

КОМПЛЕКС ГИДРОМЕХАНИЗИРОВАННОЙ ДОБЫЧИ И ГАЗИФИКАЦИИ ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ УДАЛЕННЫХ И ТРУДНОДОСТУПНЫХ РЕГИОНОВ

Э.А. Вагапова¹, П.В. Иванова¹

¹ Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия, e-mail: vagapova_ea@pers.spmi.ru

Аннотация: Рассмотрена гидромеханизированная технология с описанием структуры горнодобывающего оборудования и оборудования переработки торфяного сырья, базирующейся на теоретических методах повышения эффективности обезвоживания торфяной пульпы. Представлена логическая схема проводимых операций предлагаемой технологии. На основании составленной логической схемы проведен анализ материального баланса с оценкой удельных затрат энергии на производство торфа классической схемой добычи, использующей земснаряды и поля сушки, и предлагаемой технологией, где интенсификация водоотделения осуществляется в магнитном поле. Комплекс оборудования предлагаемой гидромеханизированной технологии добычи и переработки торфа предусматривает применение термохимического способа преобразования торфа посредством газификации, позволяющего получать генераторный газ. Рассмотрены основные стадии газификации торфа в специальных поточных газогенераторах или котельных установках с целью получения синтез-газа. Описана перспективность применения схемы переработки торфа на основании процесса газификации для обеспечения автономности объекта, что особенно актуально для разработки торфяных месторождений труднодоступных и удаленных регионов. Даны рекомендации о необходимости дополнительного изучения теплотворной способности генераторного газа, удаления примесей, содержащихся в генераторном газе, для обеспечения стабильной и надежной работы газотурбинных установок.

Ключевые слова: добыча торфа, интенсификация процесса влагоотделения, магнитная обработка, торфяная пульпа, генераторный газ.

Для цитирования: Вагапова Э. А., Иванова П. В. Комплекс гидромеханизированной добычи и газификации торфяного сырья для удаленных и труднодоступных регионов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2026. – № 5. – С. 66–79. DOI: 10.25018/0236_1493_2026_5_0_66.

Complex of hydromechanized extraction and gasification of peat raw materials for remote and hard-to-reach regions

E.A. Vagapova¹, P.V. Ivanova¹

¹ Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University,
Saint-Petersburg, Russia, e-mail: vagapova_ea@pers.spmi.ru

Abstract: The article discusses a hydromechanized technology with a description of the structure of mining equipment and equipment for processing peat raw materials, based on theoretical methods to increase the efficiency of peat pulp dewatering. The logical scheme of the operations performed by the proposed technology is presented. Based on the developed logical scheme, an analysis of the material balance was carried out with an assessment of the specific energy costs for peat production using the classical extraction scheme using dredgers and drying fields and the proposed technology, where the intensification of water separation is carried out in a magnetic field. The complex of equipment of the proposed hydro-mechanized technology of peat extraction and processing provides for the use of a thermochemical method for converting peat through gasification, which makes it possible to obtain generator gas. The main stages of peat gasification in special in-line gas generators or boiler plants for the production of synthesis gas are considered. The prospects of using a peat processing scheme based on the gasification process to ensure the autonomy of the facility are described, which is especially important for the development of peat deposits in hard-to-reach and remote regions. Recommendations are given on the need for additional study of the calorific value of the generator gas, removal of impurities contained in the generator gas to ensure stable and reliable operation of gas turbine installations.

Key words: peat extraction, intensification of water separation, magnetic processing, peat pulp, generator gas.

For citation: Vagapova E. A., Ivanova P. V. Complex of hydromechanized extraction and gasification of peat raw materials for remote and hard-to-reach regions. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2026;(5):66-79. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2026_5_0_66.

Введение

В настоящее время повышается актуальность и запрос на поиск альтернативных источников энергии, часто мы слышим словосочетание «зеленая энергетика». Страны всего мира озвучивают амбициозные задачи по переходу на возобновляемые источники энергии, и в нашей стране большое внимание уделяется поиску экологически безопасных технологий с использованием местных возобновляемых источников энергии для решения проблемы обеспечения энергией предприятий и сферы жилищно-коммунального хозяйства.

Многие регионы России зависят от поставок внешнего топлива для отопления и электроснабжения, что напрямую увеличивает стоимость коммунальных услуг. Отсутствие местных ресурсов газа, нефти и угля либо сложность ос-

воения имеющихся месторождений создают необходимость развития альтернативных решений, таких как освоение торфяных залежей в отдаленных районах и их интеграция в энергетический сектор [1]. Наряду с этим потенциал использования торфяных ресурсов напрямую зависит от эффективности технологии добычи и переработки торфяного сырья.

Увеличение роли торфяного сырья в энергетике позволит обеспечить возможность перехода небольших городов и маломощных ТЭЦ на местный вид топлива, а именно торф, взамен дорогостоящих доставляемых угля и мазута [2, 3]. Особенно актуально такое решение для регионов, расположенных вдали от крупных транспортных магистралей и обладающих собственными источниками местного топлива. Такое решение для

удаленных и труднодоступных регионов позволит не только расширить ресурсную базу, но снизить энергопотери, что может способствовать экономическому росту региона путем создания новых рабочих мест [2, 4, 5].

