

## Оценка параметров резцов для фрезерования торфа

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

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация  
✉ Ivanov\_SL@pers.spmi.ru

**Резюме:** При проектировании режущего инструмента для глубокого фрезерования торфяной залежи необходимо учитывать физико-механические особенности разрушаемого материала. Геометрия и расположение резцов на фрезерном барабане определяют эффективность разрушения и измельчения торфяной массы, а также степень её подготовки к последующим технологическим операциям.

Проведен анализ конструктивных решений резцов для глубокого фрезерования, определены коэффициенты подобия для постановки лабораторных исследований с указанием их геометрических параметров. На основе лабораторных исследований определены значения усилия и удельной работы резания для трёх типов резцов, дана оценка потребляемой мощности фрезерования для резца прямоугольной формы, взятого за базовый. Сравнение полученных значений соответствует реальным процессам и согласуется с рабочими параметрами машины МТП-41. Определены коэффициенты формы резцов. Полученные данные могут быть использованы при проектировании и оптимизации режущего инструмента и оборудования, применяемого для механизированной подготовки торфяной залежи. Статья полезна инженерам, исследователям, аспирантам и специалистам, занимающимся разработкой и совершенствованием технологий добычи и переработки торфа.

**Ключевые слова:** бторф, глубокое фрезерование, прямоугольный резец, чашечный резец, треугольный резец, работа резания

**Для цитирования:** Юсов Д.С., Иванова П.В., Иванов С.Л. Оценка параметров резцов для фрезерования торфа. *Горная промышленность*. 2026;(1):157–163. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-1-157-163>

## Evaluation of cutter parameters for peat milling

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

Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation  
✉ Ivanov\_SL@pers.spmi.ru

**Abstract:** When designing cutting tools for deep milling of peat deposits, it is essential to consider the physical and mechanical characteristics of the material being processed. The geometry and arrangement of cutters on the milling drum determine the efficiency of peat destruction and comminution, as well as the degree of the material preparation for subsequent technological operations.

The authors analyzed structural designs of cutters for deep milling, and determined the similarity coefficients for laboratory investigations, including the geometric parameters of the cutters. Based on experimental studies, values for cutting forces and specific cutting energy were established for three types of the cutters. Power consumption during milling was assessed using a rectangular-shaped cutter as the reference. The obtained results correspond to actual process conditions and align with the operational parameters of the MTP-41 machine. Shape coefficients have been defined for the cutters. The data obtained can be used in the design and optimization of cutting tools and equipment employed in mechanized preparation of peat deposits.

This article is useful for engineers, researchers, graduate students, and professionals involved in the development and improvement of technologies for peat extraction and processing.

**Keywords:** peat, deep milling, rectangular cutter, cup-shaped cutter, triangular cutter, cutting work

**For citation:** Yusov D.S., Ivanova P.V., Ivanov S.L. Evaluation of cutter parameters for peat milling. *Russian Mining Industry*. 2026;(1):157–163. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-1-157-163>

### Введение

При проектировании резцов для глубокого фрезерования торфяной залежи важно учитывать в первую очередь особенности разрушаемого материала [1]. Так, в частности, торф в залежи характеризуется высоким уровнем влаги,

волокнистой структурой и возможным наличием древесных включений, что влияет на процесс резания [2]. В практике фрезерной добычи торфа применяются различные типы резцов, каждый из которых имеет свои особенности: прямой резец (РПП) имеет простую форму с прямолиней-

ной режущей кромкой, задним углом в  $8^\circ$  и передним в  $12^\circ$  [3; 4]. Такой резец обеспечивает эффективное резание, но склонен к интенсивному изнашиванию из-за своей угловатой формы, далекой от обтекаемой [5]. Треугольный резец, в свою очередь, обладает повышенной прочностью благодаря своей геометрии, но требует большего усилия при резании из-за большого миделевого сечения и отсутствия режущих граней, определяющих эффективность резания при встрече с погребенной древесиной [6; 7]. Такой резец не режет, а разрывает материал. Его задний угол составляет  $5^\circ$ , а передний  $32^\circ$ . Такая конструкция предназначена для разрушения хрупких материалов, а не волокнистых, к которым можно отнести погребенную древесину [8]. Чашечные и тарельчатые резцы имеют вогнутую форму, что способствует процессу резания, захвату стружки и удалению древесного материала, но могут быть менее эффективны при резании торфа, если передний и задний углы резания совпадают и составляют  $10^\circ$ . Значительное миделевое сечение совместно с развитой задней гранью резца способствует значительным затратам энергии [9].

