

ЭФФЕКТИВНОСТЬ КАРЬЕРНОЙ ДОБЫЧИ ТОРФА С ПОЛЕВЫМ МЕХАНИЧЕСКИМ ОБЕЗВОЖИВАНИЕМ

А.В. Михайлов¹, О.Ж. Гармаев¹, А.С. Федоров¹, Д.Р. Гарифуллин¹

¹ Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: garmaev.oyun@gmail.com

Аннотация: Цель этого исследования заключалась в анализе применения предварительного механического обезвоживания экскавированного торфяного сырья непосредственно в полевых условиях в рамках рациональной стратегии управления водными ресурсами торфяного месторождения. В естественном состоянии торфяные месторождения обводнены, количество этих вод значительно, что снижает прямое практическое использование месторождений и усложняет проведение горных работ. Вода, содержащаяся в торфяной залежи, согласно российским и зарубежным исследованиям, имеет сложный химический состав. Представлен качественный состав торфяных вод при карьерной разработке торфяных месторождений. Проведенный анализ показал, что в технологию разработки торфяных месторождений карьерным способом целесообразно включить операцию механического обезвоживания торфяного сырья. Возможности современного шнекового оборудования позволяют перерабатывать торфяное сырье с оттоком жидкой фазы. С применением шнекового пресса непрерывного действия, предварительное механическое обезвоживание позволит уменьшить влагосодержание экскавированного торфяного сырья примерно на 45%. Растет интенсивность последующей сушки окускованной торфяной продукции как в полевых, так и в заводских условиях. Отжатая вода возвращается в торфяную залежь, и отпадает необходимость строительства производственных очистных сооружений. Кроме этого, снижаются на 40% транспортные расходы на перевозку торфяного сырья. Процесс механического обезвоживания экскавированного торфяного сырья требует усовершенствования оборудования с учетом физико-механических свойств торфяного сырья.

Ключевые слова: торфяное месторождение, вода в торфе, карьерный способ добычи, водный баланс, механическое обезвоживание торфяного сырья, шнековый пресс.

Для цитирования: 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.

Efficiency of open cast peat mining with mechanical field dewatering

A.V. Mikhailov¹, O.J. Garmaev¹, A.S. Fedorov¹, D.R. Garifullin¹

¹ Saint Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia, e-mail: garmaev.oyun@gmail.com

Abstract: This study aims to analyze in-situ application of preliminary mechanical dewatering of excavated peat within strategy of efficient management of peat bog water resources. Natural peat bogs are water-encroached, and water quantity is considerable, which limits direct practical use of the deposits and complicates mining. Water in peat bogs has complex chemical composition according to Russian and foreign research. The qualitative composition of peat water during open

cast mining is presented. The implemented analysis shows that it is expedient to add the open cast technology of peat mining with operation of mechanical dewatering of peat raw material. Modern surface mining machines have capacities to treat peat with liquid phase withdrawal. With continuous-action screw press, preliminary mechanical dewatering will reduce water content of excavated peat approximately by 45%. The rate of subsequent drying of peat pellets also grows, both afield and in plant conditions. Withdrawn water is returned to peat bog, and no treatment plant is required to be constructed. Furthermore, peat haulage cost drops by 40%. The process of mechanical peat dewatering needs improvement of machinery with regard to physical and mechanical properties of peat raw material.

Key words: peat bog, peat water, open cast mining method, water balance, mechanical peat dewatering, screw press.

For citation: 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;(7):30-41. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-07-0-30-41.

Введение

Состояние водных ресурсов в целом по Российской Федерации, в последние годы улучшается недостаточно, в связи со значительным объемом сброса неочищенных сточных вод в поверхностные водные объекты. По данным Государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году» решение проблемы загрязнения окружающей среды отходами производства представляет собой комплекс серьезных проблем, требующих системного решения. В разрезе видов экономической деятельности показатель сброса сточных вод при добыче полезных ископаемых составил 1407,92 млн м³, или 3,3% от общего объема сточных вод в 2017 г. [1]. Следует подчеркнуть, что эффективная добыча полезных ископаемых зависит во многом от соответствующего решения задачи ее взаимодействий с водой [2].

Торф является важным глобальным энергетическим ресурсом, почвоулучшителем и натуральным сорбентом. Торфяное сырье, соответствует критериям интереса общества: количество ресурсов, их доступность и качество сырья [3].

В естественном состоянии торфяные месторождения обводнены, количество этих вод значительно, что снижает пря-

мое практическое использование месторождений и усложняет проведение горных работ. Согласно закону Дарси, движение воды через влажную торфяную залежь определяется, прежде всего, комбинацией гидравлической проводимости материала и гидравлическим градиентом. Торфяные месторождения остаются влажными, потому что торфяная залежь обычно отличается низкой гидравлической проводимостью, сдерживающей воду, даже при относительно высоком гидравлическом градиенте. На практике для повышения экономического потенциала торфяных месторождений необходимы мероприятия по их осушению [4]. Как правило, после осушения месторождения снижается качество торфяной воды — наблюдаются низкая щелочность, увеличенный вынос взвешенных и питательных веществ [5].

