

Систематизация рабочих органов машин глубокого фрезерования

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: В настоящее время гарантированная энергобезопасность страны является главным приоритетом. Торфяное сырье составляет треть всего энергетического потенциала страны. Торф, кроме энергетики, широко используется в сельском хозяйстве, химической промышленности, строительстве и производстве строительных материалов. В настоящее время фрезерный торф составляет основной объем производства в стране. Технология его добычи предполагает подготовку площадей и удаление мелколесья, пней и древесных включений при подготовке залежи путем корчевания или глубокого фрезерования. Однако в силу несовершенства оборудования происходит засорение торфяного сырья и потеря его качества. В статье приведен анализ средств для производства подготовительных операций по формированию поверхности залежи. Рассмотрены конструкции рабочих органов машин глубокого фрезерования, их вооружения и особенности применяемых инструментов – ножей, резцов, фрез, цепей. Предложена систематизация средств рабочих органов торфяных машин и инструментов для осуществления глубокого фрезерования поверхности залежи. Систематизация предполагает выделение классификационных признаков по типу машин, воздействию на древесное сырье, движению рабочего органа, его расположению и конструкции, а также по параметрам и типам вооружения рабочего органа. Статья может быть полезна инженерам, научным работникам, аспирантам и структурам, занимающимся проектированием и исследованием процессов подготовки торфяной залежи.

Ключевые слова: торф, глубокое фрезерование, добыча торфа, ножи, резцы, торфяная залежь, горные машины

Для цитирования: 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>

Systematization of end effectors of deep milling machines for peat extraction

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

Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation

✉ Ivanov_SL@pers.spmi.ru

Abstract: Currently, ensuring energy security is a key priority for the country. Peat resources account for one-third of the country's total energy potential. Apart from energy production, peat finds extensive use in agriculture, chemical industry, construction, and the production of construction materials. Presently, milled peat constitutes the main volume of production in the country. The technology of its extraction involves preparing areas and removing undergrowth, stumps, and wood debris during preparation of the deposit by trenching or deep milling. However, due to the imperfections of the equipment, peat contamination and loss of its quality occur. This article analyzes means for carrying out preparatory operations to condition the surface of the deposit. It discusses the designs of end effectors for deep milling machines, their cutting structures, and the specific features of the tools used, i.e. blades, cutters, mills, chains. Classification of end effectors for peat machines as well as tools for deep milling of the deposit surface is proposed. This systematization involves identifying classification features by the type of machines, impact on the wood debris, movement of the end effector, its arrangement and design, as well as by parameters and types of the end effector's cutting structures. The article may be useful for engineers, researchers, graduate students, and organizations involved in designing and studying processes of peat deposits conditioning.

Keywords: peat, deep milling, peat extraction, blades, cutters, peat deposit, mining machines

For citation: 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>

Введение

В Российской Федерации сосредоточено около 60% мировых запасов торфа. Торф как энергетический ресурс составляет третью часть в пересчете на условное топливо энергетического потенциала страны, тем самым обеспечивая ее энергобезопасность. Особую роль торф играет как местный вид топлива в удаленных и труднодоступных регионах [1]. Кроме энергетической составляющей, торфяное сырье широко применяется в сельском хозяйстве, при рекультивации земель, как важная составляющая грунтов и др. Этот уникальный материал находит широкое применение в производстве удобрений и химических продуктов, сельском хозяйстве, строительстве и производстве строительных материалов [2].

Добыча торфяного сырья осуществляется экскаваторным и послойным способами [3]. До последнего времени именно послойный способ был преобладающим. Болотно-подготовительные операции, а также операции по ремонту технологических полей при разработке торфяных месторождений занимают значительный объем в общем перечне работ. В зависимости от конкретных условий подготовительные работы включают сводку крупной древесной растительности диаметром ствола более 120 мм, удаление кустарников и мелколесья [4]. Принципиальные различия технологических схем подготовки состоят в методе освобождения подготавливаемого слоя торфяной залежи от древесных включений – корчевкой или глубоким фрезерованием [5].

Методология исследования

В зависимости от размеров и условия залегания пни и крупные куски древесных остатков корчуют гидравлическими экскаваторами, а также специальным агрегатом: РКШ-4, МП-4, СП-6,7, КМ-1, 1А, МРП-2,2А. Технические решения, оптимизирующие функционирование корчевателей, предложены в изобретениях (А.С.№1706464 и А.С.№1279564).