При глубоком фрезеровании торфа режущие элементы крепят на барабане машины по спирали, что обеспечивает постепенное врезание каждого резца в материал с последовательным контактом и снижением пиковых нагрузок на привод фрезы [10; 11]. Линейная скорость вращения фрезерного барабана составляет  $10\text{--}15$  м/с, глубина фрезерования  $0,4$  м с шириной захвата от  $1,5$  до  $2$  м, а количество режущих элементов на фрезерном барабане составляет  $100\text{--}200$  ед. [12]. Размер стружки зависит как от скорости подачи, так и частоты вращения барабана и числа резцов в линии резания [13].

Конечной задачей процесса фрезерования является образование мелкой торфяной крошки, обладающей заданными размерами, подходящими для последующей сушки и переработки [14; 15]. Засорение торфяной крошки древесиной снижает ее качество и требует очистки [16]. Чтобы этого избежать, необходимо измельчать древесину до размеров, когда получаемая в процессе фрезерования древесная стружка была бы соизмерима с торфяной крошкой [17]. Полученная таким образом стружка одновременно выступает и основным продуктом, и важным показателем эффективности технологического процесса [18]. Количество погребенной древесины определяется пнистостью месторождения, объемная величина которой находится в пределах от  $1$  до  $4\%$  [19; 20]. Поэтому встреча резца с погребенной древесиной при глубоком фрезеровании имеет такую же вероятность, но величина динамического воздействия на всю систему фрезера при этом возрастает до  $70$  раз по сравнению с нагрузками при фрезеровании торфа. При этом основные задачи приходятся на фрезерование торфа [21].

Энергоёмкость фрезерования напрямую отражает, насколько рационально используется энергия в процессе разрушения и съёма торфяной массы [22]. При фрезеровании торфа протекают одновременно три процесса, это собственно срезание торфа режущей гранью, трение задней и боковых поверхностей резца о фрезеруемый торф залежи и перемешивание разрушенного торфа передней поверхностью и телом резца [23]. При затуплении режущих граней резца сопротивление движения резца в торфяной залежи значительно возрастает. При этом доля энергии, затрачиваемая на смятие и фрикционные потери, становится доминирующей в общем балансе сил и энергии резания.

## Материалы и методы

В настоящее время в конструкции фрезерного барабана применяются прямоугольные, треугольные, чашечные, тарельчатые, пирамидальные резцы [24]. При этом в литературе рассматриваются общие принципы расчёта усилий резания, но отсутствуют систематизированные данные по влиянию геометрии режущих элементов на эффективность процесса фрезерования в условиях добычи торфа [25; 26]. Таким образом, отсутствует методологическая основа для сравнительной оценки различных вариантов конструктивного исполнения режущих элементов.

Это обстоятельство затрудняет проведение полноценного анализа эффективности применяемых резцов и выбора их формы с точки зрения минимизации энергозатрат и повышения долговечности. Для решения указанной задачи необходимы дополнительные исследования, направленные на моделирование взаимодействия различных типов резцов с торфяной средой.

Для обеспечения эффективного функционирования фрезерного оборудования при добыче торфа важным этапом является определение рациональных технологических параметров рабочего процесса [27]. Одним из ключевых параметров является глубина врезания резца фрезерного барабана в торфяную залежь [28]. От данной величины зависят энергоёмкость процесса, качество поверхности после обработки, а также производительность машины.

В рамках настоящего исследования была проведена оценка глубины фрезерования для одного резца машины МТП-41. При проведении анализа использовались следующие исходные данные:

- рабочая скорость движения машины  $v_{\text{маш}} = 0,211$  м/с;
- окружная скорость вращения фрезерного барабана на диаметре резцов фрезы  $v_{\text{окр}} = 13$  м/с;
- диаметр фрезы  $D = 0,8$  м;
- угол сектора резания  $\theta = \pi/2$  рад;
- ширина прямоугольного резца  $60$  мм, высота  $100$  мм, передний и задний угол  $12^\circ$  и  $8^\circ$  соответственно.

Глубина резания  $h$  определялась по зависимости:

$$h = v_{\text{маш}} \frac{\theta D}{2v_{\text{окр}}} = 0,211 \frac{0,8\pi}{13 \cdot 4} = 0,01 \text{ м} . \quad (1)$$

Таким образом, глубина резания торфяной залежи резцом при заданных условиях составляет порядка  $1$  см. Полученное значение находится в пределах допустимых режимов работы машины и соответствует рекомендациям по эксплуатации оборудования данного типа.

По методике профессора Л.Н. Самсонова была выполнена оценка затрат энергии при срезе одним прямоугольным резцом, установленным на барабане фрезы [29]. Методика учитывает не только геометрию инструмента и кинематику его движения, но и реологические свойства обрабатываемого материала. Высота гребешка, образующегося между соседними срезками, составляет  $50$  мм, что является одним из параметров для определения объёма торфяной массы, снимаемой за один цикл резания.

