

О добыче, механизации и обезвоживании торфяного сырья: краткий обзор

В.С. Великанов^{1, 2}✉, И.А. Гришин³, О.А. Лукашук¹, С.В. Ситдикова²

¹ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Российская Федерация

² Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Российская Федерация

³ Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Российская Федерация
✉ v.s.velikanov@urfu.ru

Резюме: Авторами статьи в рамках научно-исследовательской работы ведутся работы по патентованию оригинального технического решения, позволяющего совместить процесс карьерной добычи торфяного сырья с использованием экскаваторов с перфорируемым рабочим органом (ковш) и включением в процесс выемки гидромеханизированного оборудования для обезвоживания с обоснованием параметров разработанного оборудования и соответствующих конструктивных решений. Для реализации данной задачи авторы провели подбор и анализ большого объема научных статей, отчетов по НИР, диссертационных исследований и патентов на изобретения, касающихся добычи, механизации и обезвоживания торфяного сырья. По результатам анализа сделан вывод, что среди достаточно большого спектра способов добычи торфа, представленных и описанных в научно-технической литературе, преобладающее распространение в настоящее время получил способ производства фрезерного торфа с использованием поверхностно-послойной системы разработки торфяных месторождений с использованием соответствующих средств механизации. Авторы отмечают, что добыча торфяного сырья и дальнейшая его переработка в обязательном порядке сопряжена с процессами обезвоживания. Для определения конструктивных особенностей разрабатываемого технического решения по обезвоживанию торфяного сырья и выявления направлений совершенствования они приводят несколько технических решений из проведенных патентных исследований в части оборудования для обезвоживания. Данной работой авторы не претендуют на полный и детализированный обзор научно-технической литературы.

Ключевые слова: добыча, торф, экскаватор, фрезерная добыча, обезвоживание торфа

Благодарности: Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект №FRZU-2023-0008). Acknowledgments: This work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Project FRZU-2023-0008).

Для цитирования: Великанов В.С., Гришин И.А., Лукашук О.А., Ситдикова С.В. О добыче, механизации и обезвоживании торфяного сырья: краткий обзор. *Горная промышленность*. 2024;(6):68–73. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-6-68-73>

On mining, mechanization and dewatering of peat raw materials: a brief review

V.S. Velikanov^{1, 2}✉, I.A. Grishin³, O.A. Lukashuk¹, S.V. Sitdikova²

¹ Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russian Federation

² Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russian Federation

³ Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation
✉ v.s.velikanov@urfu.ru

Abstract: Within the framework of research activities the authors of this article are working on patenting an original engineering solution that makes it possible to combine the process of open-pit mining of peat raw materials using excavators with a perforated working tool, i.e. a bucket, and integration of the hydromechanized dewatering equipment into the excavation process, with justification of the parameters of the developed equipment and the corresponding design solutions. In order to achieve this task, the authors have selected and analyzed a large number of scientific articles, research and development reports, dissertation studies and patents for invention concerning the extraction, mechanization and dewatering of peat raw materials. Based on the results of the analysis, the authors concluded that among a fairly broad range of methods of peat mining, presented and described in research and engineering literature, the predominantly used one is peat milling using the surface layer-wise mining system with appropriate means of mechanization. The authors emphasize that the mining of peat raw materials and its further processing is inevitably associated with the dewatering processes. They quote several technical solutions from the conducted patent studies regarding the dewatering equipment in order to determine the design features of the developed technical solution for dewatering of the peat raw materials and to identify areas of improvement. This paper is not claimed to be a complete and detailed review of scientific and technical literature.

Keywords: mining, peat, excavator, milling mining, peat dewatering

Acknowledgments: This work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Project FRZU-2023–0008).

