ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2023;(7):21-36
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.331 DOI: 10.25018/0236_1493_2023_7_0_21

КОМПЛЕКС ГИДРОМЕХАНИЗИРОВАННОЙ ДОБЫЧИ ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ С МОДУЛЕМ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ В БЕГУЩЕМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Э.А. Вагапова[1], С.Л. Иванов[1], П.В. Иванова[1], И.Н. Худякова[1]

[1] Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: el.rezvanova@mail.ru

Аннотация: Представлены результаты экспериментов по интенсификации водоотделения из торфяного сырья после воздействия магнитного поля, выявлены зависимости и определена восприимчивость торфяной пульпы к магнитной обработке, изучены фильтрационные особенности и химический состав ее водной составляющей. Представлены результаты физического моделирования первичного обезвоживания торфяного сырья нарушенной структуры в тонком слое с определением рационального давления отжатия. Описаны геотехнология добычи торфяного сырья обводненного месторождения и средства гидродобычи с применением земснаряда в тандеме с плавучим комплексом по добыче и переработке торфяного сырья, включающие установку понижения влагосодержания формуемого сырья при послойном механическом отжатии. Установка реализует первичное обезвоживание торфяного сырья непосредственно на борту комплекса, исключая порожнее транспортирование переувлажненного сырья. На основании проведенных экспериментов подобраны размеры пресс-поддонов для установки обезвоживания торфяной пульпы, обоснована рациональная величина высоты столба поддонов, обеспечивающая заданные параметры качества продукта переработки непосредственно на борту комплекса.

Ключевые слова: гидромеханизированная добыча торфа, обводненные месторождения, торфяная пульпа, интенсификация процесса влагоотделения, гравитационное влагоотделение, магнитная обработка, первичное обезвоживание в тонком слое, моделирование процесса механического влагопонижения.

Для цитирования: *Вагапова Э. А., Иванов С. Л., Иванова П. В., Худякова И.Н.* Комплекс гидромеханизированной добычи торфяного сырья с модулем обезвоживания в бегущем магнитном поле // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 7. – С. 21–36. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_7_0_21.

Hydraulic miner with dewatering of peat in travelling magnetic field

E.A. Vagapova[1], S.L. Ivanov[1], P.V. Ivanova[1], I.N. Khudyakova[1]

[1] Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia, e-mail: el.rezvanova@mail.ru

Abstract: The article describes the experimental studies on intensified dewatering of peat treated by magnetic field. The magnetic treatment patterns and magnetic susceptibility of peat pulp are revealed, and the permeability and chemical composition of water in the pulp is examined.

© Э.А. Вагапова, С.Л. Иванов, П.В. Иванова, И.Н. Худякова. 2023.

The physical simulation data on initial dewatering of a thin destructured peat layer are presented with the found efficient squeezing pressure. The watered peat cutting technology and equipment using a suction-tube dredger in a tandem with a float peat cutting and processing system are presented, including a water content reduction plant with layer-wise mechanical pressing of peat. The plant performs initial dewatering of peat immediately aboard the float system without haulage of over-watered material. Based on the tests, the size of the press-and-drain pans for the peat dewatering plant is selected, and the efficient height of the pile of the pans is substantiated to ensure the preset quality of the product directly aboard the float system.

Key words: peat hydromining, watered deposits, peat pulp, water separation intensification, gravity water separation, magnetic treatment, initial thin layer dewatering, mechanical water content reduction modeling.

For citation: Vagapova E. A., Ivanov S. L., Ivanova P. V., Khudyakova I. N. Hydraulic miner with dewatering of peat in travelling magnetic field. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(7):21-36. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_7_0_21.

Введение

Применение средств гидромеханизированной добычи торфа при разработке обводненных и сильнообводненных месторождений позволяет исключить необходимость проведения водопонижения значительных территорий, работ по рекультивации и сохранить в неизменном состоянии ареалы флоры и фауны, окружающих торфяную залежь, таким образом обеспечить устойчивое функционирование естественных экологических систем [1—3]. Такой подход сводит к нулю возможность возникновения техногенных и природных пожаров [4, 5]. При этом следует отметить, что реализация добычи торфа посредством земснарядов требует применения громоздкого металлоемкого оборудования, протяженного пульпопровода, обладающего высокой материалоемкостью, и предполагает значительные площади для естественной сушки добытого торфяного сырья [6, 7].

Основной проблемой добычи торфяного сырья на обводненных месторождениях является снижение влаги добытого торфяного сырья. Торф представляет собой сложную полидисперсную многокомпонентную систему, и для реализации эффективного его обезвоживания необходимо разрушить связи между компонентами дисперсной системы [8—10]. Влага в торфе находится в пяти видах: свободная, отделяемая под действием сил тяжести, капиллярная и коллоидная, удаляемая при высушивании торфа, внутриклеточная и химически связанная — гидратная [11—13].

Естественный процесс влагопонижения торфяного сырья в гравитационном поле инерционен и продолжителен во времени [14—16]. Его интенсификация возможна, с одной стороны, путем создания разности давлений на поверхности и внутри торфяного сырья, например, вакуумированием, механическим отжатием [17] или интенсивным испарением под действием повышенных температур, и с другой стороны — посредством снижения сопротивления движения влаги из глубины к поверхности увеличением эффективной площади каналов течения жидкости, снижением сопротивления ее движению, например механическим рыхлением, или повышением ее текучести посредством химических добавок или воздействием различных энергетических полей, например магнитных [18, 19].

Нарушение структуры торфяного сырья при его гидродобыче превращает его в торфяную пульпу. Уходя от дорогостоящих операций по сезонной сушке этого торфяного продукта на полях сушки, были разработаны подходы по непрерывному заводскому круглогодичному механизированному производству обезвоживания торфяного сырья [20], основанные на искусственном обезвоживании путем механического воздействия на торфяную пульпу. Было определено, что интенсификация водоотделения резко возрастает в присутствии в пульпе окиси железа в качестве коагулянта [21, 22]. Так был найден дешевый активно работающий коагулянт — коллоидальный раствор окиси железа концентрацией 0,02%.

Известны исследования влияния импульсного магнитного поля на обезвоживание сапропеля исходной влагой 85...93%. Опыты по обезвоживанию сапропеля в магнитном поле позволили сделать вывод, что влияние магнитного поля ускоряет процесс обезвоживания более чем в 2 раза. При этом эффект воздействия магнитного поля избирателен и имеет максимум при энергии магнитного поля, равной 12,5 Дж, и напряженности $12 \cdot 10^4$ А/м [23]. Однако подобных исследований с торфяной пульпой авторами не обнаружено.