Количество резцов, одновременно участвующих в процессе резания, равное  $29$ , определяется по развертке поверхности фрезерного барабана и схеме расстановки  $116$  резцов машины МТП-41.

Значения энергетических показателей для данной машины, оснащенной при использовании прямоугольными резцами, следующие:

- удельная работа резания на резце составила  $131,2$  кДж/м<sup>3</sup>;

– полная работа резания на один резец – 302,5 Дж;  
– потребная мощность на привод фрезерного барабана – 11,25 кВт.

Предпочтение в исследовании процесса фрезерования торфа следует отдавать физическому моделированию, позволяющему всесторонне рассмотреть этот процесс. Для адекватной оценки при переходе от результатов моделирования к реальным значениям показателей необходимо соблюдение условий динамического подобия между моделью и натурным объектом, что достигается введением соответствующих критериев подобия [30].

Основным критерием подобия при моделировании процессов разрушения пластичных материалов рабочими органами при неустановившемся движении является коэффициент подобия скоростей  $K_g$ , который связан с линейным масштабным коэффициентом  $K_l$  [31]. Для рассматриваемого случая он определяется следующим образом:

$$K_g = \frac{v_n^2}{K_l v_m^2} \quad (2)$$

где  $v_n$  – окружная скорость фрезерного агрегата в натуральных условиях;  $v_m$  – скорость резания образца при моделировании;  $K_l$  – отношение геометрических размеров натурального объекта к размерам модели.

Эти параметры позволяют обеспечить сопоставимость силовых и кинематических характеристик процесса резания при моделировании реального процесса. Параметры с индексом «н» устанавливаются на основании предварительной информации о натурном образце техники, в то время как индекс «м» указывает на моделируемый объект.

В качестве экспериментальной установки был выбран маятниковый копер с установленным на нем резцом, схема эксперимента представлена на рис. 1. Траектория движения модели резца подобна траектории движения натурального образца, установленного на барабане МТП-41 [32].

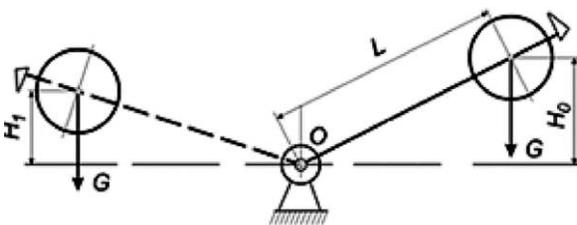


Рис. 1  
Схема лабораторного стенда

Fig. 1  
Laboratory bench diagram

Радиус траектории движения модели резца при закреплении его на маятнике копра равен 0,5 м, что соизмеримо с радиусом траектории движения резцов на фрезерном барабане машины глубокого фрезерования МТП-41. На маятнике жестко закреплялись модели резцов (рис. 2). Геоме-

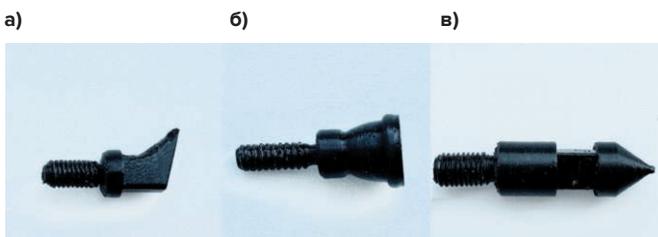


Рис. 2  
Резцы: а – прямой;  
б – чашечный; в – треугольный

Fig. 2  
Cutters: а – straight;  
б – cup-shaped; в – triangular

Таблица 1  
Геометрические параметры  
моделей резцов

Table 1  
Geometric parameters  
of the cutter models

Модель резца	Ширина, мм	Высота, мм	Передний угол, град	Задний угол, град
Треугольный моделируемый	20	50	32	5
Чашечный моделируемый	20	50	10	10
Прямоугольный моделируемый	20	50	12	8

трические параметры резцов сведены в табл. 1.

Сравнивая геометрические размеры прямоугольного резца фрезера МТП-41 с его моделью, необходимо констатировать, что масштабный коэффициент  $K_l$  равен 3, при этом в качестве основного линейного параметра выступает ширина резца. Что касается двух других моделей резцов, то они выполнены в том же масштабе, что и прямоугольный резец, по отношению к своим оригиналам. Начальная высота  $H_0$  относительно уровня отсчета для всех опытов равна 0,23 м, конечная высота  $H_1$  относительно уровня отсчета изменяется при изменении геометрии режущего элемента или глубины резания торфа.