For citation: Velikanov V.S., Grishin I.A., Lukashuk O.A., Sitdikova S.V. On mining, mechanization and dewatering of peat raw materials: a brief review. *Russian Mining Industry*. 2024;(6):68–73. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-6-68-73>

Введение

Для полного понимания и исключения неправильных трактовок относительно выбранной тематики данной публикации сделаем некоторые пояснения. Вообще говоря, как для всякого ученого, так и для нас элементы научного познания и открывание новых научных горизонтов – это естественный процесс. При подготовке данной публикации при анализе научной литературы нами переработан достаточной большой объем и научных статей, и отчетов по НИР, и, конечно же, проведен патентный поиск. Приведем в преамбуле данной работы выдержку из статьи Б.Ф. Зюзина, Т.Б. Яконовской, А.И. Жигульской: «За последние 20 лет в России появились новые научные торфяные школы в Санкт-Петербурге, Екатеринбурге и Томске. Каждая из них имеет свой научный взгляд на многие теоретические положения торфяной науки и техники, начиная с вопросов геологии и разведки торфяников, технологий разработки, классификации торфяной техники и до вопросов экономико-правового и социального характера развития отрасли. Часто в статьях различной торфяной тематики можно наблюдать подмену устоявшихся научных понятий, некорректное использование определения из других отраслей знаний, заново открываются те явления, которые уже были открыты ранее, нарушаются авторские права ученых, что искажает первостепенное научное значение полученных данных. Такие факты подмены, на наш взгляд, неприемлемы, так как могут внести научную путаницу и ввести в заблуждение» [1], поэтому оговоримся сразу, что авторский коллектив не аффилируется ни с одной из школ, просто родился ряд технических решений относительно торфяной тематики. Данной работой не претендуем на полный и детализированный обзор научно-технической литературы, так как в рамках данной публикации невозможно охватить весь пласт работ «по торфу» советской и российской школ.

Результаты

В соответствии с Энергетической стратегией Российской Федерации на период до 2035 года предполагается ввод новых генерирующих мощностей, функционирующих на нетрадиционных возобновляемых источниках энергии, к которым относится торф. Известно, что РФ обладает богатейшими торфяными ресурсами и по запасам торфа занимает первое место в мире. По оценкам экспертов на территории России сосредоточено порядка 47% мировых запасов торфа (около 235 млрд т) [2–4] (рис. 1, а). По данным годовой статистики международной торговли товарами (рис. 1, б) рост экспорта торфа неуклонно повышается с 2013 г. и не имеет тенденции к снижению. За всю историю развития торфяной промышленности она прошла путь

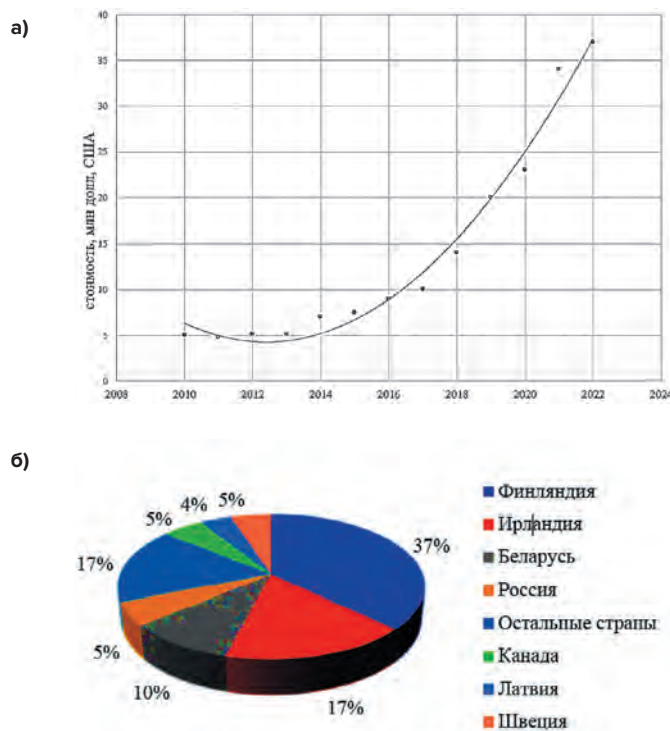


Рис. 1
Динамика экспорта России и лидеры в добыче торфяного сырья (из работ научной школы г. Санкт-Петербурга): а – динамика экспорта торфа из России в период с 2010 по 2021 г.; б – мировые лидеры в добыче торфа, % [3]

Fig. 1
Dynamics of Russian exports and leaders in peat mining (based on papers of the St. Petersburg research school): а - dynamics of peat exports from Russia in the period from 2010 to 2021; б – world leaders in peat mining, % [3]

от ручных до комплексно-механизированных способов добычи торфяного сырья (рис. 2).