Решению проблемы обезвоживания торфяного сырья всегда уделялось много внимания в странах с большими запасами торфа. Технологические операции процесса добычи и переработки торфяного сырья могут по-разному воздействовать на качество и количество воды извлекаемой при экскавации. Хотя ежегодный объем извлечения торфяного сырья является малой частью ежегодного глобального накопления торфа, но добы-

ча торфа на региональном и местном уровнях может изменять гидрологические и природоохранные условия на торфяном месторождении [6]. Большинство традиционных классификаций торфяных месторождений отмечает источники и пути водообеспечения в управлении природой торфяных месторождений, но немногие отмечают изменчивость водообеспечения. Поэтому, важно найти лучшую практику управления освоением торфяного месторождения, которая смягчает воздействия недропользования на природные водные системы.

Цель этого исследования поэтому состоит в том, чтобы показать возможности применения предварительного механического обезвоживания экскавированного торфяного сырья непосредственно в полевых условиях в рамках рациональной стратегии управления водными ресурсами торфяного месторождения.

Вода в торфе и ее качественный состав

Основным недостатком торфа как полезного ископаемого является его высокая натуральная влажность. В естественном состоянии торфяная залежь всегда насыщена влагой: на одну единицу массы сухого вещества торфа приходится до 20 частей воды. Вода в торфяной залежи в основном слабосвязанная и может переноситься под действием различных градиентов. Удаление ее из массива торфяного месторождения осуществляется за счет гидротехнических мероприятий по осушению. Добываемое торфяное сырье обычно подвергается естественной и искусственной сушке или механическому обезвоживанию.

Высокой водоудерживающей способностью отличаются верховые торфяные месторождения. Так, в 1 м³ торфяной залежи естественного залегания, сложенной сфагновыми видами торфа, содержится до 1 тыс. л воды [7].

Карьерный способ добычи торфяного сырья в настоящее время осуществляется его выемкой со всей глубины торфяной залежи при помощи одноковшового гидравлического экскаватора [8]. При карьерном способе добычи торфяного сырья экскаватором эксплуатационная влажность торфяной залежи принимается по нормативам (табл. 1) [9, 10].

Состав и качественные показатели торфяных вод определяются типом водного питания, степенью проточности и обводненности микроландшафтов, особенностями растительного покрова и торфа. Торф относят к нетоксичным веществам 4-го класса опасности [10].

Вода, содержащаяся в торфяной залежи, согласно российским и зарубежным исследованиям [11, 12], имеет достаточно сложный химический состав (табл. 2, 3). В ее состав входят как минеральные, так и органические компоненты. Она характеризуется повышенными значениями цветности и окисляемости, что свидетельствует о значительном содержании в ней органических веществ, которые представлены в основном (на 80–90%) фульвокислотами и гуминовыми кислотами.

Воды торфяных месторождений верхового типа характеризуются высокими значениями цветности (до 92,0°) и бихроматной окисляемости (130–360 мгО₂/л). В дополнение к высокому уровню растворенного органического углерода и цветности, вода торфяного месторождения связана со многими другими качественными показателями воды. Общая минерализация торфяных вод в целом невысокая (6–60 мг/л), а содержание взвешенных веществ изменяется от 0,5 до 50 мг/л (их содержание колеблется в пределах 2–11 мг/л). Ионы магния и железа присутствуют в незначительных количествах (соответственно 0,1–3,3 и 0,01–2,0 мг/л). Анионы в воде представлены в основном гидрокарбонатными и сульфатными ионами, содержание ко-

Таблица 1

Эксплуатационная влажность торфяной залежи (%) при карьерном способе добычи торфяного сырья
Operational peat deposit moisture content (%) at open-pit peat mining

Торфяная залежь	Степень разложения торфа, %			
	15–20	21–30	31–40	41 и выше
Верховая, смешанная и переходная	89,0	88,5	88,0	87,0
Низинная	88,0	87,5	87,0	86,0

торых колеблется от нескольких до 20–40 мг/л [11].

По сравнению с другими природными водами содержание органических веществ в водах низинных месторождений высокое. Органическая часть представлена в основном фульвовыми и гуминовыми кислотами. Цветность вод низинных болот колеблется в пределах 38–235°, содержание взвешенных веществ изменяется от 5 до 127 мг/л, а показатель рН равен 5,3–7,1.

Доминирующим компонентом органического вещества торфяных вод являются фульвовые кислоты, содержание которых составляет более 55%; гуминовых кислот содержится около 13%. Воды верховых торфяных месторождений включают больше водорастворимого органического вещества, чем низинных, и сильно отличаются от них по составу.

