

## К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ ПАРАМЕТРОВ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ПОГРЕБЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ ТОРФЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

*Юсов Д.С., Иванова П.В., Иванов С.Л.*

*Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург*

**Ключевые слова:** древесные включения, динамические нагрузки, пнистость, влага, подача на зуб, удельная работа резания, коэффициент изменения удельной работы резания.

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследования по оценке засорённости торфяного месторождения древесными включениями, осложняющие технологический процесс глубокого фрезерования. Представлено описание различных групп древесных включений, классифицированных по их форме и структурным характеристикам. В рамках полевых испытаний, выполненных на месторождении торфа в Ленинградской области, произведена оценка пнистости с использованием различных стандартных методик. Определены значения параметров торфа в залежи, а также погребенной древесины. Для оценки энергоёмкости процесса резания древесных включений разработан стенд по фрезерованию древесины. Проведены серии опытов при изменении значения параметров процесса резания и материала. В процессе обработки экспериментально полученных данных выявлены основные закономерности процесса резания и тенденции его изменения при влияющих параметрах. Сравнение результатов эксперимента для погребенной древесины и древесины, соответствующей ГОСТ, позволило получить коэффициенты изменения удельной работы резания. Предложенный подход позволяет использовать значительный объем справочных данных по резанию древесины для оценки эффективности этого процесса применительно к погребённой древесине торфоразработок и свежей древесины при сводке леса при подготовке залежи.

## ON THE ASSESSMENT OF MILLING PARAMETERS FOR BURIED WOOD IN A PEAT DEPOSIT

*Yusov D.S., Ivanova P.V., Ivanov S.L.*

*Saint-Petersburg Mining University of Empress Catherine II, Saint-Petersburg*

**Keywords:** wood inclusions, dynamic loads, knottiness, moisture, tooth feed, specific cutting work, coefficient of specific cutting work variation.

**Abstract.** The article presents the results of a study on the evaluation of the contamination of a peat deposit with wood inclusions, which complicate the deep milling process. It provides a description of various groups of wood inclusions classified by their shape and structural characteristics. As part of field trials conducted at a peat deposit in the Leningrad region, an assessment of knottiness was made using various standard methodologies. The values of peat parameters in the deposit, as well as buried wood, were determined. A wood milling stand was developed to assess the energy intensity of the process of cutting wood inclusions. A series of experiments was carried out by varying the cutting process parameters and material properties. During the processing of experimental data, the main patterns of the cutting process and trends in its changes under influencing parameters were identified. A comparison of the experimental results for buried wood and wood conforming to GOST standards made it possible to obtain coefficients for the variation of specific cutting work. The proposed approach allows the use of a significant amount of reference data on wood cutting to assess the efficiency of this process when applied to buried wood in peat deposits and fresh wood during forest clearing in preparation for deposit extraction.

### Введение

Наиболее распространенным способом добычи торфяного сырья является фрезерный способ – «последнее фрезерование торфяной залежи с полевой сушкой и уборкой торфа» (ГОСТ 21123-85), им осуществляется до 80% всей добычи. Глубокое фрезерование или фрезерование торфяной залежи вместе с древесными включениями для подготовки производственной площади путем измельчения разрабатываемого слоя, является важной операцией при реализации данного способа [1]. Для выполнения такого рода операции используется фрезерный барабан. Благодаря его конструкции с использованием порядка 100 ножей и резцов, возможна глубина погружения в торф на глубину до 0,4 м с шириной захвата

не более 2 м [2]. Окружная скорость барабана находится в пределах от 8 до 13 м/с, что выше или соизмеримо с линейной скоростью перемещения агрегата (1,6-15 м/с).

Нож фрезерного барабана описывает траекторию циклоиды, вид которой определяется кинематическим показателем  $\lambda$  равным отношению окружной скорости ножа к поступательной скорости агрегата [3, 4]. Для обеспечения процесса образования стружки ножом фрезы кинематический показатель  $\lambda$  должен быть больше единицы. Особенно это важно при высокой пнистости обрабатываемого слоя, то есть от отношения объема древесных включений к общему его объему (ГОСТ 21123-85). Из-за того, что удельное сопротивление при фрезеровании дерева гораздо выше, чем торфа, у фрезерного барабана может возникать резкопеременные динамические нагрузки.