Технология добычи торфа и производства торфяного топлива – это достаточно сложный и многостадийный процесс. Существуют две основные схемы добычи торфа: сравнительно тонкими слоями с поверхности залежи и глубокими карьерами на всю глубину торфяного пласта. Согласно первой из этих схем торф извлекают, подрезая верхний слой, согласно второй – экскаваторным способом. В исследованиях М.С. Лебзина под руководством члена-корреспондента РАН В.Л. Яковлева представлена одна из перспективных технологий добычи торфа. В основу разработки новой технологии добычи торфа взят патент Косова, но ввиду выявленных экономических просчетов и

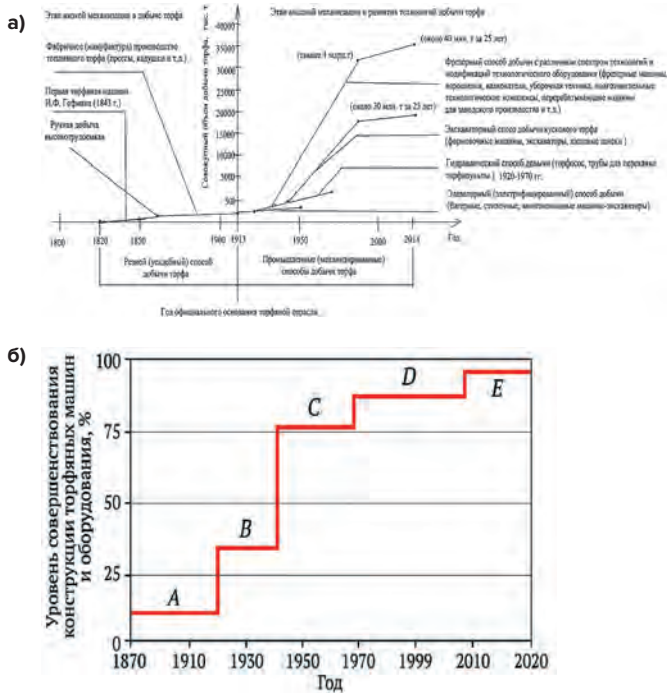


Рис. 2
История торфяной промышленности (из работ научной школы г. Твери):
а – развитие технологий и оборудования для торфодобычи [5];
б – уровни совершенствования конструкций торфяной техники:
А – частичная механизация;
В – механизация;
С – комплексная механизация;
D – частичная автоматизация;
E – автоматизация и частичная цифровизация [1]

Fig. 2
The history of peat industry (based on the papers of the Tver research school):
a – development of peat mining technologies and equipment [5];
б – design advancement levels of peat machinery:
A - partial mechanization;
B - mechanization;
C - complex mechanization;
D - partial automation;
E - automation and partial digitalization [1]

технологических сложностей (торф транспортируется в виде пульпы) предложено новое решение по добыче полезных ископаемых (торфа) (из работ научной школы г. Екатеринбург):

- 1) экскавация торфа вместе с древесными включениями, которые впоследствии отделяют;
- 2) механическое обезвоживание с влажности 84–93% до влажности 75–82%;
- 3) перемешивание с дренирующим наполнителем и обезвоживание до влажности 45–60%;
- 4) сепарирование дренирующего наполнителя для повторного использования;
- 5) транспортировка на модульный участок переработки, а древесные включения на участок пиролиза для термической переработки совместно с торфом, при этом часть твердого топлива используют в качестве композита, а часть газового топлива, тепловой и электрической энергии – для нужд технологического комплекса [6; 7].

В научно-технической литературе представлен и описан достаточно большой спектр способов добычи торфяного сырья (табл. 1).