Внедрение гидромеханизированного способа добычи торфа на обводненных участках с расчетом технических характеристик применяемого оборудования и разработкой инженерных решений для эффективного обезвоживания торфяной массы — один из перспективных вариантов решения задачи в этом направлении. Для этого необходимо в первую очередь провести оценку рациональности использования генераторного газа в целях реализации программ по производству электроэнергии с использованием нетрадиционного топлива — торфа, для удаленных и труднодоступных районов России.

Необходимо описать устройство и принципы функционирования горного оборудования, предназначенного для гидромеханизированной добычи торфа с последующей термохимической обработкой обезвоженного торфяного сырья с получением генераторного газа методом газификации.

Методы

Структура оборудования для гидромеханизированной добычи и переработки торфа сформирована на основе теоретических методов интенсификации дегидратации торфяной пульпы и анализе материального баланса удельных энергозатрат при добыче и переработке торфяного сырья, предлагаемой и существующих технологий. В качестве базы комплекса используется земснаряд, а интенсификация водоотделения обеспечивается воздействием бегущего магнитного поля [6].

Экспериментально исследовано влияние химического состава водной со-

ставляющей торфяных пульп на процесс обезвоживания путем измерения скорости удаления влаги из образцов с разным содержанием ионов в бегущем магнитном поле, а также изучены способы улучшения влагоотделения пресованием под действием внешней нагрузки. Эти исследования необходимы для правильного подбора параметров прессующего устройства модуля обезвоживания, обеспечивающих требуемую производительность и достаточное удаление влаги из торфяного сырья на борту комплекса; подробное описание указанных экспериментальных исследований представлено в работе авторов данной статьи [7].

Результаты

Технология механического обезвоживания основана на теории фильтрации воды из торфяного сырья. Процесс фильтрационной дегидратации зависит от множества переменных факторов, среди которых изменение водопроницаемости торфа или коэффициента фильтрации торфа вследствие изменения размеров и распределения коллоидных частиц под влиянием давления, а также образование дополнительного слоя осадка на фильтровальной мембране, увеличивающего гидравлическое сопротивление по мере увеличения толщины пористой среды [8, 9].

Естественное обезвоживание торфяного сырья под действием гравитации протекает медленно и требует длительного времени, однако ускорить процесс дегидратации возможно добавлением специальных химических добавок, повышающих текучесть торфяной пульпы [10, 11]. Изученные исследования по обезвоживанию сапропеля показывают эффективность использования магнитной обработки, также известен метод усиления процессов отвердения торфа путем предварительной обработки воды

магнитным полем, что позволяет увеличить содержание твердых компонентов в связующем материале.

На основе полученных результатов экспериментальных исследований [7] и теоретических предпосылок процесса обезвоживания с выявленными методами интенсификации водоотделения торфяной пульпы сформировано оборудование предлагаемой технологии наряду с классической гидромеханизированной технологией, представленной на рис. 1.

Добычные работы при разработке обводненного торфяного месторождения осуществляются землесосным снарядом [12]. Традиционная технология добычи торфа включает гидротранспортировку сырья и подачу пульпы через специальный всасывающий пульпопровод к местам естественной сушки на полях.

Полевая сушка экскавированного торфяного сырья сильно зависит от погодных условий, естественное высушивание предполагает разлив торфа тонкими слоями, что требует значительных площадей специально оборудованных полей для сушки [13, 14]. Формирование подсушенного торфа в виде кирпичей происходит благодаря использованию трактора, оснащенного специализированными гусеницами, а последующее ручное укладывание торфа в фигуры сушки обеспечивает активацию конвективного режима высушивания торфа. Переработка торфа в топливные брикеты производится посредством дробилок и прессовочных машин, в то время как предлагаемая технология предусматривает использование шнекового формовщика и барабанной сушилки [15].



Рис. 1. Оборудование для существующей гидромеханизированной и предлагаемой технологий добычи и переработки торфяного сырья [составлено авторами]

Fig. 1. Equipment for the existing hydro-mechanized and proposed technologies for extraction and processing of peat raw materials [compiled by the authors]

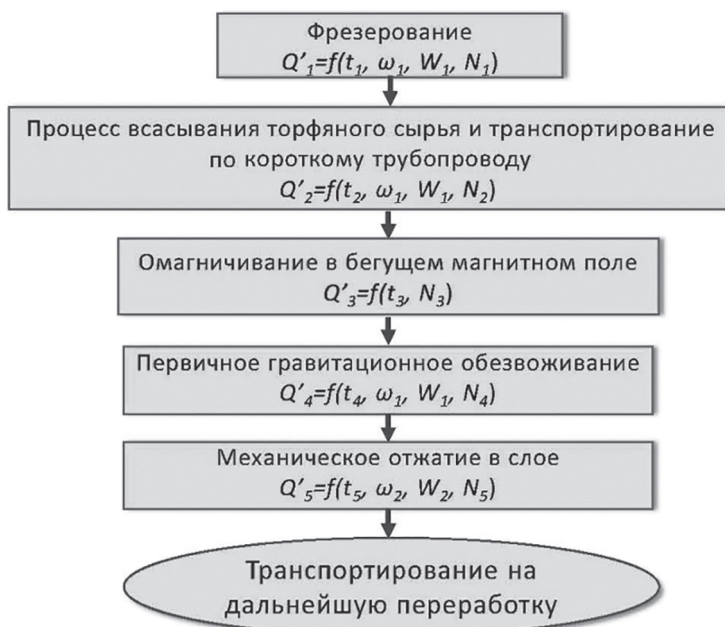


Рис. 2. Логическая цепочка с учетом удельных энергетических затрат предлагаемой технологии гидромеханизированной добычи торфяного сырья [составлено авторами]