### **Методология исследования**

При оценке пнистости торфяного месторождения важно определить, распределены ли пни хаотично или сосредоточены на одном или нескольких горизонтах [5]. После этого уточняется количество таких горизонтов, их глубину, расположение пней относительно друг друга, их прочность, размеры и породу. Пни, обнаруженные в торфяных залежах, классифицируются по форме на четыре основные группы: искривленные стволы; односторонне-лапчатые; симметрично-лапчатые и лапчатые пни со стержневым корнем, которые встречаемые крайне редко [6]. Искривленные пни имеют в среднем диаметр 0,07 м, а длина вертикального сегмента ствола составляет примерно 0,35 м. У односторонне-лапчатых пней обычно бывает 3 или 4 лапы, в то время как у симметрично-лапчатых это значение 5. Максимальный диаметр ствольной части первого достигает 0,25 м, среднее значение составляет 0,13 м, у второго же в свою очередь средний диаметр – 0,12 м [7, 8].

Для оценки общей пнистости торфяного месторождения вводится градация: до 0,6% – низкая, от 0,6 до 1,1% – средняя, от 1,2% до 2,1% – выше средней, от 2,1% до 3% – высокая, свыше 3 – очень высокая. Определение пнистости осуществляется с использованием одной из двух ключевых методик, например, методика Центральной торфяной опытной станции (ЦТОС) или Московского торфяного института (МТИ) [9].

Опираясь на вышеуказанные методики, была проведена оценка пнистости торфяной залежи на одном из болотистых участков с наличием верхового сфагнового торфа Ломоносовского района Ленинградской области.

В ходе эксперимента обследована полоса залежи длиной 30 м и шириной 2,5 м. Обнаружение древесных включений на глубине до 0,4 м осуществлять с помощью металлического бура-щупа. Пробы производить через каждые 0,5 м в ширину и длину полосы. Общее количество опробований составило 366 точек, древесные включения обнаружены в 92 случаях, таким образом, попадание бура на пень составляет 25,1%. В этом случае, согласно методике ЦТОС пнистость составляет примерно 3,5%, а по МТИ среднее значение колеблется около 5%. Также была проведена оценка плотности торфа в залежи, которая составила 617 кг/м<sup>3</sup> при степени разложения R19, насыпная плотность торфяного сырья – 448 кг/м<sup>3</sup>, влага торфа – 82,2%, и сопротивление грунта сдвигу – 47,4 кПа. Помимо параметров торфа и торфяного сырья были собраны образцы древесных включений для оценки свойств погребенной древесины и проведению экспериментов по его фрезерованию. Основной погребенной древесины месторождения является сосна. Влага отобранной древесины составила 64% плотностью 738 кг/м<sup>3</sup>, при прочности на сжатие 24 МПа и на изгиб – 47,5 МПа.

Как упоминалось ранее, из-за структурной неоднородности обрабатываемого материала и наличие древесных включений, обусловленная пнистостью, момент сопротивления приобретает резко изменчивый и случайный характер [10]. Это приводит к снижению долговечности горных машин, так как привод и конструкция испытывают колоссальные динамические нагрузки [11, 12]. Так именно ножи или резцы напрямую учувствуют во взаимодействии с древесными включениями, от них на фрезу передается динамику импульсных воздействий. Данное явление обусловлено многократным контактом резца с погребенной древесиной, при котором поток импульсов имеют случайные параметры [13].

Вид таких импульсов характеризуется дельтой толщины стружки по дуге контакта, а его продолжительность прямопропорционально углу касания режущей кромки с погребенной древесиной [14, 15]. Сложность решения задачи заключается еще и в том, что одновременно протекают два процесса: резание торфа и измельчение древесных включений, не имеющих жесткой заделки, которые для эффективного их осуществления требуют, подчас, различных подходов при общности решений. В частности, для повышения эффективности глубокого фрезерования торфяной залежи с большой пнистостью, рассматриваются ножи с криволинейной режущей гранью и резцы типа РН [16].

Глубокое фрезерование торфяной залежи и измельчение древесных включений предполагает выбор параметров фрезерования, таких как скорость резания и вращения фрезы, глубины резания и подачи [17]. В результате стужкообразования достигается уменьшение размеров частиц древесных включений до уровня, при котором они не оказывают негативного влияния на последующие этапы переработки и использования торфяного сырья, как правило, это размер частиц менее 25 мкм [18, 19]. При этом целесообразно учесть богатый опыт деревообработки и использовать его применительно к древесным включениям, для чего необходимо провести сравнительные испытания фрезерования древесного торфяного сырья и базовых сортов древесины в состоянии соответствующем ГОСТ, так и сырой древесины [20-22]. Для установления тенденций процесса измельчения древесины, а также при учете значительного объема теоретического и экспериментального материала, связанного с деревообработкой, был проведен эксперимент по фрезерному измельчению последней.

Зачастую именно сосна или береза находятся в залежи как погребенная древесина, сосна была выбрана в качестве базовой. В качестве инструмента выступал фрезер «Ф1450Э Промо» мощность 1400 Вт оснащенный пазовой фрезой диаметром 0,004 м с двумя зубьями и изменяемой частотой вращения 267-500 с<sup>-1</sup>.