В настоящее время преобладающее распространение получил способ производства фрезерного торфа с использованием поверхностно-послойной системы разработки торфяных месторождений с использованием соответствующих средств механизации (рис. 3) [8], при котором

Таблица 2
Выделенные геомеханические зоны для оптимизации

Table 2
Identified geomechanical zones for optimization

Способ добычи торфа	Вид добываемого торфа-сырца	Способ производства торфяной продукции
Экскавация	Кусками	Ручной резной
		Машино-резной
Гидромеханизация	Гидромасса	Экскаваторный
		Багерный
		Бульдозерный
Механическое рыхление	Крошкообразный	Гидравлический
		Земснарядный
		Скважинная гидродобыча торфа
		Фрезерный
		С пассивным рыхлением
		Фрезеромоночный



Рис. 3
Машины для фрезерного способа добычи торфа
Источник: Машина для уборки фрезерного торфа АМКОДОР АТУ-20. Режим доступа: <https://koenigagro.ru/catalog/mashina-dlya-uborki-frezernogo-torfa-amkodor-atu-20/> (дата обращения: 16.10.2024)

Fig. 3. Machines for the milling method of peat mining
Sources: <https://koenigagro.ru/catalog/mashina-dlya-uborki-frezernogo-torfa-amkodor-atu-20/> (accessed: 16.10.2024)

производится фрезерование залежи и сбор верхнего слоя в виде подсушенной торфяной крошки толщиной до трех сантиметров со следующим порядком выполняемых технологических операций: сушка, ворошение, волкование и сбор фрезерной крошки.

Экскаваторный способ разработки торфяного месторождения производится на всю глубину месторождения. При разработке месторождения экскаваторным способом полевая сушка может производиться также в тонких слоях. При карьерном способе добычи разрабатывается небольшой по сравнению с поверхностно-послойным способом участок торфяного месторождения. Данный способ добычи является более рациональным и экономичным для внедрения в технологию разработки торфяного месторождения методов интенсификации полевой сушки сырья (рис. 4) [8; 9]. При карьерном способе добычи перечень применяемых горных машин гораздо меньше, к тому же многие из машин являются универсальными (например, экскаватор). Комплексы машин для осуществления этих работ – узкоспециализированные горные машины, объединенные в комплексы. Изменение и совершенствование технологий

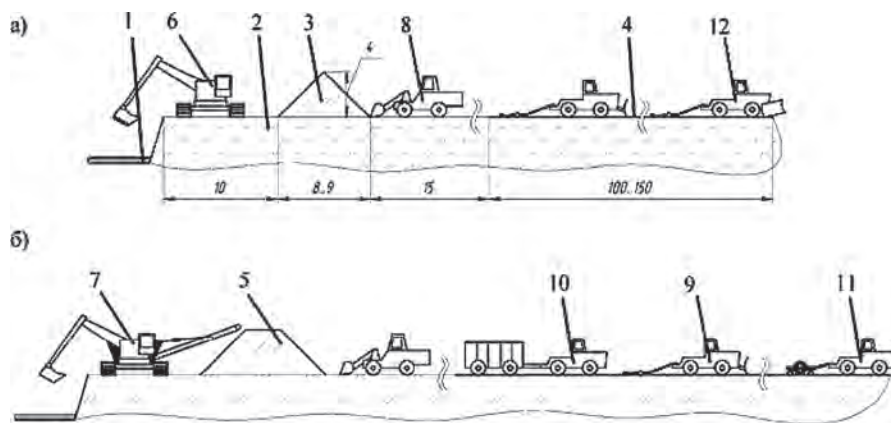


Рис. 4
Техническое оснащение отдельных операций экскаваторной добычи торфа [8]

Fig. 4
Technical equipment for individual operations of excavator peat mining [8]

торфяного производства приводят к необходимости создания новых машин и совершенствования их конструкции, а значит факторы, оказывающие влияние на развитие технологий добычи и переработки ресурсов торфяника, оказывают прямое влияние на конструкцию торфяных машин и комплектацию технологических комплексов [5].