При экскавации торфяного сырья из залежи кроме поверхностной воды включается большой объем внутризалежной

Таблица 2

Обобщенные данные химического состава вод торфяных месторождений России [11]
The summary water chemistry data of Russian peat deposits [11]

Основной показатель	Торфяное месторождение			
	верховой тип		низинный тип	
	неосушенное	осушаемое	неосушенное	осушаемое
рН	3,5 – 5,0	3,7–7,0	6,3 – 8,5	6,7–8,0
Общая минерализация, мг/л	5–40	20–100	70–600	100–300
Содержание, мг/л:				
катионов:				
Ca ²⁺	1,5–20,0	8,0–30,0	20–250	50–55
Mg ²⁺	0,1–3,0	1,0–6,0	2,0–50,0	15–20
Fe _{общ}	0,02–2,0	0,1–1,5	0,1–5,0	0,1–1,0
Na ⁺	0,40–21,0		2,9–132,0	
K ⁺	0,05–2,1		0,19–185	
анионов:				
HCO ₃ ⁻	1,5–45,0	10–80	50–400	250–325
SO ₄ ²⁻	2,5–4,0	1,5–25,0	3,5–125,0	6,5–20,0
Cl ⁻	нет	0,0–1,0	нет	0,0–1,0
NO ₂ ⁻	следы	нет	нет	0,5–1,5
NO ₃ ⁻	0,2–1,1	0,1–0,5	следы	0,5–2,0
Цветность, град	115–800	200–900	45–180	45–300
ХПК, мг О/л	70–200	80–350	30–50	30–115
БПКполн, мг О/л	не определ.	1,2–11,0	не определ.	0,8–10,0
Содержание, мг/л:				
гуминовых кислот	4–211	8–41	2–4	2–10
фульвокислот	65–185	75–300	7–30	8–85

Таблица 3

Обобщенные данные химического состава вод торфяных месторождений Северной Америки и Европы [12]

The summary water chemistry data of North Americans and European peat deposits [12]

Основной показатель	Торфяное месторождение			
	верховой тип		низинный тип	
	Канада и США (северные штаты)	Северная и Центральная Европа	Канада и США (северные штаты)	Северная и Центральная Европа
pH	3,5–4,5	3,5–4,5	5,5–8,5	5,5–8,5
Содержание, мг/л:				
катионов:				
Ca ²⁺	0,06–6,80	0,1–5,0	1,4–42,8	29–408
Mg ²⁺	0,04–2,80	0,09–2,6	0,27–47,0	1,1–125,0
Na ⁺	0,03–16,5	0,4–21,0	0,80–36,0	2,9–132,0
K ⁺	0,02–1,4	0,05–2,1	0,4–23,0	0,19–185,0
NH ₄ ⁺	0,01–2,3	0,01–0,13	0,01–0,07	0,01–0,09
анионов:				
HCO ₃ ⁻	0,001–12,0	0,001–1,2	6,3–805	нд
SO ₄ ²⁻	0,03–11,0	0,03–27,0	1,4–620,0	5,7–78,0
Cl ⁻	0,07–29,0	0,09–35,0	2,1–27,0	0,03–15,6
NO ₃ ⁻	0,02–1,7	0,02–2,4	0,01–0,01	0,01–23,0
PO ₄ ³⁻	0,01–0,05	0,01–0,10	0,01–12,0	0,01–18,0

торфяно-болотной воды с повышенным содержанием растворенных органических веществ. Высокий уровень растворенного органического углерода в воде при экскавации торфяного сырья определяется, прежде всего, наличием гуминовых веществ. Воды после отжима механическим способом торфяного сырья содержат, кроме этого, значительное количество взвешенных веществ органического происхождения. Происходит взмучивание торфяной воды, т.е. загрязнение ее взвешенными веществами органического происхождения — частицами торфа, состоящими из неразложившихся остатков растений-торфообразователей и аморфного гумуса. Вся сумма органических веществ (как в растворенном, так и во взвешенном состоянии) при водоотведении после механического обезвоживания поступает в канализацию или в водоприемники и может способствовать их быстрому заилению и нарушению кислородного режима водоприемников.

Повышенное до 150 мг/л содержание взвешенных веществ в водах после

механического обезвоживания торфяного сырья указывает на необходимость строительства производственных очистных сооружений цехов по переработке торфяного сырья. Согласно [13] изменяющийся состав растворенного органического углерода в торфяной воде представлен большей пропорцией растворимых, гидрофильных частей, которые все труднее удалять коагуляцией при очистке воды. Проведенные исследования показывают, что интегрированный анализ гидрохимических данных с территориальными переменными — полезный инструмент для обоснования природоохранных технологий и управления торфяными месторождениями [14].

Технологические особенности карьерного способа добычи

При карьерном способе добычи торфяного сырья разрабатывается сравнительно небольшой участок торфяного месторождения, нежели при поверхностно-послойном способе. Данный способ добычи является более рациональным

и экономичным для внедрения в технологию разработки торфяного месторождения методов интенсификации полевой сушки сырья.