Fig. 2. Logical chain taking into account the specific energy costs of the proposed technology of hydro-mechanized extraction of peat raw materials [compiled by the authors]

Предлагаемая технология на этапе добычи торфяного сырья предусматривает использование штатного погружного насоса для эффективного забора и перекачки торфяной пульпы, образованной в процессе грунтозабора фрезерно-шнековым рабочим органом с дальнейшим транспортированием пульпы по трубопроводу земснаряда небольшой длины, сокращение длины пульпопровода осуществляется за счет так называемого тандема землесосного снаряда и устройства обезвоживания с реализацией процесса магнитной обработки торфа. Омагниченную торфяную пульпу доставляют на плавучую базу, где выполняют первичное обезвоживание механическим способом с помощью отстойника-конвейера [16]. Отжатая из торфяного сырья влага отправляется обратно в карьер, что исключает необходимость ее «пустой» транспортировки.

Гидроторфяная пульпа далее поступает на установку понижения влагосодержания (патент РФ № 2720341), которая представлена в виде этажерочного пресса с послойным механическим отжатием торфяного сырья и возвратом отжатой из торфа влаги обратно в карьер средствами отвода влаги, предусмотренными в конструкции установки. Перемещение торфа после обезвоживающей установки выполняется периодическим транспортом от комплекса непосредственно на территорию карьера для дальнейших технологических операций.

На основе логической схемы (рис. 2) проводимых операций предлагаемой технологии был проведен анализ материального баланса переработки торфяного сырья предложенного комплекса оборудования и его сравнение с расходом энергии на добычу торфа традици-

Таблица 1

Материальный баланс существующей и предлагаемой технологий с учетом энергетических затрат и массы полученного абсолютно сухого торфа за один рабочий цикл продолжительностью 60 дней [составлено авторами]
The material balance of the existing and proposed technologies, taking into account energy costs and the mass of the obtained absolutely dry peat in one working cycle lasting 60 days [compiled by the authors]

Операция	Базовая технология		Предлагаемая технология	
	энергозатраты, МДж/(та.с.в. ч)	масса, т	энергозатраты, МДж/(та.с.в. ч)	масса, т
Добыча торфяного сырья	150,5	1,38·10 ⁶ , 96% 19 202, абс. сухому	150,5	1,38·10 ⁶ , 96% 19 202, абс. сухому
Гидротранспорт	14,4	1,38·10 ⁶ , 96% 19 202, абс. сухому	—	—
Омагничивание	—	—	0,3	1,38·10 ⁶ , 96% 19 202, абс. сухому
Обезвоживание				
полевое	0,015	320, абс. сухому	—	—
гравитационное	—	—	1,23	0,46·10 ⁶ , 82% 19 202, абс. сухому
механическое	—	—	4,05	36 000, 75% 19 202, абс. сухому
Суммарные значения, МДж	118 728	320, абс. сухому	115 812	19 202, абс. сухому
Удельные затраты энергии на производство торфа за 60 дней, МДж/т	118 728/320 = = 371		115 812/19 202 = = 6,03	
Потребная площадь для полевой сушки	3,84 км ²			

онным способом, включающим использование земснаряда с последующим размещением сырья на полях сушки. Результат оценки пооперационных затрат энергии для базовой и предлагаемой технологии представлены в табл. 1.

Выполненная оценка демонстрирует значительные преимущества предлагаемой технологии с учетом описанного комплекса горного оборудования для ее реализации относительно традиционного подхода к добыче и переработке торфяной пульпы. Применение предлагаемой технологии позволяет отказаться от больших площадей для естествен-

ной сушки торфяного сырья, а удельные затраты энергии на производство торфа отлично в 60 раз.

Обсуждение

Торф выступает не только возобновляемым источником энергии, но и экологичным видом топлива [17, 18]. Его использование снижает загрязнение атмосферы оксидами серы в 4–24 раза по сравнению с углем, в 9 раз — по сравнению с мазутом и горючими сланцами. Количество выбрасываемой пыли уменьшается в 36 раз по сравнению со сланцем и в 19 раз по сравнению с

углем. Остающиеся продукты сгорания, торфяную золу, можно повторно использовать в сельском хозяйстве как удобрение. Сжигание торфа не приводит к образованию опасного бензапирена, а утилизация остатков проще, чем в случае угольных шлаков. Оксиды углеродов, выделяемые при сгорании торфа, частично поглощаются болотными экосистемами [19, 20].

Оцененные запасы торфа в России очень большие, составляют свыше 160 млрд т; наша страна всегда занимала лидирующие позиции по изученности торфяных ресурсов. Однако сложившаяся генерирующая инфраструктура настроена в основном на газ, нефть и уголь, а ее переориентацию на торф принято считать неэффективной. Особенности устройства национального топливно-энергетического комплекса таковы, что использование торфа в энергетических целях может принести выгоду лишь в районах с дальнепривозным топливом, где имеются торфозаготовительные предприятия и возможность организации так называемых «торфяных станций» в месте добычи и разработки сырья [7].

Ключевые трудности в применении торфа как топлива обусловлены его небольшой энергетической ценностью, связанной с низкой теплотворной способностью, ограниченным периодом добычи, обоснованным сезонностью добычных работ, а также сложностью перевозки, особенно на большие расстояния (свыше 2000 км), что делает транспортировку финансово неоправданной. Решение озвученных проблем требует мер по улучшению теплотехнических показателей торфа и организации его использования рядом с местами добычи [1, 21].