При глубоком фрезеровании для подготовки полей, поверхность которых освобождена от растительности или покрыта мелколесьем, применяют мощный агрегат МПГ-1,7, которым осуществляют фрезерование слоя до 400 мм с одновременным измельчением древесины. Последующая уборка мелких пней осуществляется агрегатами СП-6,7 или СПМ-1. Для подготовки полей также широко применяют машины для расчистки территорий: МЖ-1.0, М.4, М.8, J-2.3, JS-1.0, MJS-2.0 DT, M3S-2.5 DT. Принципы функционирования последних аналогичны группе горных и строительных машин типа Surface Miner, Continuous Surface Miner, Deep Cutting machines. Однако применение этих машин приводит к тому, что торф в поверхностном слое торфяной залежи засорен мелкими древесными остатками, что снижает качество торфяного сырья [6].

В настоящее время в горной промышленности нашли широкое применение машины МТП-42, МТП-41, МПГ-1,7, МПГ-2,24А, а также импортные МЖК-310 ST, МЖК-350 DT с фрезерующими рабочими органами, которые обладают большой производительностью. Опыт эксплуатации показал, что при их работе и встрече с древесными включениями возникают пиковые динамические нагрузки, которые во многом обусловлены недостаточной эффективностью работы вооружения рабочего органа и, как следствие, происходит засорение торфяного сырья, что требует дополнительных операций сепарации для его очистки [7]. Одним из ключевых аспектов является разви-

тие конструкции режущих инструментов, способных эффективно иссекать древесные включения при глубоком фрезеровании торфа [8].

Движение рабочего органа при подготовке поверхности залежи может быть как попутным, так и встречным по отношению к направлению движения машинно-тракторного агрегата в зависимости от выполняемых задач и придания направления перемещению торфо-древесного сырья [9]. Попутное фрезерование считается предпочтительным, однако встречное фрезерование может быть незаменимым, когда требуется повышение количества сезонных сборов торфа и уменьшение времени сушки за счет разбрасывающего эффекта при обработке торфяника встречным движением (А.С. №872864).

Результаты

Базовым видом фрезерующего рабочего органа принято считать конструкцию в виде тела вращения с вооружением в виде режущих, рыхлящих или разрушающих инструментов. Обычно это цилиндрический, горизонтально расположенный приводной барабан, на поверхности которого по определенной схеме установлены указанные инструменты. Ось вращения барабана расположена перпендикулярно направлению движения машинно-тракторного агрегата. В общем случае положение фрезерующего рабочего органа может быть любым – наклонным, вертикальным или расположенным под углом к направлению движения агрегата [10].

Известны и другие формы фрезерного барабана, например, конический (А.С. №782756) или специальный (А.С. № 281485, 734422), однако они не являются распространенными. К специальным можно отнести гибкие фрезы (А.С. № 881327), выполненные в виде упругих элементов, одни концы которых жестко закреплены на валу, а другие свободно опираются друг на друга, что предохраняет привод от ударных нагрузок [11].

Существуют рабочие органы в виде шнека. Рабочий орган в виде однозаходной шнек-фрезы имеет сменную режущую кромку цилиндрической или конической формы [12]. Для защиты от заклинивания при встрече с древесными включениями шнек-фрезы могут иметь виток обратной навивки (А.С. №446657).

Барабанные фрезы без ротора (ER) и барабанные фрезы с ротором (ERC), представленные фирмой «Erigos», имеющие гидравлическую систему, предназначены для фрезерования мягких и мерзлых грунтов. Они имеют вид укороченного шнека, расположенного с двух сторон от цилиндрического редуктора. По всей спирали шнек-фрезы устанавливаются комплект фрезерных головок.

Секторальный (наборный) рабочий орган обычно состоит из нескольких секторов с режущими элементами на каждом, такими как ножи или фрезы, расположенными вдоль его оси вращения. Секторы могут быть съемными, что позволяет заменять их при необходимости или изменять их тип для решения различных задач. Примером может служить А.С. №106189, где фрезерующий рабочий орган выполнен в виде набора дисковых фрез, установленных на концентрично расположенных валах, с возможностью вращения в противоположных направлениях с целью повышения производительности устройства путем увеличения степени измельчения пней.

Рабочий орган также может состоять из нескольких независимых частей со своим приводом (А.С. №139299). В конструкции по А.С. №337470 для улучшения подачи

разработанного материала рабочий орган, состоящий из двух частей, снабжен лопастями, установленными на валу и винтовых линиях встречного направления с диском, разделяющим потоки разработанного материала, идущего сверху и снизу. Отдельно можно вынести специальные рабочие органы, которые представлены отдельными видами конструкций.