Добыча торфяного сырья и дальнейшая его переработка в обязательном порядке сопряжены с процессами обезвоживания. Торф – это сложная система, состоящая из трех фаз: сухого вещества, воды и газов. Процесс обе-

Таблица 2
Часть патентных исследований по оборудованию для обезвоживания торфа

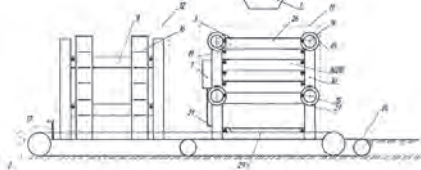
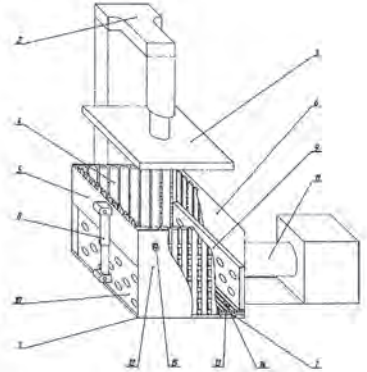
Table 2
A part of patent research on the peat dewatering equipment

Описание	Иллюстрация
<p>Полезная модель относится к горнодобывающей отрасли промышленности и предназначена для экскавации и обезвоживания торфяного сырья. Ковш для сбора и обезвоживания торфа содержит днище с отверстиями, боковины и заднюю стенку. Внутри ковша дополнительно установлена прижимная плита, которая с одной стороны закреплена с возможностью вращения вокруг оси в жесткозакрепленных проушинах, выполненных на боковых поверхностях плиты и на боковинах ковша. На внутренней поверхности задней стенки ковша жестко закреплён кронштейн гидроцилиндра, который шарнирно осью соединён с корпусом гидроцилиндра. С другой стороны гидроцилиндра шток гидроцилиндра шарнирно осью соединен с кронштейном штока, который жестко закреплен на верхней поверхности прижимной плиты. Техническим результатом является создание устройства, позволяющего производить первичное обезвоживание торфа непосредственно в процессе его добычи [10]</p>	
<p>Устройство для обезвоживания торфа, включающее матрицу с каналом, загрузочный узел с каналом, корпус с перепускным клапаном, штемпель, привод, отличающееся тем, что оно снабжено двумя электродами, вставленными в продольные пазы, выполненные на краях верхней и нижней поверхностей канала матрицы, электромагнитом постоянного тока, расположенным сбоку матрицы на участке канала, а привод выполнен в виде силового гидроцилиндра, шарнирно присоединенного штоком к штемпелю и корпусом к стойке, при этом электроды выполнены в форме прямоугольника и расположены друг против друга вдоль боковых поверхностей канала матрицы, а электромагнит состоит из железного сердечника с фланцем на основании и с двумя расположенными друг над другом концевыми участками со съёмными фланцами вблизи торца, двух катушек, надетых на концевые участки сердечника, двух съёмных полюсных наконечников, выполненных в форме прямоугольника с фланцем на середине боковой стороны, прикрепленных к фланцу концевых участков сердечника, расположенных на всей длине участка канала матрицы, причем один полюсный наконечник находится над верхней поверхностью матрицы, и другой полюсный наконечник – под нижней ее поверхностью, магнитное поле направлено перпендикулярно электрическому полю, а нижний полюсный наконечник концами установлен на опоры [11]</p>	

звоживания торфа характеризуется тремя стадиями. Первая стадия – при незначительных давлениях, воспринимаемых поровой водой, происходит интенсивное отжатие несвязанной влаги, находящейся в порах и пустотах, при этом быстро снижается коэффициент пористости торфа. На второй стадии процесс отжатия замедляется, часть нагрузки передается скелету торфа. Изменение пористости происходит не по всему объему образца, а лишь в слоях, прилегающих к фильтру. Третья стадия носит линейный характер, где снижение влаги происходит пропорционально нагрузке.

Процессы механического обезвоживания основаны на двух физических принципах: фильтрование – выделение жидкости из массы твердого материала, при этом жидкость движется относительно твердой фазы; осаждение – выделение твердые частицы движутся относительно жидкости. В соответствии с процессами обезвоживания применяются специализированные машины и оборудование, входящие в состав торфяных добычных комплексов.