Газификация торфа представляет собой перспективный метод, который может улучшить характеристики торфяного сырья перед его сжиганием [22, 23],

процесс газификации торфа позволяет производить разнообразные типы горючих газов, которые способны стать альтернативой метану. Сравнивая сжигание торфяного сырья с газификацией торфа с получением синтез-газа, как очевидное преимущество можно выделить получение газового топлива с возможностью дальнейшего использования для работы котлов, нагревательных устройств и газотурбинных двигателей в составе перекачивающих агрегатов за счет высокого качества получаемого продукта [24, 25].

Получение генераторного газа или синтез-газа возможно путем газификации твердого топлива, что предполагает термохимическое преобразование и распад органических компонентов топлива в условиях недостатка кислорода [26]. Полученный газ может быть достойной заменой или резервным видом топлива в отопительных системах или энергетических установках, например, при эксплуатации парогазовых агрегатов.

Технологический цикл производства генераторного газа можно рассмотреть в виде трех ключевых этапов.

Подготовительный этап: твердые виды топлива подвергаются предварительной обработке, включающей процедуры сушки, измельчения и сортировки, сопровождающиеся соответствующими испытаниями в лабораторных условиях.

Основной этап: непосредственно газификационный процесс протекает внутри специального устройства — реактора-газогенератора, функционирующего при повышенных значениях температуры и давления, варьируемых в зависимости от используемого способа.

Заключительным этапом является очистка выработанного газа от твердых частиц и вредных веществ [1]. Генераторный газ обладает значительными преимуществами по сравнению с прямым сжиганием торфа и других био-

масс. Он, подобно природному газу, может транспортироваться на большие расстояния по трубопроводам или в баллонах, используя как резервные топливо для котельных и местных тепловых электростанций, а также в технологических и силовых установках в качестве рабочего тела. Кроме того, сжигание газа легко автоматизируется, а его продукты сгорания менее токсичны, чем при сжигании древесины и других видов биомасс [26].

Установки для газификации торфа, работающие в непрерывном режиме, могут встраиваться непосредственно в производственный цикл на территориях добычи торфа, что позволит использовать местные ресурсы для обеспечения энергией перерабатывающего комплекса, исключая зависимость от внешних

источников. Таким образом, газификация торфа в местах его добычи даст возможность переработки низкокачественного сырья в электроэнергию, тепло и другие товарные продукты.

Применение современных гидромеханизированных технологий добычи и разработки обводненных торфяных месторождений открывает новые возможности для устойчивого и ресурсосберегающего производства энергоносителей на основе торфа [27, 28], обеспечивая значительное продвижение в области экологической энергетики [29, 30].

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований предложена технологическая схема добычи и переработки торфяного сырья, представленная на рис. 3. Данная технологическая цепочка на эта-



Рис. 3. Технологическая схема добычи и переработки торфяного сырья предлагаемой гидромеханизированной технологии для получения генераторного газа [составлено авторами]

Fig. 3. Technological scheme of extraction and processing of peat raw materials of the proposed hydro-mechanized technology for generating generator gas [compiled by the authors]

Таблица 2

Состав генераторного газа, полученного из торфа (в объемных процентах) [24]
Composition of generator gas obtained from peat (in volume percentages) [24]

Компонент	Количество
CO	25,1
H ₂	11,0
CH ₄	0,4
CO ₂	7,1
Теплотворная способность ккал/м ³ (МДж/м ³)	1484 (6,2)

пе разработки залежи предполагает использование землесосного снаряда совместно с установкой обезвоживания торфа, размещенной непосредственно возле участка добычи, на борту карьера. Торфяное сырье, подверженное обезвоживанию и доведенное до степени влажности 72–75% в установке влагопонижения, подвергается дополнительному измельчению с использованием роторно-дискового измельчителя с дальнейшим формированием в брикеты в шнековом прессе [31, 32]. Для качественного изготовления компактированного топлива полученная торфяная масса должна приобрести оптимальное пластичное состояние [33]. Затем сырье поступает в шнековую установку, формирующую высококачественные куски плотной торфяной продукции диаметром около 14 мм с влажностью ниже 50%. Завершается процесс дополнительным высушиванием до необходимой кондиции в барабанной сушильной камере [34].

Готовое окускованное торфяное топливо перевозят автомобильным транспортом на складские помещения котельных для последующего сжигания или же используют для производства генераторного газа.

Генераторный газ получается путем газификации торфа в специальных устройствах — поточных газогенераторах или котельных установках [24]. Процесс газификации можно разделить на три

основные стадии: подготовка торфяного сырья с досушкой торфа, термическая деструкция, в основе которой лежит нагревание торфа под воздействием высоких температур с целью образования летучих компонентов и формирования коксового остатка в трещинах и порах торфа, и заключительный этап — газификация торфа в газогенераторе с использованием газифицирующих окислителей, приводящая к образованию генераторного газа [35, 36]. Таким образом, газификация торфа позволяет эффективно получать синтетический газ, пригодный для дальнейшего использования в промышленности и коммунальном хозяйстве. Состав генераторного газа, полученного из торфа, представлен в табл. 2.

Приведенные рекомендации и инженерные решения способствуют рациональному использованию местного ресурса — торфа, позволяя перевести региональные котельные с традиционных видов топлива (угля или мазута) на торф, генерирующий газ, и открывая перспективы развития идеи строительства многотопливных котельных.