Значительное влияние на качественные показатели торфяной воды оказывает осушение торфяного месторождения. Концентрации взвешенных веществ, растворенного органического углерода и питательных веществ обычно увеличиваются во время извлечения торфяного сырья по сравнению с концентрациями в неосушенных или осушаемых торфяных месторождениях [15]. Неблагоприятное воздействие карьерного способа экскавации торфяного сырья на водные ресурсы заметно меньше по сравнению с добычей торфа распространенным фрезерным способом. При карьерном способе экскавации торфяного сырья концентрации значительно ниже, чем при добыче торфа распространенным фрезерным способом.

В табл. 4 приведены сравнительные обобщенные данные состава вод торфяного месторождения Isosuo, Finland [16]. Данные были получены в результате сравнительных исследований карьерного и фрезерного способов добычи торфяного сырья.

Естественные открыто-водные бассейны—общая черта северных торфяных месторождений. Они характеризуются низ-

ким рН и часто высокими концентрациями растворенного органического углерода [17]. Одной из причин более низких концентраций загрязнений в воде является то, что в торфяном карьере после выемки торфяного сырья экскаватором происходит седиментация взвешенных веществ [18]. Площадь месторождения под карьером в 20 раз меньше, чем при поверхностно-послойном фрезерном способе. Добыча торфяного сырья карьерным способом приводит к меньшему долгосрочному воздействию на окружающую среду и климат по сравнению с широко применяемым фрезерным способом [18].

Многолетняя практика промышленной добычи торфяного сырья показала, что уменьшение влагосодержания торфа на всех стадиях его добычи и последующей переработки возможно несколькими путями: фильтрация при осушении торфяного месторождения; естественная сушка экскавированного торфяного сырья в полевых условиях; механическое обезвоживание и искусственная сушка в специальных установках в заводских условиях.

В основе всех технологий по искусственному обезвоживанию торфяного сырья лежит способ механического отжима влаги в специальных стационарных установках [19].

Обобщенные данные состава вод торфяного месторождения Isosuo, Finland
The summary water chemistry data of peat deposit Isosuo, Finland

Качественные показатели воды	Способы добычи торфяного сырья	
	карьерный	фрезерный
Взвешенные вещества, мг/л	12	19
Р _{ОУ} , мг/л	27	49
N _{общ} , мкг/л	1396	2178
NH ₄ ⁺ , мкг/л	397	665
NO ₃ ⁻ , мкг/л	375	381
P _{общ} , мкг/л	41	58
PO ₄ ³⁻ , мкг/л	9	25

Следует заметить, что исследования по искусственному обезвоживанию торфа проводились преимущественно с целью получения из него топлива. В дальнейшем возникла необходимость круглогодичного производства высококачественной продукции из торфа низкой степени разложения для агропромышленного использования. Результаты предыдущих работ и специально проведенные исследования по обезвоживанию торфяного сырья показали целесообразность его механического обезвоживания [20].

Например, при заводском методе производства торфяных гранулированных мелиорантов с программой выпуска 35 тыс. т в год, объем экскавированного из торфяной залежи торфяного сырья составляет около 240 тыс. м³. В обычных условиях данный объем торфяного сырья при влажности 88% транспортируется в цех на предварительное механическое обезвоживание, дальнейшую механическую переработку и сушку готовой продукции.

Проведение предварительного механического обезвоживания этого количества экскавированного торфяного сырья непосредственно в полевых условиях с 88% до 80% позволит вернуть обратно в торфяную залежь 84 тыс. т воды. Дальнейшее обезвоживание торфяного сырья происходит в цеховых условиях путем искусственной сушки при производстве гранулированной продукции.

Кроме этого, предварительное механическое обезвоживание торфяного сырья в полевых условиях позволяет снизить на 40% транспортные расходы на перевозку менее влажного сырья в цех переработки.

На рисунке показано пооперационное изменение баланса воды и сухого вещества в торфяном сырье при производстве окускованной торфяной продукции (гранулированных мелиорантов). Водный баланс всего процесса объеди-

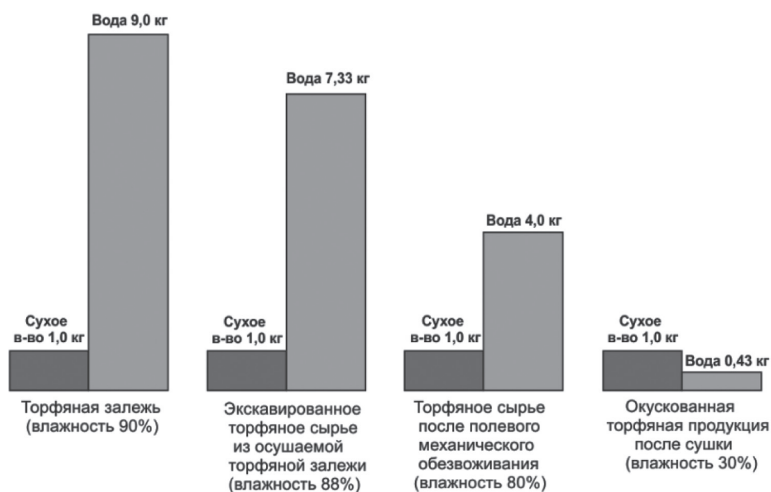
няет отдельные балансы через различные операции в одну модель. При осушении торфяной залежи ее влагосодержание снижается с 9,00 до 7,33 кгв/кгсв (снижение влаги с 90% до 88%).