Рассмотрим подробнее вооружение рабочих органов. Помимо цепей для баровых рабочих органов по типу в качестве вооружения выступают фрезы, ножи и резцы [13; 14]. Дисковые фрезы могут использоваться и как самостоятельный режущий элемент, и с подрезающим и основным режущим элементом (А.С. № 782756). Существуют также вертикальные фрезы (А.С. №886842), служащие для увеличения производительности и удобства обслуживания.

В качестве вооружения используются игольчатые и штифтовые ножи, а также плоские и проходные (А.С. №1629547). Конструктивно последние схожи между собой, однако создавались для различных условий функционирования. Коэффициент сопротивления резанию мерзлой торфяной залежи у плоского ножа равняется единице, в то время как у проходного составляет 0,75 [12]. Для повышения срока службы ножей их выполняют с прорезями и регулировочными упорами в виде планок (А.С. №1504098). Помимо собственно резания ножи выполняют и вспомогательные функции – перемещение торфяного сырья (А.С. №12835) или опрокидывание торфа в другую плоскость (А.С. №35171), работая как лемех плуга для погрузки. По форме ножи, имеющие криволинейные режущие грани, бывают грибовидные, тарельчатые (А.С. №885561, А.С. №128847), дисковые (А.С. №439068) и чашечные, используемые в машинах РК-1SL C5, РК-1SL R12.

Резцы, так же как и ножи, имеют ряд специфических особенностей. Так, для повышения эффективности процесса разрушения поперечное сечение одной рабочей головки резца (А.С. №735719) выполнено в форме повернутого на 180 град относительно соответствующего поперечного сечения другой рабочей головки, при этом оси симметрии рабочих головок расположены в пересекающихся плоскостях. А для уменьшения сопротивления резания у резца имеется специальное отверстие, проходящее через заднюю грань и расположенное под тупым углом к плоскости резания (А.С. №612036).

При разработке торфяных месторождений нашли применение: тангенциальные резцы типа РПП и РКС, аналогичные резцам ТН с простым движением; радиальные поворотные резцы типа Р, аналогичные резцам РД; мульчерные – Технопарк «Импульс», устанавливаемые подвижно и шарнирно [15].

Обсуждение

Анализ представленных материалов позволил систематизировать органы машин для глубокого фрезерования (рис. 1).

Для освобождения подготавливаемого слоя торфяной залежи от древесных включений могут быть задействованы горные машины и машинно-тракторные агрегаты, обеспечивающие корчевку пней и древесных включений, измельчение древесины поверхности, очеса, древесных включений с захоронением или вывозом измельченного материала при глубоком фрезеровании или же с объединением обеих технологий в комбинированные.

По типу горные машины, применяемые для подготовки поверхности торфяной залежи, можно выделить в отдельные группы: корчеватели для предварительной корчевки пней, мощные агрегаты глубокого фрезерования и комбинированные машины, совмещающие оба этих процесса. В последнем случае воздействие на древесное сырье будет как с выемкой древесных включений при