Заключение

На основе анализа известной гидромеханизированной технологии добычи торфа предложено внедрить новый комплекс, оснащенный модулем обезвоживания с применением магнитного поля, для омагничивания торфяной пульпы

в бегущем магнитном поле. Представленная оценка материального баланса переработки торфяного сырья комплексом показала, что данная технология позволяет отказаться от обширных полей сушки общей площадью 3,84 км², существенно снижая энергозатраты (примерно в 60 раз) и увеличивая выход сухой торфяной продукции примерно в 60 раз по сравнению с базовым методом. Описанная технология исключает необходимость ручного труда, автоматизируя процессы обезвоживания торфяного сырья соответствующей механизацией описанных операций.

Перспективным направлением дальнейших исследований в области развития гидромеханизированной технологии добычи торфяного сырья является усовершенствование разработанной методики интенсификации обезвоживания

торфяного сырья для ее применения при торфодобыче на обводненных месторождениях и дальнейшей газификации торфа. При этом процесс термохимической переработки торфа на основе его газификации расширяет возможности применения газотурбинных установок, как в плане производственной специализации, так и географического расположения.

Дальнейшее развитие технологий газификации требует дополнительного изучения и решения вопросов, связанных с проблемой более низкой теплотворной способности [37] генераторного газа относительно природного газа, наличием нежелательных примесей, содержащихся в генераторном газе, что имеет прямое влияние на стабильность работы ГТУ и сказывается на надежности и бесперебойности работы установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тимофеева С. С., Караева Ю. В. Термохимическая переработка низкосортного торфа на основе газификации // Вестник Казанского государственного энергетического университета. — 2021. — № 2 (50). — С. 15–26.
2. Гревцев Н. В., Сёмин А. Н., Гревцева И. Н. Занимательно о торфе. — М.: Фонд «Кадровый резерв», 2020. — 192 с.
3. Костюченко И. В. Древесная биомасса как перспективный вид топлива для котельных установок жилого сектора // Экономика строительства. — 2022. — № 12. — С. 73–81.
4. Жуйков А. В., Матюшенко А. И. Способы получения и практического применения синтез-газа (обзор) // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. — 2020. — № 13(4). — С. 383–405. DOI: 10.17516/1999-494X-0232.
5. Заворин А. С., Тайлашева Т. С., Буваков К. В., Долгих А. Ю., Воронцова Е. С. Топливные ресурсы Томской области для альтернативного энергетического использования // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2022. — Т. 333. — № 6. — С. 55–65.
6. Голубев И. А., Голубев А. В., Лаптев А. Б. Практика применения аппаратов магнитной обработки для интенсификации процессов первичной подготовки нефти // Записки Горного института. — 2020. — Т. 245. — С. 554–560. DOI: 10.31897/PMI.2020.5.7.
7. Ivanov S. L., Khudyakova I. N., Vagapova E. A. Modeling of the process of mechanical dehydration of raw peat materials in the working tools of mining machines // Journal of Physics: Conference Series. 2021, vol. 1753, no. 1, article 012048, pp. 1–7. DOI: 10.1088/1742-6596/1753/1/012048.
8. Skorobogatov A. A., Pshenin V. V., Duchnevich L. D. Review of multiphase oil-water flow characteristics in horizontal and inclined pipelines // Socar Proceedings. 2025, no. 4, pp. 81–98. DOI: 10.5510/OGP20250401126.
9. 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: 10.31897/PMI.2021.5.14.
10. Горячев В. И. Искусственное обезвоживание торфа: монография. — Тверь: ТвГТУ, 2012. — 183 с.