Таким образом, целью статьи является выявление закономерностей протекания процессов первичного обезвоживания гидроторфяных смесей с интенсификацией процесса первичного обезвоживания торфяной пульпы кратковременным воздействием бегущего магнитного поля и послойным прессованием на борту комплекса добычи торфяного сырья гидромеханизированным способом.

Для решения поставленной цели были определены следующие задачи.

- Оценка влияния постоянного и бегущего магнитных полей на интенсивность обезвоживания торфяной пульпы с последующим сравнением результатов.
- Изменение интенсивности влагоотделения из проб торфяных пульп при наличии в них сочетаний ионов металлов.
- Оценка эффективности прессования торфяного сырья в слое.
- Предложение по реализации нового технического решения гидромеханизированной торфодобычи на обводненных месторождениях.

Методы

Для оценки перспективности применения эффекта омагничивания, выявления закономерностей физико-химических реакций и восприимчивости торфяной пульпы к магнитной обработке была проведена серия сравнительных экспериментов по интенсификации процесса влагоотделения гидроторфяной смеси [24].

В качестве исходного сырья было взято торфяное сырье месторождения Заозерское № 1021, соответствующим образом подготовленное.

На первом этапе исследования проводились лабораторные эксперименты по определению интенсивности водоотделения в зависимости от длительности воздействия постоянного магнитного поля на пульпу. Так были сформированы группы проб, по три образца в каждой, одинакового состава и массы, которые подвергались магнитной обработке в постоянном магнитном поле, с временем воздействия на них 15 с, 30 с, 45 с, 60 с; и базовой группы — не подвергаемой этой магнитной обработке. Подобная продолжительность воздействия магнитного поля с приростом длительности в 15 с позволила выявить влияние этого фактора на интенсивность водоотделения проб в сравнении с базой. Оценка интенсивности водоотделения проводилась путем периодического измерения массы

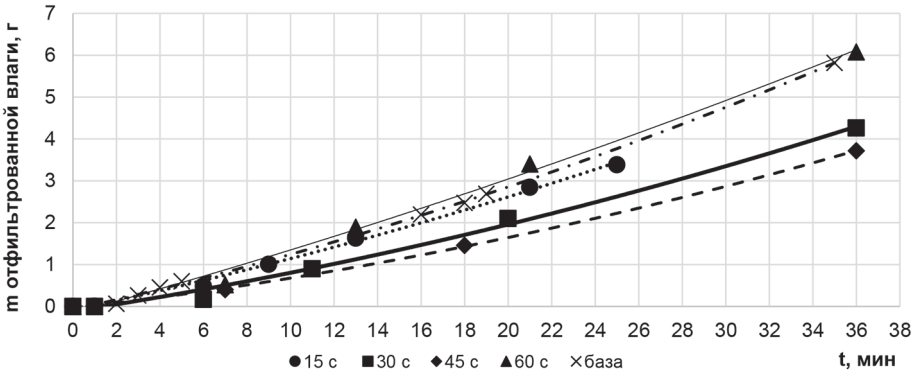

Рис. 1. Изменение интенсивности влагоотделения торфяных пульп до и после омагничивания постоянным магнитным полем

Fig. 1. Change in intensity of water separation from peat pulp before and after treatment by permanent magnetic field

влаги в группах образцов, отделяемой фильтрованием после омагничивания на протяжении получаса от начала процесса фильтрации. Исходные массы образцов формировались по 30±1 г. Измерения теряемой влаги проводилиь на электронных лабораторных весах Госметр II класса точности, путем многократных равноточных измерений. Результаты измерений усреднялись по группе и обрабатывались с выявлением функциональных зависимостей. Результаты обработанных данных представлены на рис. 1.

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что воздействие на пульпу постоянного магнитного поля не дает выраженного положительного эффекта. Такое воздействие либо при длительном нахождении (60 с) в постоянном магнитном поле соизмеримо с базовой (без омагничивания), либо ухудшает интенсивность водоотделения при меньшей продолжительности воздействия постоянного магнитного поля.

Получены зависимости массы отделенной из пробы влаги от времени фильтрации:

- для проб после 15 с воздействия постоянным магнитным полем

$$m = 10^{-3}\left(1,2t^2 + 110t - 83\right);$$

- для проб после 30 с воздействия постоянным магнитным полем

$$m = 10^{-3}\left(1,2t^2 + 80t - 110\right);$$

- для проб после 45 с воздействия постоянным магнитным полем

$$m = 10^{-3}\left(1,3t^2 + 58t - 37\right);$$

- для проб после 60 с воздействия постоянным магнитным полем

$$m = 10^{-3}\left(0,9t^2 + 142t - 162\right);$$

- для проб без воздействия постоянным магнитным полем

$$m = 10^{-3}\left(1,5t^2 + 117t - 77\right).$$

Коэффициент детерминации для всех выявленных выражений R^2 = 0,99.

Высокое значение R^2 говорит о наличии выявленных реально существующих функциональных зависимостей.

Следующим этапом исследований было изучение влияния на интенсивность водоотделения торфяной пульпы при омагничивании ее бегущим магнитным полем. Для чего были проведены три серии опытов, показавших хорошую повторяемость их результатов, с подготовкой трех типов проб, включая контрольную — не подвергаемую магнитной обработке — и две идентичные группы,

впоследствии подвергнутые 15-секундному воздействию бегущего магнитного поля однократно и двукратно. В качестве источника бегущего магнитного поля был взят статор однокиловаттного трехфазного электродвигателя. Величина индукции магнитного поля при экспериментах составляла 30 мТл, измерение напряженности магнитного поля выполнялось магнитометром ИМАГ-400Ц с учетом направленности магнитного поля. Результаты сравнительного анализа эксперимента представлены на рис. 2, где *1* — усредненные значения серии из трех экспериментов проб с однократным воздействием бегущего магнитного поля длительностью 15 с, *2* — усредненные значения серии из трех экспериментов проб с двукратным воздействием по 15 с бегущего магнитного поля длительностью 2×15 с, *3* — усредненные значения серии из трех экспериментов контрольной пробы без воздействия магнитным полем.