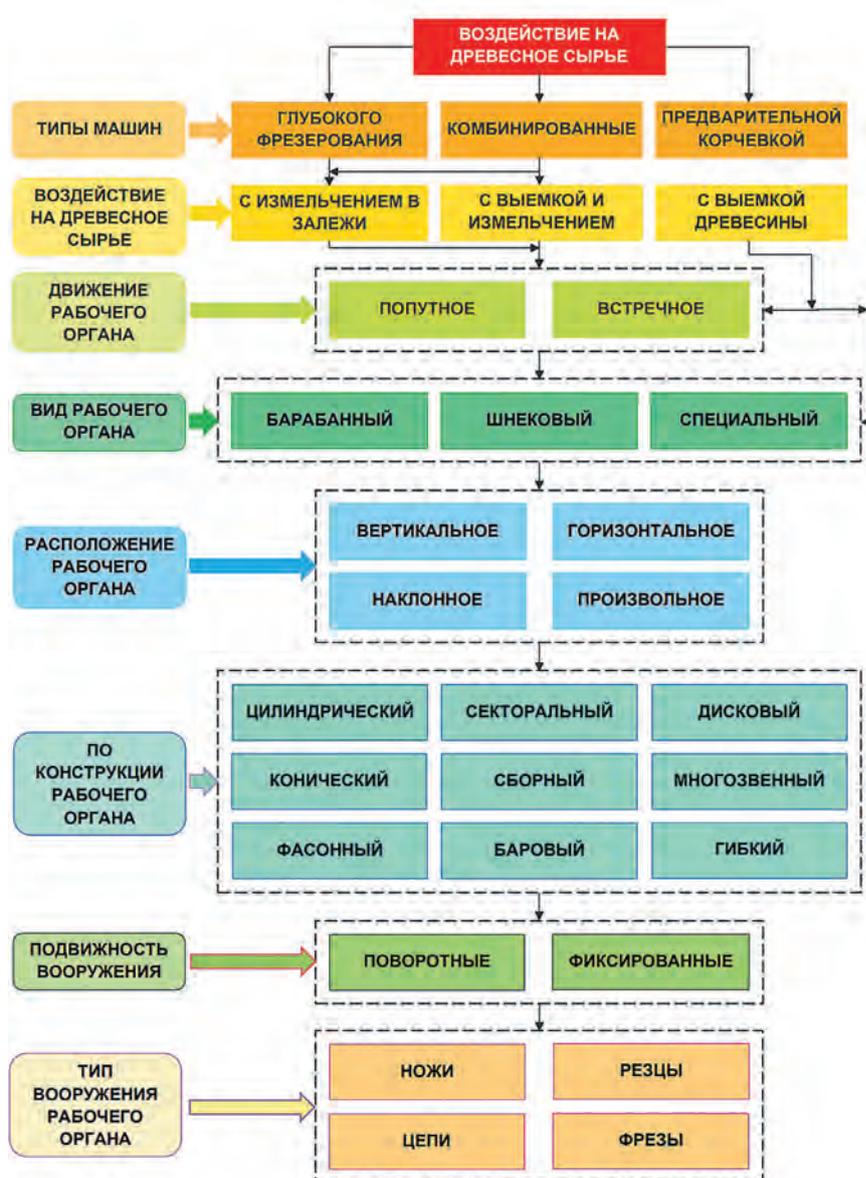


Рис. 1
Систематизация органов машин для глубокого фрезерования

Fig. 1
Classification of end effectors of deep milling machines

помощи корчевателя с дальнейшим измельчением, так и с фрезерованием оставшихся пней непосредственно в залежи попутным или встречным движением рабочего органа. При попутном фрезеровании линейная окружная скорость верхней части фрезы совпадает с направлением движения машины, и разрыхленный и разрушенный фрезой материал отбрасывается снизу назад. Древесные включения прижимаются к почве инструментом, и процесс резания идет достаточно интенсивно, правда, в этом случае значительно повышается динамика процесса, так как при входе лезвия в древесину образуется максимальная толщина стружки, сходящая в конце реза на нет. При встречном фрезеровании линейная окружная скорость верхней части фрезы и скорость подачи с движением машинно-тракторного агрегата направлены навстречу друг другу. Фреза взрыхляет изнутри фрезеруемый слой залежи, отбрасывая материал перед собой вверх, толщина стружки в идеале в начале резания минимальна и увеличивается к концу реза. Это значительно снижает динамику процесса резания, хотя в случае «слабой» заделки древесные включения будут «выдергиваться» фрезой как при корчевании с резким снижением эффективности резания последних.

Для решения конкретных поставленных задач могут применяться различные виды рабочих органов, которые можно разделить на три крупных блока, а именно: барабанные, они являются, безусловно, самым популярным типом в настоящее время, шнековые и специальные. Третий блок – баровые, экскаваторные, плужные и другие рабочие органы в большей степени применяются на корчевателях. При этом их ориентация в пространстве варьируется. Базовым считается горизонтальное расположение рабочего органа относительно торфяной залежи с перпендикулярным направлением к движению горной машины. Угол наклона к плоскости горизонта в интервале от 0 до 90 град позволяет обеспечить фрезерование в условиях реального рельефа поверхности. В то же время нет запрета на любую возможную ориентацию рабочего органа торфяной машины или агрегата.

По конструкции рабочих органов имеет место быть деление по форме, а именно: цилиндрические, конические и фасонные; по принципу построения: секторальные, сборные и баровые, а также по виду: дисковые, многозвенные и гибкие.

Подвижность элементов вооружения рабочего органа относительно последнего допускает поворот режущего инструмента в процессе функционирования либо их жесткое фиксирование в строго определенном положении. По типу вооружения делят на ножи, резцы, цепи и фрезы. Если про цепи и фрезы все понятно, то по поводу ножей и резцов следует уточнить их различия. Принципиальное отличие состоит в том, что нож как режущий инструмент имеет лишь одну режущую грань, образованную двумя плоскостями резания (передней и задней). Нож предназначен для выполнения технологических операций строгания и срезания с образованием стружки, в отличие от резцов, обладающих как минимум тремя основными плоскостями резания и рядом дополнительных, образующих минимально две грани резания. При взаимодействии с породой, включая торф и древесные включения, резцы выполняют операции рыхления, дробления и измельчения.