Для определения конструктивных особенностей разрабатываемого технического решения по обезвоживанию торфяного сырья и выявления направлений совершенствования приведем несколько технических решений из проведенных патентных исследований в части оборудования для обезвоживания (табл. 2).

Описание	Иллюстрация
<p>Изобретение относится к устройствам, предназначенным для первичного обезвоживания добытой гидроторфяной пульпы. Техническим результатом является понижение влагосодержания формируемого сырья в поддонах с двойным дном в прессе под давлением поставленных друг на друга поддонов с сырьем. Установка имеет колодцы спуска и подъема поддонов, средства отвода влаги и приводные механизмы передачи поддонов с приводами удержания и выпуска, выполненные в виде приводных цевочных колес, а также ограничитель движения поддонов [12]</p>	
<p>Полезная модель относится к горно-обогатительной промышленности и предназначена для формирования и обезвоживания торфяного сырья. Прессовое устройство содержит контейнер с установленным в нем решетчатым корпусом. Контейнер и решетчатый корпус выполнены открытыми со стороны прессового средства, закрепленного над контейнером. На дне контейнера выполнены горизонтальные полости для экстракции воды. В прессовом средстве установлена подвижная плита с возможностью скольжения внутри решетчатого корпуса. Боковые поверхности выполнены с прямоугольными вырезами. В решетчатом корпусе боковые поверхности выполнены в виде выдвигной плиты и плиты выталкивания. Выдвигная плита жестко закреплена с гидравлическим приводом, а плита выталкивания – с линейным приводом. На передней стенке контейнера установлен датчик давления, который определяет предельно допустимую величину уплотнения торфяного сырья, а на дне решетчатого корпуса установлен датчик омического сопротивления, необходимый для минимально допустимого омического сопротивления [13]</p>	
<p>Изобретение относится к торфяному производству и может быть использовано для механического обезвоживания торфа малой степени разложения. Цель – снижение энергоёмкости процесса за счет уменьшения давления прессования. Обезвоживание торфа производят путем отжатия из него влаги механическим путем в водной среде [14]</p>	

Заключение.

Направления дальнейших исследований

Нами в рамках НИР ведутся работы по патентованию оригинального технического решения, позволяющего совместить процесс карьерной добычи торфяного сырья с использованием экскаваторов с перфорируемым рабочим

органом (ковш) и включением в процесс выемки гидромеханизированного оборудования для обезвоживания с обоснованием параметров разработанного оборудования и соответствующих конструктивных решений.

Список литературы / References

1. 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>
2. 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>
3. Худякова И.Н. *Обоснование и выбор схемных и конструктивных решений комплекса оборудования для добычи торфяного сырья на неосушенных месторождениях: дис. ... канд. техн. наук*. СПб.; 2020. 169 с.
4. Вагапова Э.А. *Обоснование и выбор параметров оборудования дегидратации торфяного сырья плавучего добычного комплекса интенсификацией обезвоживания пульпы: дис. ... канд. техн. наук*. СПб.; 2023. 118 с.
5. Зюзин Б.Ф., Яконовская Т.Б., Жигульская А.И., Яконовский П.А., Гусева А.М., Оганесян А.С. Современные направления модернизации комплексов оборудования в связи с эволюцией способов добычи торфа. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2015;(6):67–73.
Zyuzin B.F., Yakonovskaya T.B., Zhigul'skaya A.I., Yakonovskii P.A., Guseva A.M., Oganesyanyan A.S. Current trends in retrofit installation in view of advance in peat digging. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2015;(6):67–73. (In Russ.)
6. Гревцева Н.В., Шерстнев В.И., Лебзин М.С. Научно-практические предпосылки к созданию гидромеханизированного способа добычи торфа. В кн.: Гревцев Н.В., Кох И.А. (ред.). *Экономические, экологические и социальные проблемы горной промышленности Урала: сб. науч. ст.* Екатеринбург: УГГУ; 2017. С. 123–127.