На основании копра жестко закреплена емкость с образцами торфяного сырья ненарушенной структуры. Высота подъема маятника до и после взаимодействия резца с образцом контролировалась штатным стрелочным прибором, а эксперимент фиксировался на видео. Обработка полученных результатов осуществлялась в видеоредакторе iPhone 16 Pro. Глубина резания устанавливалась равной 1 и 2 см и контролировалась штангенглубиномером. В каждой серии экспериментов изменялись лишь глубина резания и конструкции режущего элемента.

На основании серии пробных экспериментов оценивалась точность и определялось минимальное, но достаточное количество опытов в каждой серии основных испытаний для получения достоверных данных о процессе.

## Результаты

Учитывая хорошую повторяемость результатов, за истинное значение принималось среднее арифметическое пяти последовательно полученных данных [33]. Объем полученной стружки определялся аналитически с учетом площади сечения каждого резца и траектории его движения. Объем стружки при глубине 1 см и 2 см составил соответственно для прямоугольного резца  $2,674 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$  и  $7,83 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ , для треугольного –  $7,62 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$  и  $4,502 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ , для чашечного –  $2,580 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$  и  $7,49 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ , а пройденный резцом путь при данных глубинах составил 0,2 м и 0,288 м соответственно. Помимо этого, проводилась оценка скорости резания, составившая 3,64 м/с, и мощности на один резец, равная 5,35, 3,21 и 6,025 Вт для прямоугольного, треугольного и чашечного резца соответственно.

Работа резания, удельная работа резания и усредненное усилие резания рассчитывались по формулам (3)–(5), а результаты представлены на рис. 4–6:

$$A_{рез} = mg(H_0 - H_1), \quad (3)$$

где  $A_{рез}$  – работа резания Дж;  $m$  – масса маятника, равная 3 кг;  $g$  – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с<sup>2</sup>.

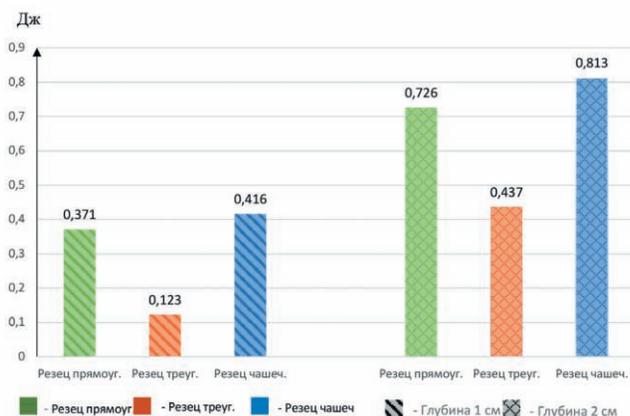


Рис. 3  
Величина работы резания торфа для трех типов резцов

На рис. 3 представлены усредненные значения работы резания торфа для каждого типа резцов при двух фиксированных глубинах среза: 1 и 2 см. Стоит отметить несколько ключевых моментов, треугольный резец имел минимальное значение работы, равное 0,123 Дж, однако столь низкая величина обусловлена не только формой резца, но и крайне малым объемом срезаемого торфа. При такой глубине активная зона контакта резца с материалом минимальна, что снижает нагрузку и сопротивление. Прямоугольный резец обеспечивает компромисс между устойчивостью резания и умеренными энергозатратами, особенно при глубине 2 см, где он почти на 11% эффективнее чашечного. Чашечный резец стабильно демонстрирует наибольшую работу резания на обоих глубинах:

$$K = \frac{A_{рез}}{V}, \quad (4)$$

где  $K$  – удельная работа резания, кДж/м<sup>3</sup>;  $A_{рез}$  – работа резания, Дж;  $V$  – объем срезанного торфа, м<sup>3</sup>.

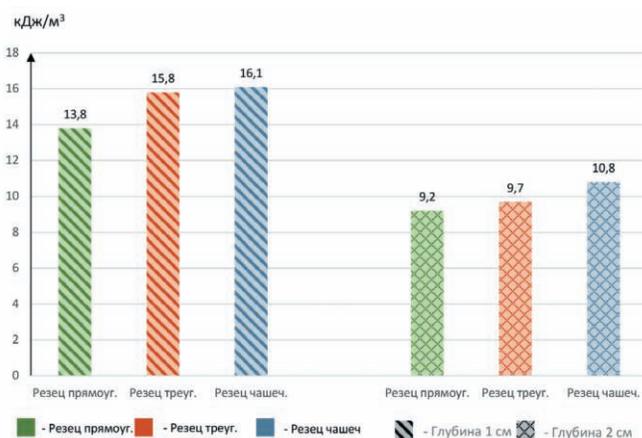


Рис. 4  
Величина удельной работы резания торфа для каждого типа резцов

На рис. 4 отображены значения удельной работы резания торфа также для трех типов резцов при двух глубинах: 1 и 2 см. Удельная работа является важнейшим параметром при проектировании исполнительных органов

и оценке эффективности их взаимодействия с торфяной залежью. Увеличение глубины резания ведёт к снижению удельной работы для всех типов резцов. А минимальные значения удельной работы достигаются прямоугольным резцом на глубине 2 см – это указывает на его рациональное применение при решении задач по снижению энергетических затрат:

$$F = \frac{A_{рез}}{l}, \quad (5)$$

где  $F$  – среднее усилие резания, Н;  $l$  – пройденный путь, м.