Из представленных результатов исследования можно сделать вывод, что интенсивность влагоотделения при кратковременном воздействии бегущего магнитного поля в 1,5 раза больше, чем у контрольной пробы, при этом повторное омагничивание, способствуя процессу влагоотделения, дает значительно меньший эффект. Получены зависимости объема отфильтрованной влаги от времени фильтрации:

- для проб с однократным воздействием бегущего магнитного поля

$$V = 10^{-4}\left(-4t^4 + 283t^3 - 713t^2\right) + \\ +7,47t + 6,53$$

с коэффициентом детерминации R^2 = 0,93;

- для проб с двукратным воздействием бегущего магнитного поля

$$V = 10^{-5}\left(-2t^4 + 310t^3 - 14330t^2\right) + \\ +3,168t + 0,078$$

с коэффициентом детерминации R^2 = 0,99;

- для контрольной пробы без воздействия бегущего магнитного поля

$$V = 10^{-5}\left(-4t^4 - 270t^3 + 5220t^2\right) + \\ +0,91t + 0,2$$

с коэффициентом детерминации R^2 = 0,99.

Высокие значения R^2 говорят о наличии выявленных реально существующих функциональных зависимостей.

Далее были проведены экспериментальные исследования интенсивности влагоотделения из проб торфяных пульп с различным содержанием анионов и катионов при омагничивании бегущим магнитным полем, для подтверждения теоретических исследований вопроса разрушения прочной связи, существующей

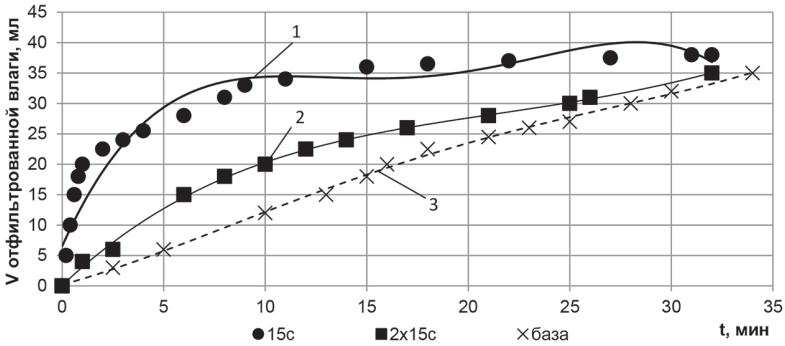

Рис. 2. Изменение интенсивности влагоотделения торфяных пульп до и после омагничивания бегущим магнитным полем

Fig. 2. Change in intensity of water separation from peat pulp before and after treatment by travelling magnetic field

между твердой субстанцией торфа и водой, в нем содержащейся, которые вместе образуют коллоидальную систему [25]. Для этого проводились серии опытов с фильтрацией проб торфяных пульп специально подготовленного состава, влага которых различалась по химическому составу. Так, проба 1 (±) имела умеренное содержание солей (сульфатов и хлоридов) и низкое содержание катионов железа; проба 2 (Fe) — повышенное содержанием катионов Fe^{2+}, Fe^{3+}; проба 3 (Mg) — высокое содержание гидрокарбонатов и катионов Mg^{2+}. Для количественной оценки показателей воды подготовленные пробы отдавались в аккредитованную лабораторию с получением протоколов испытаний. Группы проб по девять образцов в каждой подвергались сериям опытов по магнитному воздействию бегущим магнитным полем на три пробы каждой группы; первая серия опытов — время омагничивания 15 с; вторая серия — двукратное омагничивание по 15 с (2×15 с); третья серия — время омагничивания 30 с.

Анализируя полученные в ходе экспериментов данные (рис. 3), следует подтвердить, что наличие в торфяной пульпе катионов железа положительно влияет на процесс водоотделения: у пробы 2 при концентрации железа 0,02% интенсивность этого процесса выше в 4 раза по сравнению с остальными пробами [26]. Схожие тенденции были выявлены в исследованиях гидроторфа [20]. Отделение воды из пульпы путем фильтрования под действием гравитационных сил жидкости у пробы, обогащенной катионами Fe^{2+}, Fe^{3+} происходит в первые 12 мин фильтрации (рис. 4). Выполаживание этого процесса можно объяснить засорением фильтрующей поверхности. При этом лучшим для интенсификации обезвоживания торфяной пульпы под действием бегущего магнитного поля является ее однократное омагничивание, так как при повторном воздействии магнитного поля на уже омагниченный образец наблюдается снижение интенсивности этого процесса, объясняемое тем, что при двукратном омагничивании происходит упорядочение молекул воды в новые плотные ассоциации, которые обволакивают частицы торфа и прочно удерживают их, при этом количество свободной воды уменьшается, а прочносвязанной — увеличивается.

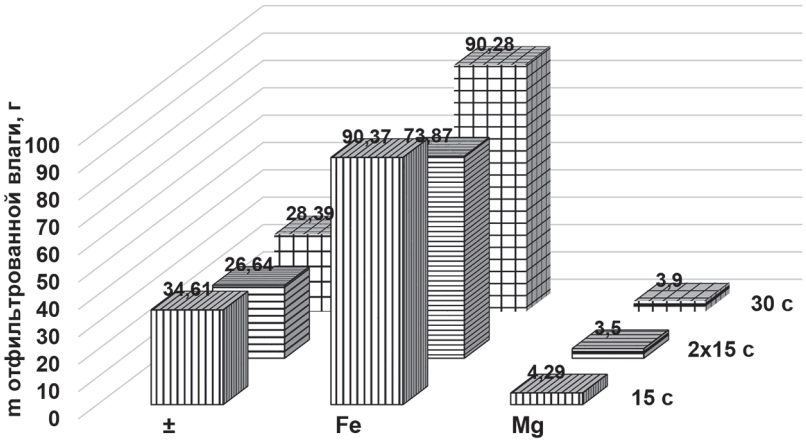

Рис. 3. Интенсивность влагоотделения торфяных пульп с различным катионно-анионным составом воды после омагничивания бегущим магнитным полем

Fig. 3. Intensity of water separation from peat pulp with different cation–anion composition of water after treatment by travelling magnetic field

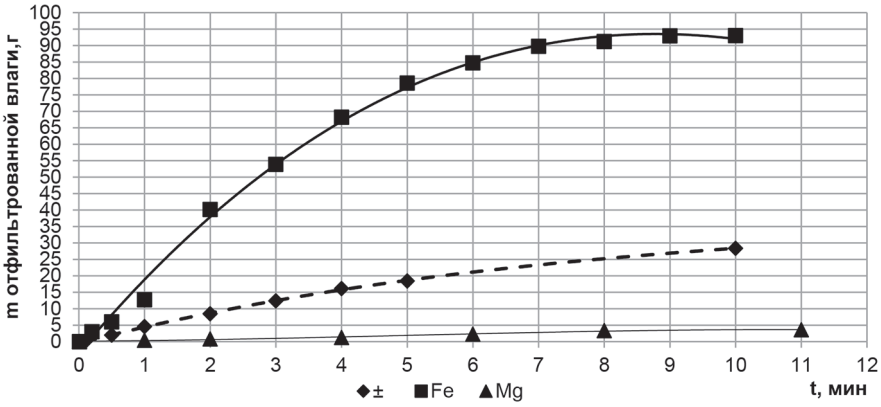

Рис. 4. Интенсивность влагоотделения торфяных пульп с различным катионно-анионным составом воды после 15 с омагничивания бегущим магнитным полем