11. *Шерстнев В. И., Усманов А. И.* Исследование влияния качественной характеристики торфа на процесс обезвоживания // Теория и практика мировой науки. — 2018. — № 5. — С. 48–51.
12. *Петров А. А., Зюзин Б. Ф.* Перспективные машины, оборудование и технологии на базе высокопроходимых шагающих болотоходов для освоения неосушенных болот и разработки торфяных месторождений // Труды Инсторфа. — 2025. — № 31(84). — С. 19–49.
13. *Zakirova G. S., Pshenin V. V., Gustov A.* A compensation of temperature deformations of gas pipelines // International Journal of Engineering. 2025, no. 7, vol. 38, pp. 1699–1707. DOI: 10.5829/ije.2025.38.07a.20.
14. *Валиев Н. Г., Гревцев Н. В., Лебзин М. С.* Гидромеханизированный способ добычи торфа: современное состояние и перспективы // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2020. — № 4. — С. 141–150.
15. *Fadeev D. V., Khudyakova I. N., Vagapova E. A.* Algorithm for estimating loads of supports of floating platforms for extraction and processing of peat raw materials // IOP Conference Series. Earth and Environmental Science. 2019, vol. 378, no. 1, article 012012. DOI: 10.1088/1755-1315/378/1/012012.
16. *Zakirova G. S., Krapivskiy E. I.* Application of ANSYS/FLUENT software package for analysis of thermohydraulic processes in the low-temperature main pipeline for liquefied hydrocarbon // Journal of Physics Conference Series. 2019, vol. 1384, no. 1, article 012070. DOI: 10.1088/1742-6596/1384/1/012070.
17. *Дремичева Е. С., Эминов А. А.* Эколого-экономические аспекты использования торфа в энергетике // Вестник Казанского государственного энергетического университета. — 2022. — № 1(53). — С. 96–108.
18. *Мякотных А. А., Иванова П. В., Иванов С. Л.* Критерии и технологические требования создания мостовой платформы добычи торфяного сырья для климатически нейтральной геотехнологии // Горная промышленность. — 2024. — № 4. — С. 116–120. DOI: 10.30686/1609-9192-2024-4-116-120.
19. *Прохорова Е. А., Гендлер С. Г., Фазылов И. Р.* Влияние экологических условий регионов Арктической зоны России на риск травматизма и профзаболеваемости // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2024. — № 6. — С. 105–122. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_6_0_105.
20. *Usup A., Afentina A., Aguswan Y.* Climate change mitigation through forest fire prevention and peatland rewetting programs in Central Kalimantan Indonesia // Journal of Ecological Engineering. 2021, vol. 22, no. 11, pp. 230–238. DOI: 10.12911/22998993/143264.
21. *Хайруллина А. М., Маслов И. Н.* Применение альтернативных видов топлива в энергетике / Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова. — Белгород, 2023. — С. 139–141.
22. *Zaitsev A. S., Taburchinov R. I., Ozerova I. P.* Allothermal gasification of peat and lignite by a focused light flow // Applied Sciences. 2020, vol. 10, no. 8, article 2640. DOI: 10.3390/APP10082640.
23. *Chmielewska I.* Effect of fibre content on the geotechnical properties of peat // Studia Geotechnica et Mechanica. 2023, vol. 45, no. 2, pp. 133–143. DOI: 10.2478/sgem-2023-0003.
24. *Тимофеева С. С., Мингалеева Г. Р.* Перспективы использования торфа в региональной энергетике // Известия Томского политехнического университета. — 2014. — Т. 325. — № 4. — С. 46–55.
25. *Zakirova G. S., Krapivskiy E. I.* Thermophysical properties control during transportation of the liquefied hydrocarbon mixtures by means of REFPROP software package // Journal of Physics Conference Series. 2021, vol. 1728, no. 1, article 012026. DOI: 10.1088/1742-6596/1728/1/012026.
26. *Марьин Г. Е., Осипов Б. М., Зунино П., Менделеев Д. И.* Влияние состава топлива на энергетические параметры газотурбинной установки // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. — 2020. — Т. 22. — № 5. — С. 41–51. DOI: 10.30724/1998-9903-2020-22-5-41-51.
27. *Хамидов О. У., Шибанов Д. А.* Техническое обслуживание и ремонт карьерных экскаваторов по регламенту с учетом фактических условий и режимов их эксплуатации // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2025. — № 12-3. — С. 152–167. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_123_0_152.
28. *Зюзин Б. Ф., Разаев Д. Д.* Критериальный метод оценки энергоэффективности процессов горения и газификации торфа // Труды Инсторфа. — 2010. — № 2. — С. 34–41.

29. Михайлов А. В., Казаков Ю. А., Козачков Г. С. Особенности размещения модуля измельчения при внутрикарьерной переработке торфяного сырья // Горная промышленность. — 2024. — № 5. — С. 94—100. DOI: 10.30686/1609-9192-2024-5-94-100.

30. Mirna A., Azwar M., Makruf N. Determination of cation exchange capacity and analysis of cation availability in hemic and sapric peat with different preparation and extraction methods // Ilmu Pertanian (Agricultural Science). 2021, vol. 6, no. 1, pp. 47—53. DOI: 10.22146/ipas.52411.

31. 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. — С. 68—73. DOI: 10.30686/1609-9192-2024-6-68-73.


32. Yaltanets I. M., Kazakov V. A., Dementyev V. A. Structure of integrated mechanization at a hydromechanized enterprise in the operation of peat and sapropel fields and production of peat-sapropel fertilizers // Power Technology and Engineering. 2022, vol. 55, no. 5, pp. 652—658. DOI: 10.1007/s10749-022-01412-9.

33. 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: 10.31897/PMI.2020.1.58.

34. Голованчиков А. Б., Прохоренко Н. А. Проведение анализа технико-экономических параметров барабанной сушилки и сушилки с псевдоожиженным слоем высушиваемого материала // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. — 2020. — № 4 (33). — С. 12—18.

35. Новоселова М. С., Мингалева Г. Р., Марьин Г. Е., Титов А. В. Перспективы использования синтез-газа в газотурбинных установках // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. — 2024. — Т. 26. — № 1. — С. 131—143. DOI: 10.30724/1998-9903-2024-26-1-131-143.

36. Потапов В. Н., Костюнин В. В., Ханова А. С., Саутченко Н. И., Зимовец И. А., Очайкин К. В. Анализ схем подачи генераторного газа из биомассы и отходов для сжигания в камерных топках котлов // Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии. — 2012. — № 3 (11). — С. 66—72.

37. Klevtsov V. A., Timofeev D. Y., Khalimonenko A. D. Improved design of manufacturing processes for mining machines: Basing concepts // Russian Engineering Research. 2023, vol. 43, no. 11, pp. 1367—1375. DOI: 10.3103/S1068798X23110151. 

REFERENCES

1. Timofeeva S. S., Karaeva Yu. V. Thermochemical processing of low-grade peat based on gasification. *Kazan state power engineering university bulletin*. 2021, no. 2 (50), pp. 15—26. [In Russ].