Стенд представлял собой раму в виде стола, по которому в направляющих детерминировано, вдоль линии резания, линейно перемещали деревянный брусок, размером 200×90×15 мм. Образцы были выполнены из сосны с влажностью 15% и 64%. Степень подвижности последнего равнялся единице. На бруске, с одной стороны, фиксировался шток газлифта, а его корпус был закреплен на раме стенда. Газлифт обеспечивал постоянное подающее усилие на образец в 100 Н. Фрезер крепился к рабочей поверхности стола двумя струбцинами с возможностью изменения глубины фрезерования, постоянной в каждом цикле экспериментов. Фрезерование образцов осуществлялось на длину 0,05 м. В эксперименте фиксировалась потребляемая фрезером мощность и время работы. Осуществлялась видеосъемка эксперимента.

В каждой серии экспериментов были неизменные значения величин параметров: усилие подачи – 100 Н, длина фрезерования  $L = 0,05$  м, диаметр фрезы – 0,04 м, а также постоянные только для данной серии экспериментов: глубина резания  $T$ , скорость резания  $v_{рез}$ , влажность – 15% и 64%. Изменялась глубина фрезерования, частота вращения шпинделя фрезера при заданной влажности образца.

Перед проведением экспериментов были зафиксированы мощности, потребляемые фрезером на холостом ходу на каждой из фиксируемых частот вращения шпинделя. Они составили: 249 Вт, 285 Вт, 314 Вт, 368 Вт для частоты соответственно: 267 с<sup>-1</sup>, 333 с<sup>-1</sup>, 400 с<sup>-1</sup>, 500 с<sup>-1</sup>.

В ходе первого опыта на древесине влажностью 15% проводилось 4 испытания с разной частотой вращения фрезера: 267 с<sup>-1</sup>, 333 с<sup>-1</sup>, 400 с<sup>-1</sup>, 500 с<sup>-1</sup>. Время, за которое фреза преодолевала расстояние в 0,05 м составило 2,5 с; 2,2 с; 2 с и 1,7 с соответственно, а мгновенная потребляемая мощность для этих условий составила 310 Вт, 354 Вт, 390 Вт и 458 Вт при постоянной глубине фрезерования 9 мм. Расчетная величина затраченной работы для каждого из 4 испытаний составила: 152,5 Дж, 151,8 Дж, 152 Дж, 153 Дж. Это свою очередь соответствует динамике процесса резания древесины при выбранных параметрах. Расчетная подачи на зуб составила 37,5 м; 34 м; 31,25 м; 29,4 м для этих значений минутная подача соответствует 1,2 м/мин; 1,36 м/мин; 1,5 м/мин и 1,76 м/мин.

На рисунке 1 представлены изменения удельной работы ( $\Delta A$ ) – столбчатая диаграмма и подачи на зуб ( $S_z$ ) – линейный график от скорости резания ( $V_{рез}$ ) сухой древесины. Величина показателя удельной работы  $\Delta A$  практически не меняется при изменении скорости резания и находится в пределах точности эксперимента. Подача на зуб с увеличением скорости резания при постоянном усилии подачи имеет тенденцию к снижению.