Fig. 4. Intensity of water separation from peat pulp with different cation–anion composition of water after treatment by travelling magnetic field for 15 s

Получены зависимости массы отфильтрованной влаги от времени фильтрации:

- для проб с умеренным содержанием солей (±)

$$m = 10^{-2}\left(0,81t^3 - 31t^2 + 515t - 43\right);$$

- для проб с содержанием катионов железа (Fe)

$$m = 10^{-2}\left(2,4t^3 - 167t^2 + 2399t - 339\right);$$

- для проб с содержанием гидрокарбонатов и катионов магния (Mg)

$$m = 10^{-2}\left(-0,49t^3 + 7,2t^2 + 11,55t + 12,7\right).$$

Все выявленные функциональные зависимости имеют коэффициент детерминации R^2 = 0,99.

Для интенсификации процесса отделения влаги отжатием под действием внешней нагрузки проводились эксперименты, которые позволят обоснованно выбрать параметры пресса модуля обезвоживания, обеспечивающего заданную производительность при достижении удовлетворительного уровня отжатия торфяного сырья на борту автономного добывающе-перерабатывающего комплекса, уточнить закономерности изменения коэффициента фильтрации для конкретных условий [27 — 29]. Так, были проведены исследования с физическим моделированием процесса обезвоживания торфа в гравитационном прессе; в качестве пресса с нагрузкой торфяной пробы был разработан стенд с винтовым прессом, воздействующим на пуансон в контейнере цилиндрической формы с перфорированным дном (R_v = 1,5–3 и площадью перфорации 23%).

Были проведены три серии опытов с определением влаги торфа при увеличении давления в процессе прессования торфяных проб различной исходной толщины, полученные результаты имеют хорошую повторяемость. Результаты эксперимента изменения усредненной влаги торфа при росте давления в процессе прессования в зависимости от отношения толщины слоя отжимаемой пульпы к толщине слоя отжатой пульпы без выдержки под нагрузкой представлены на рис. 5.

Получены зависимости влаги торфяного сырья от нагрузки:

- для слоя начальной толщины 19,06 см

$$W = -351,2P^3 + 387,5P^2 - 135,7P + 92,5;$$

с коэффициентом детерминации R^2 = 0,9;

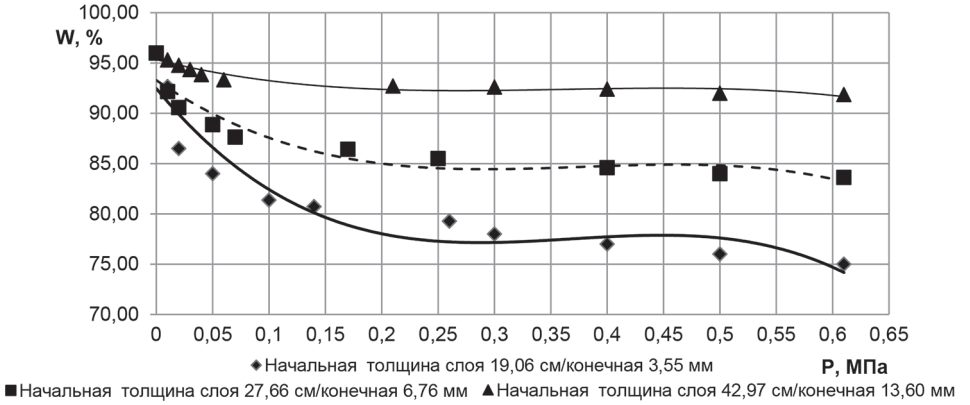

Рис. 5. Изменение усредненной влаги в торфяных образцах с разной толщиной загрузки сырья в пресс при увеличении нагрузки

Fig. 5. Change in average water content of peat samples at different thickness of batches in pressing machine under increasing load

- для слоя начальной толщины 27,66 см

$$W = -189{,}7P^3 + 214{,}5P^2 - 76{,}7P + 93{,}3\,;$$

с коэффициентом детерминации R^2 = 0,89;

- для слоя начальной толщины 42,97 см

$$W = -78{,}6P^3 + 85P^2 - 28{,}7P + 95{,}3\,;$$

с коэффициентом детерминации R^2 = 0,92.

Полученные значения коэффициента детерминации R^2 говорят о наличии выявленных реально существующих функциональных зависимостей.

Рациональным давлением отжатия является величина в 0,6 МПа, увеличение продолжительности действия нагрузки критически не влияет на интенсификацию процесса обезвоживания, что подтверждает теорию об удалении основного количества влаги в первые минуты при механическом отжиме и условном делении процесса обезвоживания на две области: в первой области при небольших значениях давлений возможно снизить влагу торфа с показателя 90% до 80%, а во второй области для снижения влаги ниже 80% необходимо значительно увеличивать давление нагрузки; рациональным показателем определена влага 72% [30—32]. Проведенные исследования позволяют однозначно подобрать толщину отжимаемого слоя при заданной величине влаги торфяной плиты после отжатия, обеспечив заданную производительность комплекса.

Обсуждение

Учитывая выявленные и представленные выше закономерности и тенденции интенсификации влагопонижения торфяного сырья, обратимся к реализации данного подхода в торфодобыче на обводненных месторождениях [33]. За базу возможно выбрать технологию гидродобычи с применением земснаряда. Данная технология предполагает сплошную продольную (поперечную, круговую или веерную) однобортовую систему разработки обводненной торфяной залежи [34—36].

Для выполнения добычных работ на обводненном месторождении торфа землесосный снаряд оснащается фрезерно-шнековым разрыхлителем прямого вращения (по ходу движения земснаряда), работающим с низкими окружными скоростями и большими подачами на фрезы [37, 38]. Частота вращения режущих фрез составляет 0,33—0,5 Гц, глубина

резания до 50 мм, скорость подачи вдоль забоя 0,03 — 0,05 м/с и скорость потока на всасе составляет 2 — 4 м/с. Всасывающая линия оснащена погружным грунтовым насосом, работающим в одной линии с центробежным насосом палубного размещения, а перемещение плавучего средства осуществляется напорным свайным ходом [39, 40].