Введение технологической операции механического обезвоживания экскавированного торфяного сырья непосредственно в полевых условиях позволяет понизить влагосодержание торфяного сырья с 7,33 до 4,00 кгв/кгсв (снижение влаги с 88% до 80%). Торфяное сырье с таким влагосодержанием подвергается в заводских условиях механической переработке и окончательной искусственной сушке до конечной влажности 30%.

Ряд гидрологических и природоохранных проблем могут отмечаться при утилизации жидких отходов предприятий по переработке влажного торфяного сырья [2]. Сброс вод, полученных в результате осушения месторождения, должен производиться только после их осветления, а в необходимых случаях — после очистки от вредных примесей [21]. Следует отметить, что предварительное механическое обезвоживание экскавированного торфяного сырья непосредственно в полевых условиях снижает техногенную нагрузку на окружающую среду. В этом случае отпадает необходимость строительства больших производственных очистных сооружений для очистки отжатой торфяной воды перед сбросом ее в канализацию и в существующие водоприемники.

Механически отжатая торфяная вода, включающая амины, гуминовые кислоты, минеральные компоненты, гидрокарбонатные, магниевые-кальциевые, натриевые соли, может служить дополнительным сырьем для получения биологически активных препаратов [22].

Анализ изменения баланса воды и сухого вещества в торфяном сырье указывает на целесообразность введения дополнительной операции предваритель-



Изменение баланса воды в торфяном сырье при производстве окускованной торфяной продукции
Change of water balance in peat raw materials by production of peat granules

ного механического обезвоживания экскавированного торфяного сырья в полевых условиях, что позволит в целом существенно снизить энергозатраты при производстве торфяной продукции.

Оборудование для механического обезвоживания

Процесс удаления влаги механическим путем во многом определяется не только структурными свойствами торфяного сырья, но и энергией связи воды с сухим веществом торфа. Для верхового торфа низкой степени разложения установлено, что наибольшее количество влаги имеет механическую форму удерживания, энергия связи которой с сухим веществом чрезвычайно мала. Количество прочно связанной физико-механической воды, не поддающейся механическому отжиму, составляет всего 25–30%. Однако, как показывает практика, несмотря на свободное состояние основной массы воды в торфе механическое обезвоживание его трудно осуществимо. Экспериментальные данные большого количества исследователей показывают, что около 80% воды, содержащейся в естественном торфяном сырье, можно уда-

лить прессованием при давлениях до 2,0–2,5 МПа [23]. При механическом удалении влаги из торфяного сырья расход энергии на два порядка ниже, чем при ее испарении во время сушки.

Механическое обезвоживание торфяного сырья проводилось на целом ряде устройств, включая фильтр-прессы, роликовые, ленточные прессы и шнековые прессы. Эффективность процесса по снижению влаги при этом достигает 75–80%, в зависимости от типа торфа, его степени разложения и применяемого оборудования [24].

Перспективной технологией с точки зрения снижения энергоемкости производства является технология механического обезвоживания экскавированного торфяного сырья в шнековом прессе непрерывного действия [25]. Предварительное обезвоживание торфяного сырья может быть хорошей альтернативой при правильном выборе оборудования, несмотря на дополнительные капитальные расходы.

Основными аспектами оценки использования оборудования по механическому обезвоживанию являются капитальные затраты и эффект обезвоживания.

Наряду с появлением дополнительных капитальных и эксплуатационных затрат на приобретение и обслуживание шнекового пресса имеет место быть значительная экономия на транспортных расходах при перевозке обезвоженного торфяного сырья. После обезвоживания в шнековом прессе торфяное сырье становится уплотненным. Значительная экономия капитальных вложений обеспечивается при этом отсутствием в цехе по переработке торфяного сырья очистных сооружений по очистке отжатой воды перед ее сбросом в канализацию или естественный водоприемник.

Практический опыт применения шнековых прессов в горной промышленности показывает, ряд преимуществ перед другими видами оборудования по механическому обезвоживанию:

- непрерывность процесса;
- эффективность процесса обезвоживания;
- минимальная материалоемкость и энергоемкость;
- простота конструктивного исполнения;
- удобство при обслуживании и ремонте;
- меньшие габариты и требования к установке.

Проанализировав характеристики различного оборудования для обезвоживания [26], можно сделать вывод, что шнековый пресс соответствует критериям выбора и подходит для механического обезвоживания торфяного сырья в полевых условиях.

Шнековые прессы хорошо масштабируемы, что делает их идеальным выбором для монтажа на мобильной платформе-прицепе для перемещения по территории карьера.