Заключение

В данной работе представлена систематизация органов машин для глубокого фрезерования, которая включает в себя не только классификационные признаки по типу машин и по воздействию на торфяное сырье, но и по виду рабочего органа. В отличие от большинства существующих классификаций выделен дополнительный комбинированный вид машин, реализующий совместно процессы глубокого фрезерования и корчевания. Такой подход значительно расширяет возможности дальнейшего развития горной техники, предназначенной для подготовки поверхностей, что безусловно потребует специальных исследований в этой области. Это в первую очередь касается вопросов резания древесины, а также оптимизации вооружения рабочих органов подобных горных машин.

Список литературы / References

- 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 Fersmanovskoy Nauchnoy Sessii GI KNTs RAN*. 2021;(18):160–164. (In Russ.) <https://doi.org/10.31241/FNS.2021.18.029>
- Utenkova T.G., Kremcheev E.A., Nagornov D.O., Ivanov S.L. Mechanical dewatering of sapropel in its small-scale mining technology. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2023;15(2):308–316. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2023-15-2-308-316>
- Мякотных А.А., Иванова П.В., Иванов С.Л. К вопросу классификации комплексов добычи торфяного сырья. *Горная промышленность*. 2023;(6):137–142. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-6-137-142>
Myakotnykh A.A., Ivanova P.V., Ivanov S.L. On classification of peat extraction complexes. *Russian Mining Industry*. 2023;(6):137–142. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-6-137-142>
- 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.
Zhigul'skaya 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.)
- 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 Mechanizator*. 2021;(2):10–11.

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., Zhigulskaya 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. Зюзин Б.Ф., Жигульская А.И., Яконовский П.А., Яконовская Т.Б. *Машины и оборудование торфяных производств*. Тверь: Тверской государственный технический университет; 2015. 160 с.
8. Фомин К.В., Крылов К.С., Харламов В.Е., Морозихин Н.Н. Моделирование повреждающих воздействий на режущих элементах фрезы при взаимодействии с древесными включениями. *Труды Инсторфа*. 2020;(21):34–39.
Fomin K.V., Krylov K.S., Harlamov V.E., Morozikhin N.N. Modelling of damaging effects on cutting mill elements in interaction with wood inclusions. *Trudy Instorfa*. 2020;(21):34–39. (In Russ.)
9. 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>
10. Яблонев А.Л., Жуков Н.М. Расчет момента сопротивления фрезерованию торфяной залежи при попадании фрезы на пень и определения активной ширины рабочего органа. *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Технические науки*. 2021;(2):51–61. <https://doi.org/10.46573/2658-5030-2021-51-61>
Yablonev A.L., Zhukov N.M. Calculation of the moment of resistance to milling a peat layout when the miller hits a stump and determination of the active width of the working body. *Vestnik of Tver State Technical University. Series "Technical Science"*. 2021;(2):51–61. (In Russ.) <https://doi.org/10.46573/2658-5030-2021-51-61>
11. Chertkova E., Sizova V. Economic assessment of low humidity peat production practice. *E3S Web of Conferences*. 2021;278:01024. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127801024>
12. Солопов С.Г., Горцакалян Л.О., Самсонов Л.Н. *Торфяные машины и комплексы*. М.: Недра; 1973. 392 с.
13. Двоглазова Ю.А. Основные понятия в баровых исполнительных органах. Область применения. В кн.: Костиков К.С. (ред.) *Россия молодая: сб. материалов 13-й Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, г. Кемерово, 20–23 апр. 2021 г.* Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева; 2021. С. 10302.1–10302.7.
14. 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/files/65548c0eeb8ca3.07515302.506.pdf> (дата обращения: 16.04.2024).
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/files/65548c0eeb8ca3.07515302.506.pdf> (accessed: 16.04.2024).
15. Marinov K., Kostov K., Peev D. Operational properties of forestry mulchers for cleaning field protection forest belts after sanitary cuttings. *Silva Balcanica*. 2023;24(2):59–81. <https://doi.org/10.3897/silvabalcanica.24.e109161>

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

Иванова Полина Викторовна – кандидат технических наук, доцент кафедры машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. 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, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-7014-2464>; e-mail: Ivanov_SL@pers.spmi.ru

Information about the authors

Denis S. Yusov – Postgraduate Student, Department of Mechanical Engineering, The St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II, Saint Petersburg, Russian Federation; e-mail: denis-yus3@mail.ru.

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

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

Article info

Received: 18.03.2024

Revised: 06.05.2024

Accepted: 12.05.2024

Информация о статье

Поступила в редакцию: 18.03.2024

Поступила после рецензирования: 06.05.2024

Принята к публикации: 12.05.2024