2. Grevtsev N. V., Semin A. N., Grevtseva I. N. *Zanimatel'no o torfe* [Interestingly about peat], Moscow, 2020, 192 p.

3. Kostyuchenko I. V. Wood biomass as a promising type of fuel for boiler installations in the residential sector. *Economics of Construction*. 2022, no. 12, pp. 73—81. [In Russ].

4. Zhuikov A. V., Matyushenko A. I. Methods of obtaining and practical application of synthesis gas (review). *Journal of Siberian federal university. Engineering & technologies*. 2020, no. 13(4), pp. 383—405. [In Russ]. DOI: 10.17516/1999-494X-0232.

5. Zavorin A. S., Tailasheva T. S., Buvakov K. V., Dolgikh A. Yu., Vorontsova E. S. Fuel resources of the Tomsk region for alternative energy use. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2022, vol. 333, no. 6, pp. 55—65. [In Russ].

6. Golubev I. A., Golubev A. V., Laptev A. B. The practice of using magnetic processing devices to intensify the processes of primary oil treatment. *Journal of Mining Institute*. 2020, vol. 245, pp. 554—560. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2020.5.7.

7. Ivanov S. L., Khudyakova I. N., Vagapova E. A. Modeling of the process of mechanical dehydration of raw peat materials in the working tools of mining machines. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021, vol. 1753, no. 1, article 012048, pp. 1—7. DOI: 10.1088/1742-6596/1753/1/012048.

8. Skorobogatov A. A., Pshenin V. V., Duchnevich L. D. Review of multiphase oil-water flow characteristics in horizontal and inclined pipelines. *Socar Proceedings*. 2025, no. 4, pp. 81—98. DOI: 10.5510/OGP20250401126.

9. Fomin K. V. Mutual spectral densities calculation of the moments of resistance on the peat milling unit working bodies. *Journal of Mining Institute*. 2021, vol. 251, pp. 745—756. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2021.5.14.

10. Goryachev V. I. *Iskusstvennoe obezvozhivanie torfa: monografiya* [Artificial peat dewatering: monograph], Tver, 2012, 183 p.
11. Sherstnev V. I., Usmanov A. I. Investigation of the influence of the qualitative characteristics of peat on the process of dehydration. *Theory and practice of the world science*. 2018, no. 5, pp. 48–51. [In Russ].
12. Petrov A. A., Zyuzin B. F. Promising machines, equipment and technologies based on high-passable walking marsh walkers for the development of non-drained marshes and the development of peat deposits. *Trudy Instorfa*. 2025, no. 31(84), pp. 19–49. [In Russ].
13. Zakirova G. S., Pshenin V. V., Gustov A. A compensation of temperature deformations of gas pipelines. *International Journal of Engineering*. 2025, no. 7, vol. 38, pp. 1699–1707. [In Russ]. DOI: 10.5829/ije.2025.38.07a.20.
14. Valiev N. G., Grevtsev N. V., Lebzin M. S. Hydromechanized method of peat extraction: current state and prospects. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2020, no. 4, pp. 141–150. [In Russ].
15. Fadeev D. V., Khudyakova I. N., Vagapova E. A. Algorithm for estimating loads of supports of floating platforms for extraction and processing of peat raw materials. *IOP Conference Series. Earth and Environmental Science*. 2019, vol. 378, no. 1, article 012012. DOI: 10.1088/1755-1315/378/1/012012.
16. Zakirova G. S., Krapivskiy E. I. Application of ANSYS/FLUENT software package for analysis of thermohydraulic processes in the low-temperature main pipeline for liquified hydrocarbon. *Journal of Physics Conference Series*. 2019, vol. 1384, no. 1, article 012070. DOI: 10.1088/1742-6596/1384/1/012070.
17. Dremicheva E. S., Eminov A. A. Ecological and economic aspects of peat use in the energy sector. *Kazan state power engineering university bulletin*. 2022, no. 1(53), pp. 96–108. [In Russ].
18. Myakotnykh A. A., Ivanova P. V., Ivanov S. L. Criteria and technological requirements for creating a bridge platform for extracting peat raw materials for climate-neutral geotechnology. *Russian Mining Industry Journal*. 2024, no. 4, pp. 116–120. [In Russ]. DOI: 10.30686/1609-9192-2024-4-116-120.
19. Prokhorova E. A., Gendler S. G., Fazylov I. R. Influence of ecological conditions on risk of injuries and occupational illness in Russia's Arctic Zone. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2024, no. 6, pp. 105–122. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_6_0_105.
20. Usup A., Afentina A., Aguswan Y. Climate change mitigation through forest fire prevention and peatland rewetting programs in Central Kalimantan Indonesia. *Journal of Ecological Engineering*. 2021, vol. 22, no. 11, pp. 230–238. DOI: 10.12911/22998993/143264.
21. Khairullina A. M., Maslov I. N. The use of alternative fuels in the energy industry. *Mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya molodykh uchenykh BGTU im. V.G. Shukhova, posvyashchennaya 170-letiyu so dnya rozhdeniya V.G. Shukhova* [International Scientific and Technical Conference of young scientists of BSTU named after V.G. Shukhov, dedicated to the 170th anniversary of the birth of V.G. Shukhov], Belgorod, 2023, pp. 139–141. [In Russ].
22. Zaitsev A. S., Taburchinov R. I., Ozerova I. P. Allothermal gasification of peat and lignite by a focused light flow. *Applied Sciences*. 2020, vol. 10, no. 8, article 2640. DOI: 10.3390/APP10082640.
23. Chmielewska I. Effect of fibre content on the geotechnical properties of peat. *Studia Geotechnica et Mechanica*. 2023, vol. 45, no. 2, pp. 133–143. DOI: 10.2478/sgem-2023-0003.
24. Timofeeva S. S., Mingaleeva G. R. Prospects of peat use in regional energy. *Bulletin of the Tomsk polytechnic university. Geo assets engineering*. 2014, vol. 325, no. 4, pp. 46–55. [In Russ].
25. Zakirova G. S., Krapivskiy E. I. Thermophysical properties control during transportation of the liquefied hydrocarbon mixtures by means of REFPROP software package. *Journal of Physics Conference Series*. 2021, vol. 1728, no. 1, article 012026. DOI: 10.1088/1742-6596/1728/1/012026.
26. Maryin G. E., Osipov B. M., Zunino P., Mendeleev D. I. The influence of fuel composition on the energy parameters of a gas turbine. *Power engineering: research, equipment, technology*. 2020, vol. 22, no. 5, pp. 41–51. [In Russ]. DOI: 10.30724/1998-9903-2020-22-5-41-51.
27. Khamidov O. U., Shibanov D. A. Regulated maintenance and repair of quarry excavators considering real-world conditions and operating modes. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2025, no. 12-3, pp. 152–167. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_123_0_152.
28. Zyuzin B. F., Razaev D. D. Criterion method for evaluating the energy efficiency of peat combustion and gasification processes. *Trudy Instorfa*. 2010, no. 2, pp. 34–41. [In Russ].