Рис. 5. Величина среднего усилия для трех типов резцов  
Fig. 5. Average force for the three types of cutters

На рис. 5 представлены значения среднего усилия резания для трёх типов резцов. Чашечный резец стабильно требует наибольшего усилия резания при обеих глубинах, треугольный резец демонстрирует наименьшее сопротивление, особенно на малой глубине, что делает его потенциально пригодным для поверхностной обработки, прямоугольный резец представляет собой универсальное решение с умеренными значениями усилия при обоих уровнях глубины.

Полученные в результате экспериментов значения мощности  $N_m$  для фрезера, оснащенного прямоугольными резцами, были пересчитаны на натуральный уровень с использованием коэффициентов подобия. Расчёт ожидаемой мощности привода натурального оборудования выполнялся по следующей зависимости:

$$N_n = N_m K_l^{3,5} k_g^{0,5} = N_n K_l^3 \frac{v_n}{v_m}. \quad (6)$$

Подставив численные значения, определили мощность, необходимую для привода фрезерного барабана машины МТП-41 в реальных условиях эксплуатации. Стоит обратить внимание, что коэффициентом линейного масштаба  $K_l^3$  является в своей фронтальной плоскости отношение объема срезаемой стружки резца на фрезерном барабане  $V_n$  к объему стружки при моделировании  $V_m$ , однако при сопоставимых глубине резания и длине хода сводится к отношению ширины режущей кромки  $b_n$  и  $b_m$  или же просто  $K_l$ . На основании определенных масштабных коэффициентов была оценена потребляемая мощность фрезерного агрегата, которая составила 9690,408 Вт, при оценке теоретической мощности по Самсонову, равной 11257,372 Вт. Результат свидетельствует об адекватности значений полученных в ходе эксперимента данных реальному процессу [34; 35]. Аналогичный пересчет показал, что потребляемая для фрезерования торфа мощность для резцов треугольной и чашечной формы будет составлять 5814,244 Вт и 10894,702 Вт соответственно.

### Заключение

Анализируя полученные данные, возможно получить коэффициент формы режущего инструмента, относя мощность резания для интересующего нас инструмента  $N_{м,рез,i}$  к соответствующей мощности резания прямоугольного резца, взятого за базовую  $N_{м,рез,Б}$ :

$$K_{\phi i} = \frac{N_{м,рез,i}}{N_{м,рез,Б}}$$

Таким образом, для исследуемых резцов  $K_{\phi,треуг.} = 0,6$ ,  $K_{\phi,чаш.} = 1,12$ . Коэффициент формы резца следует получать по результатам физического моделирования. Следует отметить, что полученные значения коэффициентов

относятся конкретно к машине МТП-41, поскольку они основаны на её конструктивных и технологических характеристиках, и могут отличаться при использовании в других машинах.

Полученные данные играют ключевую роль в совершенствовании технологий глубокого фрезерования торфяных залежей, что создаёт потенциал для более рационального

освоения природных ресурсов и способствует инновационному развитию энергетического сектора. Однако требуются дальнейшие исследования по оптимизации формы резца, объединяющие в себе достоинства существующих и минимизирующие их недостатки, а также оценку работы резцов при фрезеровании погрешенной древесины.