Заключение

Показаны возможности применения предварительного механического обез-

воживания экскавированного торфяного сырья непосредственно в полевых условиях в рамках рациональной стратегии управления водными ресурсами торфяного месторождения.

При экскавации торфяного сырья из залежи кроме поверхностной воды включается большой объем внутризалежной торфяно-болотной воды с повышенным содержанием растворенных органических веществ. Проведенный анализ показал, что в технологию разработки торфяных месторождений карьерным способом целесообразно включить операцию механического обезвоживания торфяного сырья. Возможности современного шнекового оборудования позволяют перерабатывать торфяное сырье с оттоком жидкой фазы.

Анализ изменения баланса воды и сухого вещества в торфяном сырье показал, что предварительное механическое обезвоживание экскавированного торфяного сырья в полевых условиях может снизить энергозатраты при производстве торфяной продукции, уменьшить влагосодержание экскавированного торфяного сырья примерно на 45%. Тем самым растет интенсивность последующей сушки окускованной торфяной продукции как в полевых, так и в заводских условиях. Определено, что, несмотря на дополнительные капитальные расходы при правильном выборе оборудования по механическому обезвоживанию происходит значительная экономия капитальных вложений, исключая затраты из этапов переработки торфяного сырья на очистные сооружения. Примерно на 40% могут быть снижены транспортные расходы на перевозку менее влажного сырья для последующей переработки. Процесс механического обезвоживания экскавированного торфяного сырья требует усовершенствования оборудования с учетом физико-механических свойств торфяного сырья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году». — М.: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2018. — 888 с.
2. *Water resource management and the mining industry*. National Water Agency, Brazilian Mining Association; Antônio Félix Domingues, Patrícia Helena Gambogi Boson, Suzana Allpaz, organizers. Brasilia: ANA: IBRAM, 2013. 334 p.
3. *Krawczykowska A., Marciniak-Kowalska J.* Problems of water content in lignite's — methods of its reduction // *AGH Journal of Mining and Geoengineering*, 2012, vol. 36, No. 4. pp. 57—65.
4. *Joosten H., Clarke D.* Wise use of mires and peatlands — Background and principles including a framework for decision-making. International Mire Conservation Group. International Peat Society, 2002, 304 p.
5. *Kløve B.* Characteristics of nitrogen and phosphorus loads in peat mining wastewater // *Water Research*, 2001, 35 (10), pp. 2353—2362.
6. *Baird A. J., Eades P. A., SurrIDGE B. W. J.* The hydraulic structure of a raised bog and its implications for ecohydrological modelling of bog development // *Ecohydrology*, 2008, 1, pp. 289—298.
7. *Томсон А. Э., Наумова Г. В.* Торф и продукты его переработки; Нац. акад. наук Беларуси, Институт природопользования. — Минск: Беларуская навука, 2009. — 328 с.
8. *Mikhailov A., Kim A., Prodous O.* Peatland restoration after open pit mining / *Land Reclamation in Ecological Fragile Areas: Proceedings of the 2nd International Symposium on Land Reclamation and Ecological Restoration (LRER 2017)*, October 20—23, 2017, Beijing, PR China Edited by Zhenqi Hu. Taylor & Francis Group, CRC Press 2017. pp. 289—294.
9. *Афанасьев Е. А., Малков Л. М., Смирнов В. И.* Технология и комплексная механизация разработки торфяных месторождений. — М.: Недра, 1987. — 311 с.
10. *Инструкция по паспортизации торфяной залежи (руководящий документ РД153-12.4-001-99)*. — М.: Министерство топлива и энергетики РФ, 1999. — 7 с.
11. *Лиштван И. И., Базин Е. Т., Косов В. И.* Физические процессы в торфяных залежах. — Минск: Наука и техника, 1989. — 287 с.
12. *Bourbonniere R. A.* Review of water chemistry research in natural and disturbed peatlands // *Can. Water Resour. J.* 2009, 34, 393—414.
13. *Worrall F., Burt T. P.* Changes in DOC treatability: indications of compositional changes in DOC trends // *Journal of Hydrology*, 2009, 366, pp. 1—8.
14. *Carmen Cillero, Ramo ´n A. Dí az-Varela, Marco Rubinos, Pablo Ramil-Rego.* Assessment of anthropogenic pressures on South European Atlantic bogs (NW Spain) based on hydrochemical data // *Hydrobiologia* (2016) 774:137—154.
15. *Joensuu S., Ahti E., Vuollekoski M.* Effects of ditch network maintenance on the chemistry of run-off water from peatland forests // *Scandinavian J. For. Res.* 17, 2002. pp. 238—247.
16. *Silvan N., Silvan K., Laine J.* Excavation-drier method of energy-peat production reduces detrimental effects of this process on watercourses // *Boreal environment research* 17: 2010, pp. 347—356.
17. *Turner T. E., Billett M. F., Baird A. J., Chapman P. J., Dinsmore K. J., Holden J.* Regional variation in the biogeochemical and physical characteristics of natural peatland pools // *Sci. Total Environ.* 2016, 545, pp. 84—94.
18. *Silvan N., Silvan K., Väisänen S., Soukka R., Laine J.* Excavation-drier method of energy-peat extraction reduces long-term climatic impact // *Boreal Env. Res.* 17: 2012: 263—276.
19. *Горячев В. И.* Искусственное обезвоживание торфа: монография. — Тверь: ТвГТУ, 2012. — 183 с.
20. *Богатов Б. А.* Разработка технологии добычи торфа с искусственным обезвоживанием // *Торфяная промышленность*. — 1983. — № 1. — С. 6—9.
21. *Коллектив авторов.* Единые правила безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом (ПБ 03-498-02). Серия 03. Вып. 22. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2009. — 148 с.
22. *Шевцова С. П., Фланаган А. Г., Косолапов А. Б.* Использование природной торфяной воды для получения биологически активного продукта «Аквагумит» // *Успехи современного естествознания*. — 2009. — № 12. — С. 33—34.