Погружной насос обеспечивает эффективное всасывание образовавшейся смеси в районе действия шнекового рыхлителя и транспортировку последней по короткому участку трубопровода земснаряда. Всасывающая способность центробежных насосов, работающих с жидкостями (гидросмесями), обладающими реологическими характеристиками, ниже, чем при работе с обычными ньютоновскими жидкостями. Использование дополнительного насоса осевого типа в действующих вариантах добычных систем позволяет транспортировать пульпу необходимой плотности с соответствующим подпором на необходимое расстояние по трубопроводу. При этом разработка залежи фрезой с созданием торфяной пульпы влагой 95 — 96% означает необходимость перекачки 960 кг влаги на каждую тонну добытой торфяной пульпы торфососом по протяженному напорному трубопроводу от землесосного снаряда до места переработки, при этом предельные расстояния транспортирования могут достигать до 300 — 400 м. Большая длина пульпопровода требует немалых материальных затрат, эти затраты связаны с высокой металлоемкостью и необходимостью обслуживания протяженного трубопровода.

Для устойчивой эксплуатации гидротранспорта определяются удельные потери напора, также нужно учитывать необходимость перекачки пульпы со скоростью выше критической скорости движения, для того чтобы твердые частицы в пульпе перемещались в потоке без расслоения пульпы. При эксплуатации протяженных трубопроводных систем необходимо учитывать «живое» сечение трубопровода, величина которого меньше, чем фактический диаметр последнего.

Таким образом, количественная (качественная) оценка гидромеханизированной технологии показывает, что необходимо использовать дополнительный погружной насос осевого типа с производительностью 1500 — 2000 м^3/ч, мощностью приводного двигателя 100 кВт в линии с палубным центробежным насосом ГРу 1600/25 с подачей (производительностью) 1600 м^3/ч, мощностью 315 кВт при предельном расстоянии транспортирования до 300 — 400 м по пульпопроводу диаметром 400 мм.

Отказаться от протяженных пульпопроводов, сделать процесс энергоэффективным позволяет применение тандема земснаряда с установкой обезвоживания торфа (Патент № 2720341), представляющей собой плавсредство с установкой понижения влагосодержания формуемого сырья при послойном механическом отжатии торфяной пульпы в поддонах с двойным дном. Применение такого тандема позволяет отказаться от транспортировки 860 кг воды на каждую тонну перекачиваемой торфяной пульпы, полей для сушки, при значительном сокращении пульпопровода до 30 м, необходимых для доставки пульпы к установке понижения влагосодержания формуемого сырья.

Трансфер торфяного сырья влагой 72% осуществляется циклическим транспортом от комплекса на борт карьера для дальнейшей переработки.

Для доставки пульпы от землесосного снаряда до плавучего комплекса используется всасывающий пульпопровод. Оценка величины потерь напора при движении гидроторфяной смеси и скорости потока с учетом содержания сухого ве-

щества в торфяной пульпе позволяет оставлять неизменным штатный осевой всасывающий насос, установленный непосредственно у шнекового рыхлителя, обеспечивая заданную подачу пульпы по короткому пульпопроводу.

За плавучую базу выбран комплекс, содержащий плавучее основание с расположенными на нем механизмом движения, технологическими автономными модулями с входными и выходными элементами стыковки с автономными технологическими модулями (Патент РФ № 2599117), который оснащен понтонами в основании для поддержания комплекса на плаву (Патент РФ № 2655235), состоящими из совокупности герметичных цистерн внешнего и внутреннего периметра, оснащенной единой жесткой несущей рамой каркасного типа для обеспечения жесткости модульной платформы при сохранении частичной податливости цистерн за счет применения специальных направляющих и гнезд, относительного перемещения цистерн внешнего периметра друг относительно друга для заданного пошагового направленного перемещения плавучей платформы по акватории.

Поступая на борт плавучего комплекса, торфяная пульпа для доставки на установку послойного механического отжатия (Патент РФ № 2720341) проходит процесс омагничивания в бегущем магнитном поле напряженностью $30 \cdot 10^9$ А/м в течение 10 — 15 с, что обеспечивается индуктором длиной 15 м, расположенным на конце трубопровода. Как показывает качественный анализ торфяной влаги пульпы, содержание ионов железа достаточно для проведения эффективной магнитной обработки. Омагниченная пульпа подается на скребковый конвейер (Патент РФ № 2152343) первичного гравитационного обезвоживания. Скребковый конвейер для обезвоживания транспортируемого материала включает привод, рештачный став из секций, дно которых выполнено в виде шпальтовых сит, тяговый орган — цепи со скребками, на которых закреплены передние относительно направления перемещения материала очистители, и натяжную головку. Скребок оснащен очистителем, который образует полость, позволяющую увеличить скорость и глубину обезвоживания сырья.

После гравитационного обезвоживания посредством использования скребкового конвейера торфяная пульпа влагой 85 — 86% подается на установку обезвоживания торфа через дозировочный бункер, входящий в состав установки. Данная установка представляет собой колодцы спуска и подъема, в которых осуществляется цикличное движение поддонов с использованием цевочных колес с приводом. Так, колодец спуска представляет собой столб вложенных поддонов, поставленных друг на друга, которые давят на нижерасположенные поддоны своим весом и весом загруженной торфяной пульпы. Поддоны оснащены двойным дном, так отжатая влага выдавливается через фильтрующее дно поддона в пространство между наружным дном поддона и фильтрующим дном, а свободная влага отводится через средства отвода влаги, исключая попадание на нижестоящие поддоны. Наружное же дно поддона вышестоящих поддонов создает прессующее давление на торфяную пульпу, загруженную в нижестоящий поддон. Дно выполнено толстостенным для усиления эффекта прессования.

Стоит отметить, что поддоны в столбе вложенных поддонов в колодце спуска имеют положение с углом наклона к горизонту от 0° до 10° для стока воды и свободу перемещения под собственным весом в направляющих колодца спуска. Оснащение поддона откидной торцевой стенкой позволяет автоматически, с использованием шибера очистки, отделить

спрессованный материал из выпущенного поддона — освобожденного нижнего поддона из колодца спуска — на конвейерную ленту с приводом для дальнейшей транспортировки к месту складирования обезвоженного торфа.

