysis of Tukey's honestly significant difference (HSD) test following Anova in Python and C*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24468.87683>

Информация об авторах

Казаков Юрий Алексеевич – кандидат технических наук, ассистент кафедры машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: Kazakov_YuA@pers.spmi.ru.

Жигульская Александра Ивановна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологических машин и оборудования, Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Российская Федерация; e-mail: 9051963@gmail.com.

Information about the authors

Yury A. Kazakov – Cand. Sci. (Eng.), Assistant of Mechanical Engineering Department, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; e-mail: Kazakov_YuA@pers.spmi.ru.

Alexandra I. Zhigulskaya – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Technological Machines and Equipment, Tver State Technical University, Tver, Russian Federation; e-mail: 9051963@gmail.com.

Article info

Received: 24.06.2026

Revised: 29.07.2026

Accepted: 18.08.2026

Информация о статье

Поступила в редакцию: 24.06.2026

Поступила после рецензирования: 29.07.2026

Принята к публикации: 18.08.2026