23. Гармаев О.Ж., Северикова Д.Д., Михайлов А.В. Методы интенсификации полевой сушки торфяного сырья и способы ее механизации // Интернет-журнал «Науковедение». — 2017. — Т. 9. — № 3. <http://naukovedenie.ru/PDF/73TVN317.pdf>

24. Tsaros C.L. Peat dewatering: an overview. Proc. Symp. «Peat as an Energy Alternative II» Arlington, Virginia, 1–3 Dec. 1981. pp. 199–216.

25. Moreno J.J., Kendall S., Ortiz A. Dewatering options for management of fine gold tailings in Western Australian Goldfields / In RJ Jewell & AB Fourie (eds), Proceedings of the 21st International Seminar on Paste and Thickened Tailings, Australian Centre for Geomechanics, Perth, 2018, pp. 413–424.

26. Absolon V., Nieuwkerk D. Innovative use of screw press filtration in tailings dewatering plant design / in Proceedings 12th AusIMM Mill Operators' Conference, 2014, pp. 449–456.

27. ГОСТ 33162-2014. Торф низкой степени разложения. Технические условия. — М.: Стандартинформ, 2016. — 10 с.

28. Афанасьев А.Е., Малков Л.М., Смирнов В.И. и др. Технология и комплексная механизация разработок торфяных месторождений. Учебное пособие для вузов. — М.: Недра, 1987. — 311 с. **ИДБ**

REFERENCES

1. Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Rossiyskoy Federatsii v 2017 godu» [State report «On the state and environmental protection of the Russian Federation in 2017»], Moscow, Minprirody Rossii; NPP «Kadastr», 2018, 888 p. [In Russ].

2. *Water resource management and the mining industry*. National Water Agency, Brazilian Mining Association; Antônio Félix Domingues, Patrícia Helena Gambogi Boson, Suzana Allpaz, organizers. Brasilia: ANA: IBRAM, 2013. 334 p.

3. Krawczykowska A., Marciniak-Kowalska J. Problems of water content in lignite's — methods of its reduction. *AGH Journal of Mining and Geoengineering*, 2012, vol. 36, No. 4. pp. 57–65.

4. Joosten H., Clarke D. *Wise use of mires and peatlands — Background and principles including a framework for decision-making*. International Mire Conservation Group. International Peat Society, 2002, 304 p.

5. Kløve B. Characteristics of nitrogen and phosphorus loads in peat mining wastewater. *Water Research*, 2001, 35 (10), pp. 2353–2362.

6. Baird A.J., Eades P.A., Surridge B.W.J. The hydraulic structure of a raised bog and its implications for ecohydrological modelling of bog development. *Ecohydrology*, 2008, 1, pp. 289–298.

7. Tomson A.E., Naumova G.V. *Torf i produkty ego pererabotki* [Peat and products of its processing], Minsk, Belarusskaya navuka, 2009, 328 p.

8. Mikhailov A., Kim A., Prodous O. Peatland restoration after open pit mining. *Land Reclamation in Ecological Fragile Areas: Proceedings of the 2nd International Symposium on Land Reclamation and Ecological Restoration (LRER 2017)*, October 20–23, 2017, Beijing, PR China Edited by Zhenqi Hu. Taylor & Francis Group, CRC Press 2017. pp. 289–294.

9. Afanas'ev E.A., Malkov L.M., Smirnov V.I. *Tekhnologiya i kompleksnaya mekhanizatsiya razrabotki torfyanykh mestorozhdeniy* [Technology and integrated mechanization of peat mining], Moscow, Nedra, 1987, 311 p.

10. *Instruktsiya po pasportizatsii torfyanoy zalezhi (rukovodyashchiy dokument RD153-12.4-001-99)* [Guidelines on peat deposit certification (Regulating Document RD 153-12.4-001-99)], Moscow, Ministerstvo topliva i energetiki RF, 1999, 7 p.

11. Lishtvan I.I., Bazin E.T., Kosov V.I. *Fizicheskie protsessy v torfyanykh zalezhakh* [Physical processes in peat deposits], Minsk, Nauka i tekhnika, 1989, 287 p.