### Список литературы / References

1. Шемякин С.А., Шишкин Е.А. Физико-математическая модель разрушения горных пород зубом фрезерной установки. *Записки Горного института*. 2021;251:639–647. <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.5.3>  
Shemyakin S.A., Shishkin E.A. Physical and mathematical model of rock destruction by a milling machine cutter. *Journal of Mining Institute*. 2021;251:639–647. <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.5.3>
2. 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>
3. Аксенов В.В., Садовец В.Ю., Пашков Д.А., Захаров А.Ю. Влияние формы режущей кромки на силу резания ножевым исполнительным органом. *Горное оборудование и электромеханика*. 2020;(1):30–36. <https://doi.org/10.26730/1816-4528-2020-1-30-36>  
Aksenov V.V., Sadovets V.Yu., Pashkov D.A., Zakharov A.Yu. Influence of the shape of the cutting edge on the cutting force of the knife executive body. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2020;(1):30–36. <https://doi.org/10.26730/1816-4528-2020-1-30-36>
4. Резник Н.Е. *Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов*. М.: Машиностроение; 1975. 311 с.
5. Михайлов А.В., Казаков Ю.А., Козачков Г.С. Особенности размещения модуля измельчения при внутрикьерной переработке торфяного сырья. *Горная промышленность*. 2024;(5):94–100. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5-94-100>  
Mikhailov A.V., Kazakov Yu.A., Kozachkov G.S. Specific features of a grinding module location in in-pit processing of peat raw materials. *Russian Mining Industry*. 2024;(5):94–100. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5-94-100>
6. Фомин К.В., Жигульская А.И. Инженерная методика анализа динамических нагрузок в элементах привода машин глубокого фрезерования. *Труды Инсторфа*. 2015;(12):27–32.  
Fomin K.V., Zhigul'skaya A.I. Engineering methods of analysis of dynamic loads in the drive elements of deep milling machines. *Trudy Instorfa*. 2015;(12):27–32. (In Russ.)
7. Kudzaev A., Kalagova R., Tsgoev A., Korobeynik I., Urtaev T. Clarification on the soil cutter parameters used for cultivation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022;979:012193. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/979/1/012193>
8. Горлов И.В., Митусов П.Е. Анализ эффективности процесса разрушения слабых горных пород, обладающих пластическими свойствами, при проектировании комплексного агрегата для их переработки. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2025;(4):47–58. [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2025\\_4\\_0\\_47](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2025_4_0_47)  
Gorlov I.V., Mitusov P.E. Analysis of disintegration efficiency in soft rocks with plastic properties in design of compound assembly for such rock processing. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2025;(4):47–58. [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2025\\_4\\_0\\_47](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2025_4_0_47)
9. Горлов И.В., Митусов П.Е. Моделирование процесса разрушения слабых горных пород, обладающих пластическими свойствами. *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Технические науки*. 2023;(4):26–36. Режим доступа: <https://vestnik-tekh.ru/printed/article/?article=504> (дата обращения: 15.10.2025).  
Gorlov I.V., Mitusov P.E. Simulation of the process of destruction of weak rocks with plastic properties. *Vestnik of Tver State Technical University. Series "Technical Science"*. 2023;(4):26–36. (In Russ.) Available at: <https://vestnik-tekh.ru/printed/article/?article=504> (accessed: 15.10.2025).
10. Хрусталева И.Н., Любомудров С.А., Ларионова Т.А., Бровкина Я.Ю. Повышение эффективности технологической подготовки производства комплектующих для изготовления оборудования минерально-сырьевого комплекса. *Записки Горного института*. 2021;249:417–426. <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.3.11>  
Khrustaleva I.N., Lyubomudrov S.A., Larionova T.A., Brovkina Y.Y. Increasing the efficiency of technological preparation for the production of the manufacture components equipment for the mineral resource complex. *Journal of Mining Institute*. 2021;249:417–426. <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.3.11>
11. Фомин К.В. Моделирование нагрузок на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата с учетом погрешности расстановки режущих элементов. *Горные науки и технологии*. 2022;7(2):161–169. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-2-161-169>  
Fomin K.V. Simulation of loads on operating device of peat-cutting unit with regard to errors in the cutting elements arrangement. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2022;7(2):161–169. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-2-161-169>