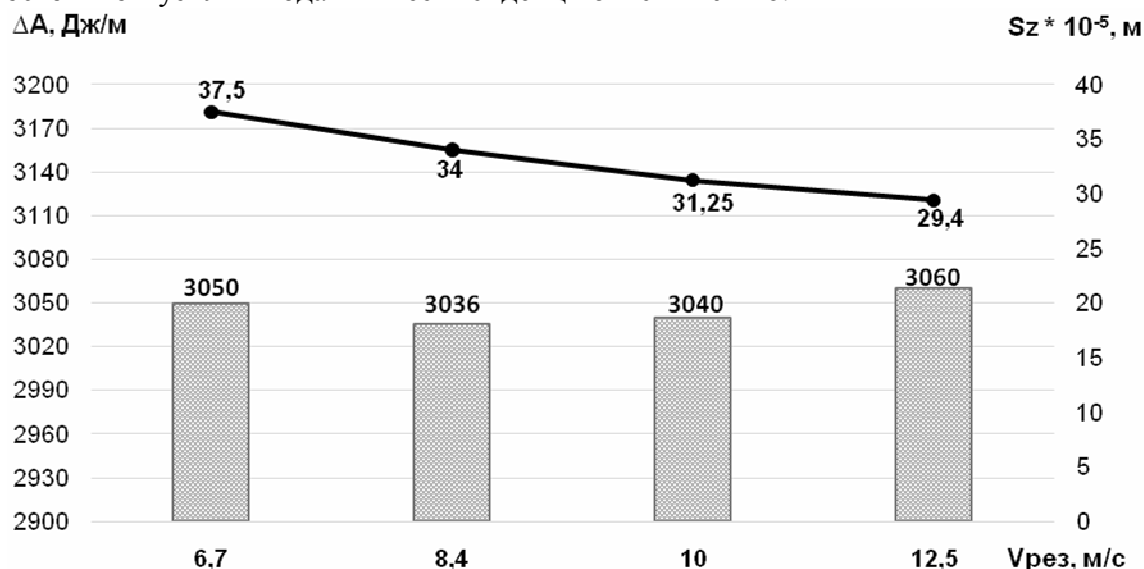


Рис. 1. Зависимость подачи на зуб ( $S_z$ ) и удельной затраченной работы ( $\Delta A$ ) от скорости резания ( $V_{рез}$ ), при постоянной глубине ( $T = 9 \text{ мм}$ )

Во второй серии опытов варьировалась глубина фрезерования, а частота вращения оставалась неизменной, обеспечивая постоянство скорости резания равной 10 м/с. Ожидаемо, при постоянной скорости резания и изменяемой глубине в ходе испытаний возросло время фрезерования: 1,8 с; 2 с и 2,2 с для глубины фрезерования 0,006 м; 0,009 м и 0,011 м соответственно. При этом потребляемая мощность составила 385 Вт, 390 Вт и 405 Вт. Как и в предыдущей серии, проводился расчет затраченной работы 113,6 Дж; 152 Дж и 200,2 Дж и минутной подачи – 1,66 м/мин; 1,5 м/мин и 1,36 м/мин. Результаты эксперимента после обработки представлены на рисунке 2.

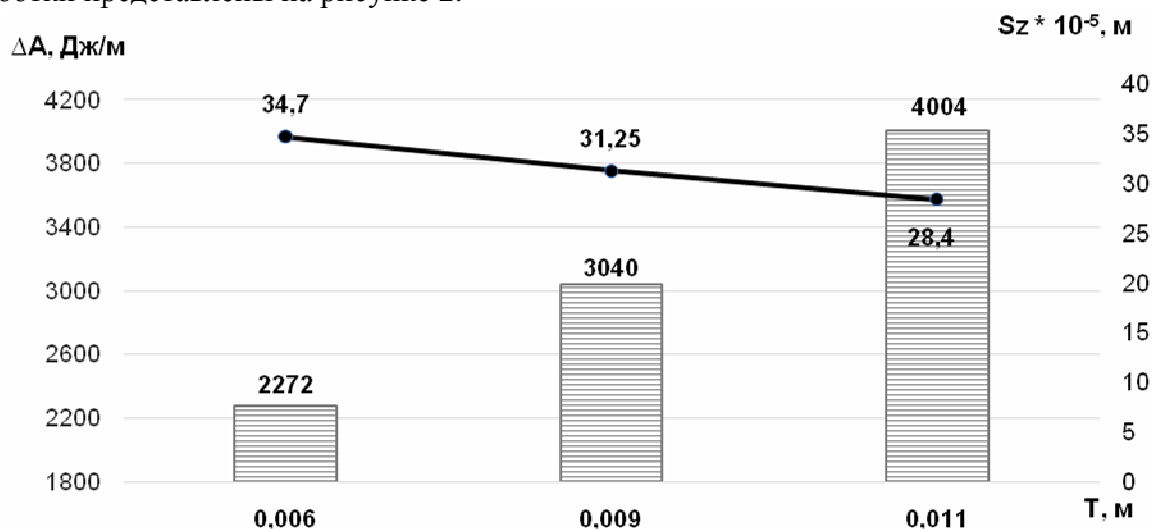


Рис. 2. Изменения подачи на зуб ( $S_z$ ) и удельной затраченной работы ( $\Delta A$ ) от глубины фрезерования ( $T$ ), при постоянной скорости резания ( $V_{рез} = 10 \text{ м/с}$ )

Анализируя результаты экспериментов, можно сделать вывод, что удельная работа резания имеет тенденцию к росту по экспоненциальному закону при линейном увеличении глубины резания.

В третьей серии опытов обрабатывалась древесина различной влажности 15% и 64% и параллельно изменялась глубина фрезерования при неизменной скорости резания равной 10 м/с. Время фрезерования образца влажностью 15% составило 2 с при потребляемой мощности в 390 Вт, что соответствует затраченной работе 152 Дж, в то время как для образца влагой 64% время фрезерования составило 2,1 с, мощностью – 445 Вт при затраченной работе – 275,1 Дж соответственно. Аналогично при глубине фрезерования в 0,011 м были получены результаты: время фрезерования – 2,2 с, мощность – 405 Вт, работа – 200,2 Дж для сухого материала и 2,3 с, 471 Вт и 361,1 Дж для древесины влагой 64%.