12. Bourbonniere R.A. Review of water chemistry research in natural and disturbed peatlands. *Can. Water Resour. J.* 2009, 34, 393–414.

13. Worrall F., Burt T.P. Changes in DOC treatability: indications of compositional changes in DOC trends. *Journal of Hydrology*, 2009, 366, pp. 1–8.

14. Carmen Cillero, Ramo'n A. Di'az-Varela, Marco Rubinos, Pablo Ramil-Rego. Assessment of anthropogenic pressures on South European Atlantic bogs (NW Spain) based on hydrochemical data. *Hydrobiologia* (2016) 774:137–154.

15. Joensuu S., Ahti E., Vuollekoski M. Effects of ditch network maintenance on the chemistry of run-off water from peatland forests. *Scandinavian J. For. Res.* 17, 2002. pp. 238–247.

16. Silvan N., Silvan K., Laine J. Excavation-drier method of energy-peat production reduces detrimental effects of this process on watercourses. *Boreal environment research* 17: 2010, pp. 347–356.

17. Turner T. E., Billett M. F., Baird A. J., Chapman P. J., Dinsmore K. J., Holden J. Regional variation in the biogeochemical and physical characteristics of natural peatland pools. *Sci. Total Environ.* 2016, 545, 84–94.

18. Silvan N., Silvan K., Väisänen S., Soukka R., Laine J. Excavation-drier method of energy-peat extraction reduces long-term climatic impact. *Boreal Env. Res.* 17: 2012: 263–276.

19. Goryachev V. I. *Iskusstvennoe obezvozhivanie torfa: monografiya* [Artificial dewatering of peat: monograph], Tver', TvGTU, 2012, 183 p.

20. Bogatov B. A. Development of peat extraction technology with artificial dehydration. *Torfy-anaya promyshlennost'*. 1983, no 1, pp. 6–9. [In Russ].

21. Kollektiv avtorov. *Edinye pravila bezopasnosti pri razrabotke mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh otkrytym sposobom (PB 03-498-02). Seriya 03. Vyp. 22* [Group of authors. Uniform safety rules at development of mineral deposits by open method (PB 03-498-02). Series 03. Issue 22], Moscow, ZAO NTTS PB, 2009, 148 p. [In Russ].

22. Shevtsova S. P., Flanagan A. G., Kosolapov A. B. The use of natural peat water to produce biologically active product «Aquaholic». *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2009, no 12, pp. 33–34. [In Russ].

23. Garmaev O. Zh., Severikova D. D., Mikhaylov A. V. Methods of intensification of field drying of peat raw materials and methods of its mechanization. *Internet-zhurnal «Naukovedenie»*. 2017. Vol. 9, no 3. <http://naukovedenie.ru/PDF/73TVN317.pdf>. [In Russ].

24. Tsaros C. L. Peat dewatering; an overview. *Proc. Symp. «Peat as an Energy Alternative II»* Arlington, Virginia, 1–3 Dec. 1981. pp. 199–216.

25. Moreno J. J., Kendall S., Ortiz A. Dewatering options for management of fine gold tailings in Western Australian Goldfields. In RJ Jewell & AB Fourie (eds), *Proceedings of the 21st International Seminar on Paste and Thickened Tailings*, Australian Centre for Geomechanics, Perth, 2018, pp. 413–424.

26. Absolon V., Nieuwkerk D. Innovative use of screw press filtration in tailings dewatering plant design, in *Proceedings 12th AusIMM Mill Operators' Conference*, 2014, pp. 449–456.

27. *Torf nizkoy stepeni razlozheniya. Tekhnicheskie usloviya. GOST 33162-2014* [Peat low degree of decomposition. Technical conditions. State Standart 33162-2014], Moscow, Standartin-form, 2016, 10 p.

28. Afanas'ev A. E., Malkov L. M., Smirnov V. I. *Tekhnologiya i kompleksnaya mekhanizatsiya razrabotki torfyanykh mestorozhdeniy*. Uchebnoe posobie dlya vuzov [Technology and complex mechanization of peat deposits development. Higher educational aid], Moscow, Nedra, 1987, 311 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Михайлов Александр Викторович¹ — д-р техн. наук, профессор,

Гармаев Оюн Жаргалович¹ — аспирант,

e-mail: garmaev.oyun@gmail.com,

Федоров Александр Сергеевич¹ — аспирант,

Гарифуллин Дамир Раилевич¹ — аспирант,

¹ Санкт-Петербургский горный университет.

Для контактов: Гармаев О.Ж., e-mail: garmaev.oyun@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

A.V. Mikhailov¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor,

O.J. Garmaev¹, Graduate Student,

A.S. Fedorov¹, Graduate Student,

D.R. Garifullin¹, Graduate Student,

¹ Saint Petersburg Mining University, 199106, Saint-Petersburg, Russia.

Corresponding author: O.J. Garmaev, e-mail: garmaev.oyun@gmail.com.