Заключение

На основании проведенных исследований выявлены функциональные закономерности водоотделения при воздействии на пульпу магнитным полем. Интенсификация процесса обезвоживания возможна при высоком содержании катионов железа в гидроторфяной смеси и последующем кратковременном омагничивании торфяной пульпы бегущим магнитным полем.

Проанализированы средства гидромеханизированной добычи торфа при разработке обводненных и сильнообводненных месторождений, выбраны параметры землесосного снаряда с осевым всасывающим насосом для транспортировки добытого торфяного сырья к плавучему комплексу по предложенному короткому пульпопроводу.

Представлен тандем земснаряда с установкой обезвоживания, представляющей собой плавсредство. Предложен комплекс горного оборудования, предназначенный для первичного обезвоживания торфяной пульпы, который обеспечивает производительность комплекса 10—12 т/ч влагосодержанием 72% при размерах поддона 0,5×0,6×0,3 м и высоте столба поддонов 10,5 м, что обеспечивает максимальное давление в слое 1,0 МПа, при этом рациональная толщина отжимаемого слоя составляет 0,065 м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Валиев Н. Г. О., 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.

2. *Пиирайнен В. Ю., Михайлов А. В., Баринкова А. А.* Современный взгляд на решение проблем экологии Уральского алюминиевого завода // Цветные металлы. — 2022. — № 7. — С. 39—45. DOI: 10.17580/tsm.2022.07.04.

3. *Дементьев В. А.* Эксплуатация обводненных месторождений. — М.: Изд-во «Горная книга», 2010. — 208 с.

4. *Тяботов И. А., Горбунов А. В., Усманов А. И., Усманова В. А.* Биоэнергетика на основе торфа / Уральская горная школа — регионам: Сборник докладов международной научно-практической конференции. — Екатеринбург, 2016. — С. 553—554.

5. *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.

6. *Konstantinova E., Brunina L., Persevica A.* Sustainable management of peat extraction fields / Environment Technology Resources Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. 2019, vol. 1, pp. 114—117. DOI: 10.17770/etr2019vol1.4116.

7. *Лях Д. Д., Худякова И. Н., Иванов С. Л.* Обоснование параметров модуля формования торфяного сырья и энергомассовых характеристик комплекса оборудования по добыче и переработке торфа // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 6. — С. 93—108. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_6_0_93.

8. *Заровняев Б. Н., Попов В. Ф., Шубин Г. В., Будикина М. Е., Соколова М. Д.* Перспективы освоения месторождений торфа Арктических и Субарктических районов России // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 6. — С. 168—177. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-168-177.

9. *Ivanova P., Ivanov S., Mikhailov A., Shishlyannikov D.* Extraction mechanization of soft soils // Journal of Applied Engineering Science. 2021, vol. 19, no. 3, pp. 610—617.

10. *Михайлов А. В.*, *Гармаев О. Ж.*, *Федоров А. С.*, *Гарифуллин Д. Р.* Эффективность карьерной добычи торфа с полевым механическим обезвоживанием // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 7. — С. 30—41. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-07-0-30-41.

11. *Лебедева А. И.*, *Макаров С. А.* Проблема искусственного обезвоживания торфа / Теоретические исследования и экспериментальные разработки студентов и аспирантов: Сборник научных трудов. — Тверь, 2018. — С. 136—140.

12. *Горячев В. И.* Искусственное обезвоживание торфа: Монография. — Тверь: ТвГТУ, 2012. — 183 с.

13. *Chmielewska I.* Effect of fibre content on the geotechnical properties of peat // Studia Geotechnica et Mechanica. 2023, pp. 1—11. DOI: 10.2478/sgem-2023-0003.

14. *Бондарев Ю. Ю.*, *Иванов С. Л.* Создание оборудования горно-энергетического комплекса для производства топлива из торфяного сырья / Современные технологии в горном машиностроении: Сборник научных трудов семинара. — М.: МГГУ, 2014. — С. 421—427.

15. *Jucha W., Mareczka P., Okupny D.* Using remote sensing materials to assess the effects of peat extraction on the morphology and vegetation cover of a raised bog // Mires and Peat. 2020, vol. 26, pp. 19. DOI: 10.19189/MaP.2019.OMB.StA.1835.

16. *Yaltanets I. M.*, *Dementyev V. A.*, *Kazakov 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, pp. 652—658.

17. *Барбин М. Б.*, *Долина Л. Ф.*, *Каминский В. С.*, *Сафронова К. И.*, *Соколова М. С.* Интенсификация процессов обезвоживания. — М.: Недра, 1982. — 224 с.

18. *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.

19. *Lekomtsev A. V.*, *Ilyushin P. Y.*, *Stepanenko I. B.*, *Mekhanoshina O. R.*, *Bakaneev V. S.*, *Korobov G. Y.*, *Kang W.* Technology of stable water-oil emulsion breaking by magnetic impact // Chemical and Petroleum Engineering. 2021, vol. 57, no. 1-2, pp. 98—105. DOI: 10.1007/ s10556-021-00901-4.

20. *Классон Р. Э.*, *Кирпичников В. Д.*, *Стадников Г. Л.*, *Ефимов П. Н.*, *Мокрашанский Б. В.*, *Леман М. Н.*, *Ремизов Л. А.* Гидроторф. Ч. 1—4, кн. 2. М.: Науч.-техн. упр. В.С.Н.Х. СССР, 1923—1927. — 298 с.

21. *Сорокина И. Д.*, *Дресвянников А. Ф.* Синтез и оценка эффективности использования железо-алюминиевого коагулянта для очистки воды // Вестник Казанского технологического университета. — 2009. — № 4. — С. 146—158.

22. *Кузубова Л. И.*, *Морозов С. В.* Очистка нефтесодержащих сточных вод: аналитический обзор. — Новосибирск: СО РАН, ГПНТБ, НИОХ, 1992. — 72 с.

23. *Морозов В. В.*, *Фомин В. Н.* Обезвоживание сапропеля магнитной обработкой // Техника в сельском хозяйстве. — 1993. — № 5-6. — С. 31.

24. *Классен В. И.* Омагничивание водных систем. — М.: Химия, 1978. — 240 с.

25. *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.

26. *Вагапова Э. А.*, *Худякова И. Н.*, *Иванов С. Л.* Обоснование и выбор оборудования для первичного обезвоживания торфяного сырья при его гидромеханизированной добыче из неосушенной залежи // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № S18. — С. 3—11. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-7-18-3-11.

27. *Шерстнев В. И.*, *Усманов А. И.* Исследование влияния качественной характеристики торфа на процесс обезвоживания // Теория и практика мировой науки. — 2018. — № 5. — С. 48—51.