На рисунке 3 представлена графическая интерпретация экспериментов, а также показано изменение подачи на зуб при фрезеровании древесины различной влажности под действием постоянного усилия подачи в 100 Н.

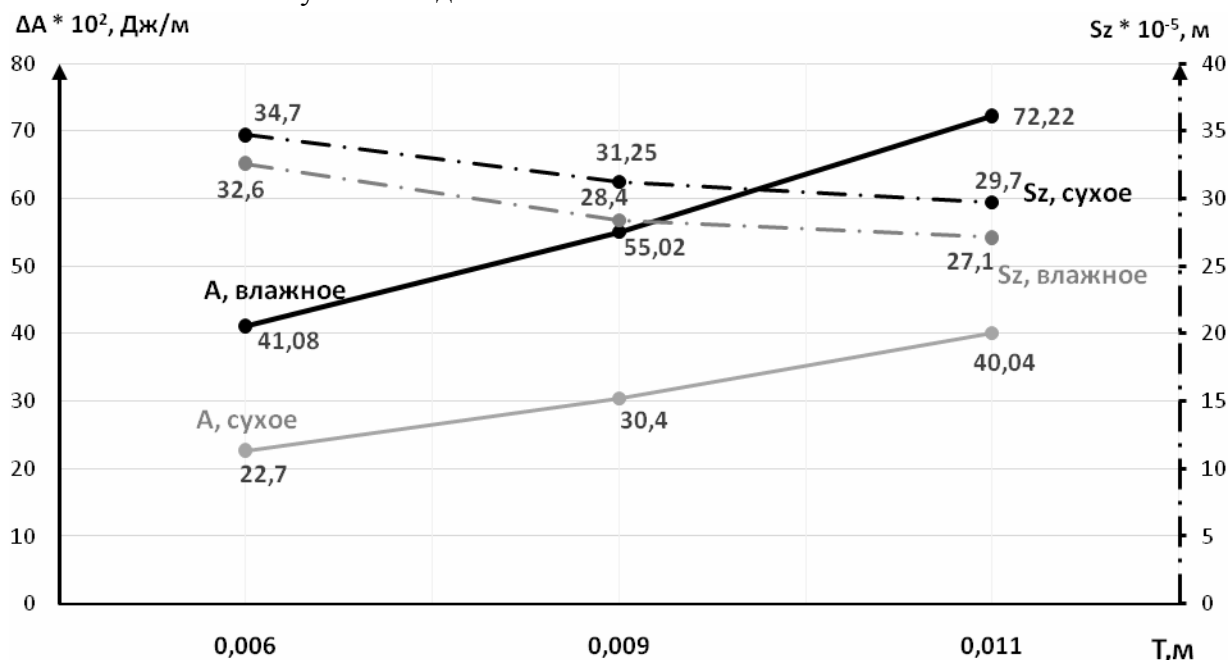


Рис. 3. Изменение величины подачи на зуб ( $S_z$ ) и удельной затраченной работы ( $\Delta A$ ) от глубины фрезерования ( $T$ ), при постоянной скорости резания ( $V_{рез} = 10$  м/с) с влажностью 15% и 64% при постоянном усилии подачи 100 Н

Как показывает практика, влажное дерево обладает большей плотностью и вязкостью, что приводит к повышенному сопротивлению при обработке [23, 24]. Также влажное дерево может деформироваться и волокна могут тянуться за режущим инструментом, а не срезаться начисто [25]. Это снижает эффективность резания и требует больше энергии для удаления материала, что требует увеличения совершаемой работы. Именно поэтому наблюдается резкий рост совершаемой работы при увеличении влажности и такой же резкий спад подачи на зуб. При этом величина значений искомых параметров при фрезеровании сухой и мокрой древесины пропорциональны между собой.

### Заключение

Подводя итоги, можно сделать вывод, что выявленные тенденции характерны для всего процесса и их можно распространить на все влияющие факторы, как: скорость, глубину резания, подачу, влажность. Влияние влаги на параметры фрезерования древесины возможно оценивать исходя из справочных значений для сухой древесины вводя соответствующий коэффициент, например, коэффициент изменения удельной работы резания ( $K_A$ ) или коэффициент изменения подачи ( $K_Z$ ). Для указанных условий при изменении влаги древесины с 15% до 64%, указанные коэффициенты равны  $K_A = 1,8$ , и  $K_Z = 0,94$ .

Полученные результаты имеют важное значение для повышения эффективности процессов добычи и переработки торфа, что открывает новые перспективы в области рационального использования природных ресурсов и развития энергетической отрасли.