12. Солопов С.Г., Горцакалян Л.О., Самсонов Л.Н. *Торфяные машины и комплексы*. М.: Недра; 1973. – 392 с
13. Салимов А.Э., Шибанов Д.А., Иванов С.Л. Риски отказов карьерного экскаватора, связанные с его техническим обслуживанием и ремонтом. *Горная промышленность*. 2024;(2):97–102. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-2-97-102>  
Salimov A.E., Shibanov D.A., Ivanov S.L. Failure risks of mine excavator associated with its maintenance and repair. *Russian Mining Industry*. 2024;(2):97–102. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-2-97-102>
14. Иванов В.В., Дзюрич Д.О. Обоснование параметров технологической схемы разработки обводненных месторождений строительного песка. *Записки Горного института*. 2022;253:33–40. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.3>  
Ivanov V.V., Dzyurich D.O. Justification of the technological scheme parameters for the development of flooded deposits of construction sand. *Journal of Mining Institute*. 2022;253:33–40. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.3>
15. Фомин К.В., Жигульская А.И., Исаев Р.Г. Определение вероятностных характеристик момента нагружения на рабочем органе машины глубокого фрезерования при подготовке торфяной залежи к эксплуатации. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2014;(9):36–42. Режим доступа: [https://giab-online.ru/files/Data/2014/09/06\\_36-42\\_Fomin.pdf](https://giab-online.ru/files/Data/2014/09/06_36-42_Fomin.pdf) (дата обращения: 07.10.2025).  
Fomin K.V., Zhigul'skaya A.I., Isaev R.G. Determination of probabilistic characteristics of load moment at the driven element of a deep milling machine in developing a peat deposit. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2014;(9):36–42. (In Russ.) Available at: [https://giab-online.ru/files/Data/2014/09/06\\_36-42\\_Fomin.pdf](https://giab-online.ru/files/Data/2014/09/06_36-42_Fomin.pdf) (accessed: 07.10.2025).
16. Михайлов А.В., Пиирайнен В.Ю., Боброва Е.М., Смирнов А.И. Анализ перспектив использования торфяных почвоулучшителей для рекультивации нарушенных земель. *Горная промышленность*. 2025;(2):124–130. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-2-124-130>  
Mikhailov A.V., Piirainen V.Yu., Bobrova E.M., Smirnov A.I. Analysis of the prospects to use peat-based soil conditioners for reclamation of disturbed lands. *Russian Mining Industry*. 2025;(2):124–130. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-2-124-130>
17. 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., Zhigul'skaya 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>
18. Горлов И.В., Митусов П.Е., Беляев А.М. Анализ процесса измельчения слабых горных пород. *Уголь*. 2022;(6):44–47. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2022-6-44-47>  
Gorlov I.V., Mitusov P.E., Belyaev A.M. Analysis of crushing process of incompetent rocks. *Ugol'*. 2022;(6):44–47. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2022-6-44-47>
19. Бедретдинов Г.Х. Повышение производительности фрезерных машин при расчистке закустаренных земель. *Сельский механизатор*. 2021;(2):10–11.  
Bedretdinov G.H. Increased productivity of milling machines when clearing bushlands. *Selskiy Mehanizator*. 2021;(2):10–11. (In Russ.)
20. Лаптева С.Б., Мокроусова И.В., Алексеева С.Ю. Определение пнистости на торфяном месторождении в Тверской области. В кн.: Байраков И.А., Лушкин И.А. (ред.) *Актуальные проблемы природопользования и природообустройства: сб. ст. 5-й Междунар. науч.-практ. конф., г. Пенза, 28–29 нояб. 2022 г.* Пенза: Пензенский государственный аграрный университет; 2022. С. 125–129. EDN: ZIUAVQ
21. Евзеров В.Я. Торф – неиспользованный сырьевой ресурс северо-запада Российской Арктики. *Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН*. 2021;(18):160–164. <https://doi.org/10.31241/FNS.2021.18.029>  
Yevzerov V.Ya. Peat – as an untapped resource of the North-Western Russian Arctic. *Trudy Fersmanovskoi Nauchnoi Sessii GI KNTs RAN*. 2021;(18):160–164. (In Russ.) <https://doi.org/10.31241/FNS.2021.18.029>
22. Babyr N.V. Topical themes and new trends in mining industry: Scientometric analysis and research visualization. *International Journal of Engineering*. 2024;37(2):439–451. <https://doi.org/10.5829/IJE.2024.37.02B.18>
23. Semin A. Impact of peat industry development on regional sustainability. *Journal of Eastern European and Central Asian Research*. 2021;8(2):214–227. <https://doi.org/10.15549/jeecar.v8i2.694>
24. Хамидов О.У., Шибанов Д.А., Шишкин П.В., Колпаков В.О. Эффективность применения экскаваторов на карьерах Узбекистана. *Горная промышленность*. 2024;(5):135–142. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5-135-142>  
Khamidov O.U., Shibanov D.A., Shishkin P.V., Kolpakov V.O. Efficiency of excavators application in open pit mines of Uzbekistan. *Russian Mining Industry*. 2024;(5):135–142. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5-135-142>
25. Петров А.А., Зюзин Б.Ф. Свойства и показатели проходимости болотоходных шагающих машин при передвижении по неосушенным торфяным болотам. *Труды Инсторфа*. 2023;(28):28–49.  
Petrov A.A., Zyuzin B.F. Properties and indicators of patency of mire walking machines when moving through the undried peat mires. *Trudy Instorfa*. 2023;(28):28–49. (In Russ.)
26. 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*. Cham: Springer; 2014, pp. 3–24. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-02678-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-02678-7_1)
27. Фомин К.В. Расчет взаимных спектральных плотностей моментов сопротивления на рабочих органах торфяного фрезерующего агрегата. *Записки Горного института*. 2021;251:745–756. <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.5.14>  
Fomin K.V. Mutual spectral densities calculation of the moments of resistance on the peat milling unit working bodies. *Journal of Mining Institute*. 2021;251:745–756. <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.5.14>