28. *Шерстнев В. И.*, *Лебзин М. С.*, *Резник М. А.*, *Галембо А. А.* Исследование процессов обезвоживания с учетом изменения параметров прессования / Уральская горная школа — регионам: Сборник докладов международной научно-практической конференции. — Екатеринбург, 2017. — С. 622—623.

29. *Михеев И. И.*, *Горячев В. И.*, *Щербакова Д. М.* Аналитическое обоснование рациональных конструкторско-технологических параметров ленточно-роликового пресса для обезвоживания торфа // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Технические науки. — 2019. — № 3(3). — С. 64—70.

30. *Шерстнев В. И.*, *Лебзин М. С.* Влияние водных свойств и структуры торфа на процесс его механического обезвоживания / Экономические, экологические и социальные проблемы горной промышленности Урала: Сборник научных статей. — Екатеринбург, 2017. — С. 128—131.

31. *Горячев В. И.*, *Михеев И. И.*, *Яблонев А. Л.*, *Фомин К. В.* Выбор пресса для обезвоживания торфа в технологии фракционирования торфяного сырья гидроразмывом // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № S38. — С. 22—30. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-7-38-22-30.

32. *Ivanov S. L.*, *Khudyakova I. N.*, *Vagapova E. A.*, *Ivanova P. V.* 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. DOI: 10.1088/1742-6596/1753/1/012048.

33. *Великанов В. С.* Прогнозирование нагруженности рабочего оборудования карьерного экскаватора по нечетко-логистической модели // Записки Горного института. — 2020. — Т. 241. — С. 29—36. DOI: 10.31897/PMI.2020.1.29.

34. *Михайлов А. В.*, *Родионов Е. А.*, *Звонарев И. Е.* Анализ условий вертикальной выемки торфяного сырья // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 1. — С. 48—54. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-01-0-48-54.

35. *Ivanov S. L.*, *Ivanova P. V.*, *Kuvshinkin S. Yu.* Evaluation of working hours of quarry excavators of a promising model range in real operating conditions // Journal of Mining Institute. 2020, vol. 242, pp. 29—36. DOI: 10.31897/PMI.2020.2.228.

36. *Kuvshinkin S. Y.*, *Ivanova P. V.* Developing a methodology for estimation of excavation techniques for given operating conditions // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019, vol. 378, no. 1, article 012121. DOI: 10.1088/1755-1315/378/1/012121.

37. *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.

38. *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.

39. *Штин С. М.* Гидромеханизированная добыча торфа и производство торфяной продукции энергетического назначения. — М.: Изд-во «Горная книга», 2012. — 360 с.

40. *Штин С. М.* Инновационные технологии в гидромеханизации горных и строительных работ // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2012. — СВ 1. — С. 377—378. ГИАБ

REFERENCES

1. Valiev N. G. O., 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].

2. Piirainen V. Yu., Mikhaylov A. V., Barinkova A. A. The concept of modern ecosystem for the Ural aluminium smelter. *Tsvetnye Metally*. 2022, no. 7, pp. 39—45. [In Russ]. DOI: 10.17580/tsm.2022.07.04.

3. Dement'ev V. A. *Ekspluatatsiya obvodnennykh mestorozhdeniy* [Exploitation of flooded deposits], Moscow, Izd-vo «Gornaya kniga», 2010, 208 p.

4. Tyabotov I. A., Gorbunov A. V., Usmanov A. I., Usmanova V. A. Bioenergy based on peat. *Ural'skaya gornaya shkola — regionam: Sbornik dokladov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Ural mining school-regions: collection of reports of the international scientific and practical conference], Ekaterinburg, 2016, pp. 553—554.

5. 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.

6. Konstantinova E., Brunina L., Persevica A. Sustainable management of peat extraction fields. *Environment Technology Resources Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. 2019, vol. 1, pp. 114—117. DOI: 10.17770/etr2019vol1.4116.

7. Lyakh D. D., Khudyakova I. N., Ivanov S. L. Justification of peat block-making module parameters and mass/power characteristics for peat production machinery. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 6, pp. 93—108. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_6_0_93.

8. Zarovnyaev B. N., Popov V. F., Shubin G. V., Budikina M. E., Sokolova M. D. Prospects of peat development in the Arctic and Subarctic zones of Russia. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 6, pp. 168—177. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-168-177.

9. Ivanova P., Ivanov S., Mikhailov A., Shishlyannikov D. Extraction mechanization of soft soils. *Journal of Applied Engineering Science*. 2021, vol. 19, no. 3, pp. 610—617.

10. Mikhailov A. V., Garmaev O. J., Fedorov A. S., Garifullin D. R. Efficiency of open cast peat mining with mechanical field dewatering. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 7, pp. 30—41. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236- 1493-2019-07-0-30-41.

11. Lebedeva A. I., Makarov S. A. The problem of artificial peat dehydration. *Teoreticheskie issledovaniya i eksperimental'nye razrabotki studentov i aspirantov: Sbornik nauchnykh trudov* [Theoretical research and experimental developments of students and phD students: collection of scientific papers], Tver, 2018, pp. 136—140.

12. Goryachev V. I. *Iskusstvennoe obezvozhivanie torfa*: Monografiya [Artificial dehydration of peat: monograph], Tver, TvGTU, 2012, 183 p.

13. Chmielewska I. Effect of fibre content on the geotechnical properties of peat. *Studia Geotechnica et Mechanica*. 2023, pp. 1—11. DOI: 10.2478/sgem-2023-0003.

14. Bondarev Yu. Yu., Ivanov S. L. Creation of equipment for mining and energy complex for the production of fuel from peat raw materials. *Sovremennye tekhnologii v gornom mashinostroenii: Cbornik nauchnykh trudov seminara* [Modern technologies in mining engineering: a collection of scientific papers of the seminar], Moscow, MGGU, 2014, pp. 421—427.

15. Jucha W., Mareczka P., Okupny D. Using remote sensing materials to assess the effects of peat extraction on the morphology and vegetation cover of a raised bog. *Mires and Peat*. 2020, vol. 26, pp. 19. DOI: 10.19189/MaP.2019.OMB.StA.1835.

16. Yaltanets I. M., Dementyev V. A., Kazakov 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, pp. 652—658.

17. Barbin M. B., Dolina L. F., Kaminskiy V. S., Safronova K. I., Sokolova M. S. *Intensifikatsiya protsessov obezvozhivaniya* [Intensification of dehydration processes], Moscow, Nedra, 1982, 224 p.