7. Шерстнев В.И., Лебзин М.С. Влияние водных свойств и структуры торфа на процесс его механического обезвоживания. В кн.: Гревцев Н.В., Кох И.А. (ред.). *Экономические, экологические и социальные проблемы горной промышленности Урала: сб. науч. ст.* Екатеринбург: УГГУ; 2017. С. 128–131.
8. Гревцев Н.В., Семин А.Н., Гревцева И.Н. *Занимательно о торфе*. М.: Фонд «Кадровый резерв»; 2020. 192 с.
9. Фадеев Д.В. *Обоснование и выбор параметров механизма перемещения платформы комплекса добычи торфяного сырья на неподготовленной залежи: дис. ... канд. техн. наук*. СПб.; 2022. 115 с.
10. Иванова П.В., Иванов С.Л., Кувшинкин С.Ю., Мякотных А.А. *Ковш для экскавации и обезвоживания торфа*. Патент на полезную модель №216019 U1 Российская Федерация, МПК E02F 3/407, E21C 49/00, C10F 5/00. №2022128590: заявл. 03.11.2022, опубл. 13.01.2023.
11. Буданов С.В. *Устройство для обезвоживания торфа*. Патент №2238187 С1 Российская Федерация, МПК В390В 9/04. №2003124709/02 завл. от 07.08.2003, опубл. 20.10.2004.
12. Вагапова Э.А., Худякова И.Н., Иванов С.Л. *Установка обезвоживания торфа*. Патент №2720341 С1 Российская Федерация. заявл. 29.07.2019, опубл. 29.04.2020.
13. Лях Д.Д., Коконков А.А., Иванов С.Л., Гармаев О.Ж. *Прессовое устройство формования и обезвоживания торфяного сырья*. Патент на полезную модель №191627 U1 Российская Федерация, МПК В01D 29/82, C02F 11/12, C10F 7/04. №2019110655: заявл. 09.04.2019, опубл. 14.08.2019.
14. Долматов А.Н., Амарян Л.С., Самсонов Л.Н., Зюзин Б.Ф., Воронков Б.Б., Савчук В.А. *Способ обезвоживания торфа*. Авторское свидетельство №1712611 А1 СССР, МПК E21C 49/00, C10F 5/04. №4808284: заявл. 30.03.1990, опубл. 15.02.1992.

Информация об авторах

Великанов Владимир Семенович – доктор технических наук, профессор кафедры подъемно-транспортных машин и роботов, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Российская Федерация; профессор кафедры автоматизации и компьютерных технологий, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0001-5581-2733>; e-mail: v.s.velikanov@urfu.ru

Гришин Игорь Анатольевич – кандидат технических наук, заведующий кафедрой геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0001-8010-7542>; e-mail: igorgi@mail.ru

Лукашук Ольга Анатольевна – кандидат технических наук, заведующий кафедрой подъемно-транспортных машин и роботов, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-4952-0344>; e-mail: o.a.lukashuk@urfu.ru

Ситдикова Светлана Валерьевна – старший преподаватель кафедры автоматизации и компьютерных технологий (АКТ), ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: siriniti.86@mail.ru

Information about the authors

Vladimir S. Velikanov – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department of Hoisting and Hauling Machines and Robots, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russian Federation; Professor, Department of Automatics and Computer Technologies, Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0001-5581-2733>; e-mail: v.s.velikanov@urfu.ru

Igor A. Grishin – Cand. Sci. (Eng.), Head of the Department of Geology, Mine Surveying and Mineral Processing, Novosibirsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0001-8010-7542>; e-mail: igorgi@mail.ru

Olga A. Lukashuk – Cand. Sci. (Eng.), Head of Department of Hoisting and Hauling Machines and Robots, Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-4952-0344>; e-mail: o.a.lukashuk@urfu.ru

Svetlana V. Sitdikova – Senior Lecturer, Department of Automatics and Computer Technologies, Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: siriniti.86@mail.ru

Article info

Received: 12.10.2024

Revised: 18.11.2024

Accepted: 19.11.2024

Информация о статье

Поступила в редакцию: 12.10.2024

Поступила после рецензирования: 18.11.2024

Принята к публикации: 19.11.2024