28. Адмакин М.А., Адмакина О.Н., Тимофеев Д.Ю., Халимоненко А.Д. Деформационные процессы при высокоскоростном фрезеровании алюминиевых сплавов. *Цветные металлы*. 2025;(3)75–80. <https://doi.org/10.17580/tsm.2025.03.11>  
Admakin M.A., Admakina O.N., Timofeev D.Yu., Khalimonenko A.D. Deformation processes during high-speed milling of aluminum alloys. *Tsvetnye Metally*. 2025;(3)75–80. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/tsm.2025.03.11>
29. Самсонов Л.Н. *Послойно-поверхностное фрезерование торфяной залежи и пути его интенсификации* [автореф. дис. ... д-ра техн. наук]. Калинин; 1983. 37 с.
30. Серебрянский А.И. Определение критериев подобия при проведении имитационного эксперимента. В кн.: *Зенин В.В. (ред.) Современные проблемы в науке и технике. теория и практика: материалы международной открытой конференции, Воронеж, 21–23 декабря 2020 г.* Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова; 2022. С. 310–313.
31. Северцев Н.А., Дарьина А.Н. Применение критериев подобия при ресурсной отработке сложных технических систем и изделий. *Надежность и качество сложных систем*. 2020;(4):5–14. <https://doi.org/10.21685/2307-4205-2020-4-1>  
Severtsev N.A., Daryina A.N. Application of similarity criteria for resource development of complex technical systems and products. *Reliability & Quality of Complex Systems*. 2020;(4):5–14. (In Russ.) <https://doi.org/10.21685/2307-4205-2020-4-1>
32. Адмакин М.А., Халимоненко А.Д., Захарова В.П., Нгуен В.Д. Обрабатываемость резанием маломагнитных высокомарганцовистых сталей. *Черные металлы*. 2023;(2):82–87. <https://doi.org/10.17580/chm.2023.02.12>  
Admakin M.A., Khalimonenko A.D., Zakharova V.P., Nguen V.D. Machinability of cutting of low-magnetic high-manganese steels. *Chernye Metally*. 2023;(2):82–87. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/chm.2023.02.12>
33. Zhang X., Yu S., Hu X., Zhang L. Study on rotary tillage cutting simulations and energy consumption predictions of sandy ground soil in a Xinjiang cotton field. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2024;217:108646. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.108646>
34. Фомин К.В. Расчет спектральных плотностей составляющих силы сопротивления на фрезе при взаимодействии с торфом. *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Технические науки*. 2023;(4):45–52. Режим доступа: <https://vestnik-tekh.ru/printed/article/?article=506> (дата обращения: 07.10.2025).  
Fomin K.V. Calculation of spectral densities of force components resistance on the cutter when interacting with peat. *Vestnik of Tver State Technical University. Series "Technical Science"*. 2023;(4):45–52. (In Russ.) Available at: <https://vestnik-tekh.ru/printed/article/?article=506> (accessed: 15.10.2025).
35. Жигульская А.И., Лемешев А.В., Гусева А.М., Бурмистров И.С. Классификация машин и оборудования для добычи и переработки древесных ресурсов торфяного месторождения. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2014;(11):144–150. Режим доступа: [https://giab-online.ru/files/Data/2014/11/21\\_144-150\\_ZHigulskaya.pdf](https://giab-online.ru/files/Data/2014/11/21_144-150_ZHigulskaya.pdf) (дата обращения: 07.10.2025).  
Zhigulskaya A.I., Lemeshev A.V., Guseva A.M., Burmistrov I.S. Classification of machinery and equipment for the production and processing of wood resources peat deposits. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2014;(11):144–150. (In Russ.) Available at: [https://giab-online.ru/files/Data/2014/11/21\\_144-150\\_ZHigulskaya.pdf](https://giab-online.ru/files/Data/2014/11/21_144-150_ZHigulskaya.pdf) (accessed: 07.10.2025).

**Информация об авторах**

**Юсов Денис Сергеевич** – аспирант кафедры машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: [denis-yus3@mail.ru](mailto:denis-yus3@mail.ru)

**Иванова Полина Викторовна** – кандидат технических наук, доцент кафедры машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-8338-418X>

**Иванов Сергей Леонидович** – доктор технических наук, профессор кафедры машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-7014-2464>

**Information about the authors**

**Denis S. Yusov** – Postgraduate Student, Department of Mechanical Engineering, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; e-mail: [denis-yus3@mail.ru](mailto:denis-yus3@mail.ru)

**Polina V. Ivanova** – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-8338-418X>

**Sergey L. Ivanov** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department of Mechanical Engineering, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-7014-2464>

**Article info**

Received: 23.10.2025

Revised: 16.12.2025

Accepted: 26.12.2025

**Информация о статье**

Поступила в редакцию: 23.10.2025

Поступила после рецензирования: 16.12.2025

Принята к публикации: 26.12.2025