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

19. Lekomtsev A. V., Ilyushin P. Y., Stepanenko I. B., Mekhanoshina O. R., Bakaneev V. S., Korobov G. Y., Kang W. Technology of stable water-oil emulsion breaking by magnetic impact. *Chemical and Petroleum Engineering*. 2021, vol. 57, no. 1-2, pp. 98—105. DOI: 10.1007/ s10556-021-00901-4.

20. Klasson R. E., Kirpichnikov V. D., Stadnikov G. L., Efimov P. N., Mokrashanskiy B. V., Leman M. N., Remizov L. A. *Gidrotorf* [Gidrotorf], part 1 — 4, book 2, Moscow, 1923 — 1927, 298 p.

21. Sorokina I. D., Dresvyannikov A. F. Synthesis and evaluation of the effectiveness of the use of iron-aluminum coagulant for water purification. *Bulletin of Kazan Technological University*. 2009, no. 4, pp. 146 — 158. [In Russ].

22. Kuzubova L. I., Morozov S. V. *Ochistka neftesoderzhashchikh stochnykh vod: analiticheskiy obzor* [Purification of oily wastewater: Analytical review], Novosibirsk, 1992, 72 p.

23. Morozov V. V., Fomin V. N. Sapropel dehydration by magnetic treatment. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*. 1993, no. 5-6, pp. 31.

24. Klassen V. I. *Omagnichivanie vodnykh sistem* [Magnetization of water systems], Moscow, Khimiya, 1978, 240 p.

25. 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.

26. Vagapova E. A., Khudyakova I. N., Ivanov S. L. Justification and selection of equipment for primary dewatering of peat raw materials during its hydro-mechanized extraction from an unsaturated deposit. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. S18, pp. 3 — 11. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-7-18-3-11.

27. Sherstnev V. I., Usmanov A. I. Investigation of the influence of qualitative characteristics of peat on the dewatering process. *Theory and practice of the world science*. 2018, no. 5, pp. 48 — 51. [In Russ].

28. Sherstnev V. I., Lebzin M. S., Reznik M. A., Galembo A. A. Study of the processes of dehydration, taking into account changes of parameters of pressing. *Ural'skaya gornaya shkola — regionam: Sbornik dokladov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Ural mining school-regions: collection of reports of the international scientific and practical conference], Ekaterinburg, 2017, pp. 622 — 623.

29. Mikheev I. I., Goryachev V. I., Shcherbakova D. M. Analytical substantiation of rational design and technological parameters of a belt-roller press for peat dewatering. *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Technical Science»*. 2019, no. 3(3), pp. 64 — 70.

30. Sherstnev V. I., Lebzin M. S. Influence of water properties and structure of peat on the process of its mechanical dehydration. *Ekonomicheskie, ekologicheskie i sotsial'nye problemy gornoy promyshlennosti Urala: Sbornik nauchnykh statey* [Economic, environmental and social problems of the mining industry of the Urals: collection of scientific articles], Ekaterinburg, 2017, pp. 128 — 131.

31. Goryachev V. I., Mikheev I. I., Yablonev A. L., Fomin K. V. Choosing a press for dewatering peat in the technology of fractionation of peat raw materials by hydraulic. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. S38, pp. 22 — 30. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-7-38-22-30.

32. Ivanov S. L., Khudyakova I. N., Vagapova E. A., Ivanova P. V. 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. DOI: 10.1088/1742-6596/1753/1/012048.

33. Velikanov V. S. Forecasting the loading of the working equipment of a quarry excavator according to a fuzzy-logistic model. *Journal of Mining Institute*. 2020, vol. 241, pp. 29 — 36. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2020.1.29.

34. Mikhaylov A. V., Rodionov E. A., Zvonarev I. E. Analysis of conditions for vertical cutting of peat. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 1, pp. 48 — 54. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-01-0-48-54.

35. Ivanov S. L., Ivanova P. V., Kuvshinkin S. Yu. Evaluation of working hours of quarry excavators of a promising model range in real operating conditions. *Journal of Mining Institute*. 2020, vol. 242, pp. 29 — 36. DOI: 10.31897/PMI.2020.2.228.

36. Kuvshinkin S. Y., Ivanova P. V. Developing a methodology for estimation of excavation techniques for given operating conditions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019, vol. 378, no. 1, article 012121. DOI: 10.1088/1755-1315/378/1/012121.

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

38. 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.

39. Shtin S. M. *Gidromekhanizirovannaya dobycha torfa i proizvodstvo torfyanoy produktsii energeticheskogo naznacheniya* [Hydro-mechanized production of peat products for energy purposes], Moscow, Izd-vo «Gornaya kniga», 2012, 360 p.

40. Shtin S. M. Innovative technologies in hydro-mechanization of mining and construction works. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2012, special edition 1, pp. 377 — 378. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Вагапова Эльнара Абдуллаевна[1] — аспирант,
e-mail: el.rezvanova@mail.ru,
ORCID ID: 0009-0003-2296-1152,
Иванов Сергей Леонидович[1] — д-р техн. наук,
профессор, e-mail: lisalisa74@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-7014-2464,
Иванова Полина Викторовна[1] — канд. техн. наук,
доцент, e-mail: Ivanova_PV@pers.spmi.ru,
ORCID ID: 0000-0002-8338-418X,
Худякова Ирина Николаевна[1] — канд. техн. наук,
e-mail: Khudyakova_IN@pers.spmi.ru,
ORCID ID: 0000-0002-0186-659X,
[1] Санкт-Петербургский горный университет.
Для контактов: Вагапова Э.А., e-mail: el.rezvanova@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

E.A. Vagapova[1], Graduate Student,
e-mail: el.rezvanova@mail.ru,
ORCID ID: 0009-0003-2296-1152,
S.L. Ivanov[1], Dr. Sci. (Eng.),
Professor, e-mail: lisalisa74@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-7014-2464,
P.V. Ivanova[1], Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,
e-mail: Ivanova_PV@pers.spmi.ru,
ORCID ID: 0000-0002-8338-418X,
I.N. Khudyakova[1], Cand. Sci. (Eng.),
e-mail: Khudyakova_IN@pers.spmi.ru,
ORCID ID: 0000-0002-0186-659X,
[1] Saint-Petersburg Mining University
199106, Saint-Petersburg, Russia.
Corresponding author: E.A. Vagapova, e-mail: el.rezvanova@mail.ru.

Получена редакцией 23.03.2023; получена после рецензии 20.04.2023; принята к печати 10.06.2023.
Received by the editors 23.03.2023; received after the review 20.04.2023; accepted for printing 10.06.2023.