### Список литературы

1. Mikhailov A.V., Bouguebrine C., Shibanov D.A., Bessonov A.E. Impact Evaluation of Excavator Positioning on Open Pit Slope Stability // *International Journal of Engineering*. 2024, no. 38, pp. 99-107. doi.org/10.5829/ije.2025.38.01a.10.
2. Жигульская А.И., Яконовский Т.Б., Жигульский М.А. Выбор машин для технических схем выемки вскрыши торфяного месторождения // *Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: 13-я Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики*. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. – Т.1. – С. 180-184.
3. Машенский А.А. Определение геометрических параметров фрезерных почвообрабатывающих машин // *Тракторы, автомобили, мобильные энергетические средства: проблемы и перспективы развития: доклады Международной научно-технической конференции, посвященной 80-летию со дня рождения д-ра техн. наук, проф. Скотникова В. А.* – Минск: БГАТУ, 2009. – С. 462-466.
4. Михайлов А.В., Родионов Е.А., Звонарев И.Е. Анализ условий вертикальной выемки торфяного сырья // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2019 – №1. – С. 48-54. – doi.org/10.25018/0236-1493-2019-01-0-48-54.
5. Яконовская Т.Б., Жигульская И.А. Совершенствование технологии разработки торфяного месторождения // *Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений. Уральская горнопромышленная декада: сборник докладов X Международной научно-технической конференции*. – Екатеринбург: УГГУ, 2021. – С. 80-88.
6. Mikhailov A.V., Korolyov I.A., Lopatiuk A.O. Corrosion Stability of Cutting Tool's Material for Exploitation of Peat Deposits // *Procedia Engineering*. 2017, vol. 206, pp. 668-675. doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.535.
7. Лаптева С.Б., Мокроусова И.В., Алексеева С.Ю. Определение пнистости на торфяном месторождении в Тверской области // *Сборник статей V Международной научно-практической конференции*. – Пенза: Пензенский ГАУ, 2022. – С. 125-129.
8. Фомин К.В. Расчет взаимных спектральных плотностей моментов сопротивления на рабочих органах торфяного фрезерующего агрегата // *Записки Горного института*. – 2021. – Т. 251. – С. 745-756. – doi.org/10.31897/PMI.2021.5.14.
9. Панов В.В., Токарев С.В., Женихов Ю.Н. Методические особенности разведки месторождений торфа в соответствии с целями их использования // *Труды Инсторфа*. – 2018 – №18(71) – С. 8-27.
10. Мякотных А.А., Иванова П.В., Иванов С.Л. О классификации торфяных комплексов // *Горная промышленность*. – 2023. – №6. – С. 137-142. – doi.org/10.30686/1609-9192-2023-6-137-142.
11. Фомин К.В., Жигульская А.И. Инженерная методика анализа динамических нагрузок на элементах привода машин глубокого фрезерования // *Труды Инсторфа*. – 2015. – №12(65). – С. 27-32.
12. Фомин К.В., Жигульская А.И., Исаев Р.Г. Определение вероятностных характеристик момента нагружения на рабочем органе машин глубокого фрезерования при подготовке торфяной залежи к эксплуатации // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2014. – № 9. – С. 36-42.
13. Шемякин С.А., Шишкин Е.А. Физико-математическая модель разрушения горных пород зубом фрезерной установки // *Записки Горного института* – 2021. – Т. 251. – С. 639-647. – doi.org/10.31897/PMI.2021.5.3.
14. Фомин К.В. Методика оценки спектральной плотности момента сопротивления на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата // *Записки Горного института*. – 2020. – Т. 241 – С. 58-67. – doi.org/10.31897/PMI.2020.1.58.
15. Ефремова Т.Т., Ефремов С.П., Аврова А.Ф. Особенности трансформации органического вещества стволовой древесины ели при торфогенезе на лесных болотах // *Лесоведение* – 2020. – №6. – С. 548-559. – doi.org/10.31857/S0024114820050058.
16. Юсов Д.С., Иванова П.В., Иванов С.Л. Систематизация рабочих органов машин глубокого фрезерования // *Горная промышленность*. – 2024. – №3. – С. 85-89. – doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-85-89.
17. Lempinen H., Vainio A. Lost in transition: Peat workers experiences of Finland's low carbon transition policies // *The Extractive Industries and Society*. 2023, vol. 15, p. 101312. doi.org/10.1016/j.exis.2023.10131.
18. Semin A. Impact of peat industry development on regional sustainability // *Journal of Eastern European and Central Asian research*. 2021, vol. 8, no. 2, pp. 214-227. doi.org/10.15549/jecar.v8i2.694.
19. Muhammad Arslan, Muhammad Usman, Mohamed Gamal El-Din. Exploring nature's filters: Peat-mineral mix for low and high-strength oilfield produced water reclamation // *Water Research*. 2024, vol. 255, p. 121502. doi.org/10.1016/j.watres.2024.121502.
20. Giulio Cristina, Enrico Camelin, Tonia Tommasi, Debora Fino, Massimo Pugliese. Anaerobic digestates from sewage sludge used as fertilizer on a poor alkaline sandy soil and on a peat substrate: Effects on tomato plants growth and on soil properties // *Journal of Environmental Management*. 2020, vol. 269, p. 110767. doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110767.
21. Иванов В.В., Дзюрин Д.О. Обоснование параметров технологической схемы разработки обводненных месторождений строительного песка // *Записки Горного института*. – 2022. – Т. 253. – С. 33-40. – doi.org/10.31897/PMI.2022.3.