29. 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 Journal*. 2024, no. 5, pp. 94–100. [In Russ]. DOI: 10.30686/1609-9192-2024-5-94-100.

30. Mirna A., Azwar M., Makruf N. Determination of cation exchange capacity and analysis of cation availability in hemic and sapric peat with different preparation and extraction methods. *Ilmu Pertanian (Agricultural Science)*. 2021, vol. 6, no. 1, pp. 47–53. DOI: 10.22146/ipas.52411.

31. Velikanov V. S., Grishin I. A., Lukashuk O. A., Sitdikova S. V. On extraction, mechanization and dewatering of peat raw materials: a brief overview. *Russian Mining Industry Journal*. 2024, no. 6, pp. 68–73. [In Russ]. DOI: 10.30686/1609-9192-2024-6-68-73.

32. Yaltanets I. M., Kazakov V. A., Demytyev V. A. Structure of integrated mechanization at a hydromechanized enterprise in the operation of peat and spropel fields and production of peat-sapropel fertilizers. *Power Technology and Engineering*. 2022, vol. 55, no. 5, pp. 652–658. DOI: 10.1007/s10749-022-01412-9.

33. Fomin K. V. Methodology for estimating the spectral density of the moment of resistance on the working body of a peat milling unit. *Journal of Mining Institute*. 2020, vol. 241, pp. 58–67. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2020.1.58.

34. Golovanchikov A. B., Prokhorenko N. A. Conducting an analysis of the technical and economic parameters of a drum dryer and a dryer with a fluidized bed of dried material. *Energy and resource saving: industry and transport*. 2020, no. 4 (33), pp. 12–18. [In Russ].

35. Novoselova M. S., Mingaleeva G. R., Maryin G. E., Titov A. V. Prospects of using synthesis gas in gas turbine installations. *Power engineering: research, equipment, technology*. 2024, vol. 26, no. 1, pp. 131–143. [In Russ]. DOI: 10.30724/1998-9903-2024-26-1-131-143.

36. Potapov V. N., Kostyanin V. V., Khanova A. S., Sautchenko N. I., Zimovets I. A., Ochaykin K. V. Analysis of schemes for supplying generator gas from biomass and waste for combustion in chamber furnaces of boilers. *Modern Science: Researches, Ideas, Results, Technologies*. 2012, no. 3 (11), pp. 66–72. [In Russ].

37. Klevtsov V. A., Timofeev D. Y., Khalimonenko A. D. Improved design of manufacturing processes for mining machines: Basing concepts. *Russian Engineering Research*. 2023, vol. 43, no. 11, pp. 1367–1375. DOI: 10.3103/S1068798X23110151.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Вагапова Эльнара Абдуллаевна¹ — канд. техн. наук, ассистент, e-mail: vagarova_ea@pers.spmi.ru, ORCID ID: 0009-0003-2296-1152,

Иванова Полина Викторовна¹ — канд. техн. наук, доцент, e-mail: Ivanova_PV@pers.spmi.ru, ORCID ID: 0000-0002-8338-418X,

¹ Санкт-Петербургский горный университет.

Для контактов: Вагапова Э.А., e-mail: vagarova_ea@pers.spmi.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

E.A. Vagarova¹, Cand. Sci. (Eng.), Assistant, e-mail: vagarova_ea@pers.spmi.ru, ORCID ID: 0009-0003-2296-1152,

P.V. Ivanova¹, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, e-mail: Ivanova_PV@pers.spmi.ru, ORCID ID: 0000-0002-8338-418X,

¹ Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, 199106, Saint-Petersburg, Russia.

Corresponding author: E.A. Vagarova, e-mail: vagarova_ea@pers.spmi.ru.

Получена редакцией 09.11.2025; получена после рецензии 28.12.2025; принята к печати 10.04.2026.

Received by the editors 09.11.2025; received after the review 28.12.2025; accepted for printing 10.04.2026.