22. Katja Ohenoja, Jouni Rissanen, Paivo Kinnunen, Mirja Illikainen. Direct carbonation of peat-wood fly ash for carbon capture and utilization in construction application // *Journal of CO2 Utilization*. 2020, vol. 40, p. 101203. doi.org/10.1016/j.jcou.2020.101203.
23. Михайлов А.В., Лопатюк А.О. Особенности процесса резания торфяного массива // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2018. – №9. – С. 3-12.
24. Побережный Г.В. Обзор инструмента при фрезеровании древесины // 74-я научно-техническая конференция учащихся, студентов и магистрантов: тезисы докладов. – Минск: БГТУ, 2023. – Т. 1. – С. 56-57.
25. Selva Dhandapani, Stephanie Evers, Doreen Boyd, Chris D Evans, Susan Page, Faizal Parish, Sofie Sjogersten. Assessment of differences in peat physico-chemical properties, surface subsidence and GHG emissions between the major land-uses of Selangor peatlands // *CATENA*. 2023, vol. 230, p. 107255. doi.org/10.1016/j.catena.2023.107255.

### References

1. Mikhailov A.V., Bouguebrine C., Shibanov D.A., Bessonov A.E. Impact Evaluation of Excavator Positioning on Open Pit Slope Stability // *International Journal of Engineering*. 2024, no. 38, pp. 99-107. doi.org/10.5829/ije.2025.38.01a.10.
2. Zhigul'skaya A.I., Yakonovsky T.B., Zhigul'sky M.A. Selection of Machinery for Technical Schemes of Overburden Removal in Peat Mining // *Socio-Economic and Environmental Problems of Mining, Construction, and Energy: 13th International Conference on Mining, Construction, and Energy Issues*. – Tula: Publ. house of TulSU, 2017. – Vol. 1. – P. 180-184.
3. Mashchensky A.A. Determination of Geometric Parameters of Milling Soil-Processing Machines // *Tractors, Automobiles, Mobile Energy Means: Problems and Prospects of Development: Reports of the International Scientific and Technical Conference Dedicated to the 80th Anniversary of Doctor of Technical Sciences, Prof. Skotnikov V.A.* – Minsk: BSTU, 2009. – P. 462-466.
4. Mikhailov A.V., Rodionov E.A., Zvonarev I.E. Analysis of Vertical Peat Extraction Conditions // *Mining information and analytical bulletin*. 2019, no. 1, pp. 48-54. doi.org/10.25018/0236-1493-2019-01-0-48-54.
5. Yakonovskaya T.B., Zhigul'skaya I.A. Improvement of Peat Field Development Technology // *Innovative Geotechnologies in the Development of Ore and Non-Ore Deposits. Ural Mining Industry Decade: Proceedings of the 10th International Scientific and Technical Conference*. – Yekaterinburg: USMU, 2021. – P. 80-88.
6. Mikhailov A.V., Korolyov I.A., Lopatiuk A.O. Corrosion Stability of Cutting Tool's Material for Exploitation of Peat Deposits // *Procedia Engineering*. 2017, vol. 206, pp. 668-675. doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.535.
7. Lapteva S.B., Mokrousova I.V., Alekseeva S.Yu. Determination of Porosity at a Peat Deposit in Tver Region // *Proceedings of the 5th International Scientific-Practical Conference*. – Penza: Penza SAU, 2022. – P. 125-129.
8. Fomin K.V. Calculation of Mutual Spectral Densities of Resistance Moments on the Working Bodies of a Peat Milling Unit // *Journal of Mining Institute*. 2021, vol. 251, pp. 745-756. doi.org/10.31897/PMI.2021.5.14.
9. Panov V.V., Tokarev S.V., Zhenikhov Yu.N. Methodological Features of Peat Deposits Exploration According to Their Usage Goals // *Proceedings of Instorf*. 2018, no. 18(71), pp. 8-27.
10. Myakotnykh A.A., Ivanova P.V., Ivanov S.L. On classification of peat extraction complexes // *Russian Mining Industry*. 2023, no. 6, pp. 137-142. doi.org/10.30686/1609-9192-2023-6-137-142.
11. Fomin K.V., Zhigul'skaya A.I. Engineering Methodology for Analyzing Dynamic Loads on the Drive Elements of Deep Milling Machines // *Proceedings of Instorf*. 2015, no. 12(65), pp. 27-32.
12. Fomin K.V., Zhigul'skaya A.I., Isaev R.G. Determination of Probabilistic Characteristics of Loading Moments on the Working Body of Deep Milling Machines for Preparing Peat Beds for Operation // *Mining information and analytical bulletin*. 2014, no. 9, pp. 36-42.
13. Shemyakin S.A., Shishkin E.A. Physical and Mathematical Model of Rock Destruction by a Cutter's Tooth // *Journal of Mining Institute*. 2021, vol. 251, pp. 639-647. doi.org/10.31897/PMI.2021.5.3.
14. Fomin K.V. Methodology for Assessing the Spectral Density of Resistance Moments on the Working Body of a Peat Milling Unit // *Journal of Mining Institute*. 2020, vol. 241, pp. 58. doi.org/10.31897/PMI.2020.1.58.
15. Efremova T.T., Efremov S.P., Avrova A.F. Features of Organic Matter Transformation in Spruce Trunk Wood During Peat Formation in Forested Swamps // *Forest science*. 2020, no. 6, pp. 548-559. doi.org/10.31857/S0024114820050058.
16. Yusov D.S., Ivanova P.V., Ivanov S.L. Systematization of the Working Bodies of Deep Milling Machines // *Russian Mining Industry*. 2024, no. 3, pp. 85-89. doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-85-89.
17. Lempinen H., Vainio A. Lost in transition: Peat workers experiences of Finland's low carbon transition policies // *The Extractive Industries and Society*. 2023, vol. 15, p. 101312. doi.org/10.1016/j.exis.2023.101311.
18. Semin A. Impact of peat industry development on regional sustainability // *Journal of Eastern European and Central Asian research*. 2021, vol. 8, no. 2, pp. 214-227. doi.org/10.15549/jeeacar.v8i2.694.
19. Muhammad Arslan, Muhammad Usman, Mohamed Gamal El-Din. Exploring nature's filters: Peat-mineral mix for low and high-strength oilfield produced water reclamation // *Water Research*. 2024, vol. 255, p. 121502. doi.org/10.1016/j.watres.2024.121502.
20. Giulio Cristina, Enrico Camelin, Tonia Tommasi, Debora Fino, Massimo Pugliese. Anaerobic digestates from sewage sludge used as fertilizer on a poor alkaline sandy soil and on a peat substrate: Effects on tomato plants

- growth and on soil properties // Journal of Environmental Management. 2020, vol. 269, p. 110767. doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110767.
21. Ivanov V.V., Dzyurich D.O. Justification of Technological Scheme Parameters for the Development of Waterlogged Construction Sand Deposits // Journal of Mining Institute. 2022, vol. 253, pp. 33-40. doi.org/10.31897/PMI.2022.3.
  22. Katja Ohenoja, Jouni Rissanen, Paivo Kinnunen, Mirja Illikainen. Direct carbonation of peat-wood fly ash for carbon capture and utilization in construction application // Journal of CO2 Utilization. 2020, vol. 40, p. 101203. doi.org/10.1016/j.jcou.2020.101203.
  23. Mikhailov A.V., Lopatiuk A.O. Features of the process of cutting peat massif // Mining information and analytical bulletin. 2018, no. 9, pp. 3-12.
  24. Poberezhny G.V. Overview of Tools for Wood Milling // 74th Scientific and Technical Conference of Pupils, Students, and Master's Students: Abstracts of Reports. – Minsk: BSTU, 2023. – Vol. 1. – P. 56-57.
  25. Selva Dhandapani, Stephanie Evers, Doreen Boyd, Chris D Evans, Susan Page, Faizal Parish, Sofie Sjogersten. Assessment of differences in peat physico-chemical properties, surface subsidence and GHG emissions between the major land-uses of Selangor peatlands // CATENA. 2023, vol. 230, p. 107255. doi.org/10.1016/j.catena.2023.107255.

*Сведения об авторах:*

*Information about authors:*

<b>Юсов Денис Сергеевич</b> – аспирант	<b>Yusov Denis Sergeevich</b> – postgraduate student
<b>Иванова Полина Викторовна</b> – кандидат технических наук, доцент кафедры машиностроения	<b>Ivanova Polina Viktorovna</b> – candidate of technical sciences, associate professor of Department of mechanical engineering
<b>Иванов Сергей Леонидович</b> – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры машиностроения denis-yus3@mail.ru	<b>Ivanov Sergey Leonidovich</b> – doctor of technical sciences, professor, professor of Department of mechanical engineering

Получена 08.10.2024