ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2022;(6–1):317–330
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 553.97:622.331 DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_317

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ МОБИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ДОБЫЧИ ОРГАНОГЕННОГО СЫРЬЯ КАРЬЕРНЫМ СПОСОБОМ

А. В. Михайлов[1], Ю. А. Казаков[1], Д. Р. Гарифуллин[1], О. Ю. Короткова[1], А. Агагена[1]

[1] Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, 199106, Россия

Аннотация: В результате выполненных исследований показаны преимущества системы внутрикарьерной переработки и транспортирования переработанного торфяного сырья. Эти системы позволяют проводить первичную переработку, отделять отходы производства и сокращать объемы внутрикарьерных перевозок и транспортные расходы. Рассмотрен ряд интенсивных принципов формирования структуры комплекта оборудования для добычи органогенного сырья карьерным способом. Комплектование оборудования должно базироваться на анализе предельных условий и установлении областей допустимых режимов функционирования машин. Рекомендованы основные типы мобильного выемочно-погрузочного оборудования, оборудования для измельчения и механического обезвоживания торфяного сырья, транспортных агрегатов и модуля компактирования сырья. Взаимосвязь при выборе оборудования комплекта осуществляется на основе эксплуатационного показателя – производительности. В ходе выполнения последовательных технологических операций от выемки торфяного сырья до его компактирования и сушки происходит трансформация плотности материала от 860 до 430 кг/м^3 при снижении влагосодержания от 9,0 до 1,86 кг/кг, извлечение побочных и сопутствующих продуктов. Это в свою очередь определяет размерно-массовые и энергетические параметры технологического оборудования, занятого в каждой технологической операции. Конечным продуктом является компакт – подсушенный объемный полуфабрикат из торфяного сырья для дальнейшего производства ряда продуктов агропромышленного и природоохранного назначения. Результаты выполненного исследования могут быть использованы для технического перевооружения парков технологического оборудования и выбора рационального комплекта оборудования на стадии разработки проектов освоения территорий со слабыми грунтами.

Ключевые слова: карьер, торфяное сырье, измельчение, сепарация, обезвоживание, транспортирование, мобильное оборудование, компакт.

Благодарность: Исследование выполнено за счет субсидии на выполнение государственного задания в сфере научной деятельности на 2021 год №FSRW-2020–0014.

Для цитирования: *Михайлов А. В., Казаков Ю. А., Гарифуллин Д. Р. Короткова О. Ю., Агагена А.* Анализ структуры мобильного комплекса для добычи органогенного сырья карьерным способом // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 6–1. – С. 317–330. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_317.

© А. В. Михайлов, Ю. А. Казаков, Д. Р. Гарифуллин1 О. Ю. Короткова, А. Агагена. 2022

Analysis of the mobile complex structure for organogenic materials mining by in-pit method

A. V. Mikhailov[1], Yu. A. Kazakov[1], D. R. Garufullin[1], O.Yu. Korotkova[1], A. Agaguena[1]

[1] Saint Petersburg mining university, Saint-Petersburg, 199106, Russia,
e-mail: Mikhayov_AV@pers.spmi.ru

Abstract: As a result of the studies performed, the advantages of the system of in-pit processing and transportation of processed peat are shown. These systems allow for primary processing, separation of production waste and reduce the volume of in-pit transportation and transportation costs. A number of intensive principles for the formation of the structure of a set of equipment for the extraction of organogenic materials by the in-pit method are considered. Completion of equipment should be based on the analysis of limiting conditions and the establishment of areas of permissible modes of machines operation. The main types of mobile mining and loading equipment, equipment for crushing and mechanical dewatering of peat, transport units and a module for compaction of peat are recommended. The relationship when choosing a set of equipment is based on an operational indicator — productivity. In the course of performing successive technological operations from the extraction of peat to its compaction and drying, the density is transformed from 860 to 430 kg / m^3 with a decrease in moisture content from 9.0 to 1.86 kg / kg, and by-products are extracted. This, in turn, determines the size-mass and energy parameters of the technological equipment employed in each technological operation. The final product is a compact — a dried bulk semi-finished product from peat for the further production of a number of products for agro-industrial and environmental purposes. The results of the research performed can be used for the technical re-equipment of technological equipment fleet and the selection of a rational set of equipment at the stage of developing projects for the development of territories with soft soils.

Key words: open pit, peat raw materials, grinding, separation, dewatering, transportation, mobile equipment, compact.

For citation: Mikhailov A. V., Kazakov Yu. A., Garufullin D. R., Korotkova O. Yu., Agaguena A. Analysis of the mobile complex structure for organogenic materials mining by in-pit method. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(6–1):317–330. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_317.

Введение

В настоящее время горнодобывающая промышленность сталкивается с постоянным увеличением капитальных и операционных расходов. Затраты на выемку и транспортировку сырья могут составлять до 50% всех эксплуатационных расходов добычи. Одна из сложных проблем при разработке горных работ открытым способом — выбор оптимального парка экскаваторов и самосвалов. Эта проблема включает выбор оборудования и разработку долгосрочного графика горных работ, который минимизирует транспортные и другие постоянные расходы [1].

В горнодобывающей промышленности быстро развиваются системы внутрикарьерной переработки и транспортирования переработанного сырья In-Pit Crushing and Conveying (IPCC) как альтернатива традиционной транспортной системе экскаватор–самосвал [2], которые позволяют проводить первичную переработку, отделять отходы производства и сокращать объемы внутрикарьерных перевозок и транспортные расходы [3].

Экономическая эффективность и высокая надежность систем IPCC и самосвалов по сравнению с обычными системами экскаватор — самосвал делают их более привлекательными для использования на горных работах в современных условиях [3, 4]. Адаптация IPCC технологии добычи торфяного сырья дает значительные преимущества и повышает эффективность процесса добычи путем сокращения:

- эксплуатационных и трудовых затрат;
- транспортных расходов;
- расходов топлива.

Поскольку мобильные установки расположены в карьере, размер транспортного парка может быть сокращен по сравнению с альтернативными вариантами перевозки [5]. Рассматриваемая технология [6] первичной внутрикарьерной переработки экскавированного торфяного сырья имеет следующие преимущества:

- сокращение парка транспортного оборудования;
- снижение транспортных расходов;
- возможность непрерывной переработки материала;
- возврат отжатой воды обратно в карьер.

В настоящее время промышленное освоение месторождений торфа для производства продукции агропромышленного и природоохранного комплексов требует значительных затрат на сушку экскавированного торфяного сырья. Для обеспечения заданного качества продукции в условиях карьерной добычи особое внимание уделяется интенсификации процессов, и, в первую очередь, наиболее продолжительного — естественной сушки компактированного торфяного сырья. В связи с этим актуальными являются исследования по концепции ответственной добычи и анализу существующих и альтернативных подходов к горным работам, максимальному использованию ценных компонентов месторождения (основных, второстепенных и сопутствующих) [7].

Основные характеристики существующего подхода в горной промышленности:

- относительно высокие потери ценных компонентов залежи;
- большой объем отходов;
- негативное воздействие на окружающую среду.

Основные характеристики альтернативного подхода:

- повышение уровня извлечения основного продукта/снижение потерь;
- использование побочных и сопутствующих продуктов;
- использование природоохранных методов производства.

Комплексное освоение и рациональное использование торфяных залежей можно охарактеризовать как экономически эффективное сочетание производства продукции с технологическим и природоохранным обоснованием способа добычи. При производстве торфяного сырья образуется значительное количество древесных отходов и воды. Таким образом, одной из главных задач является разработка комплексных технологий добычи и переработки органогенного сырья торфяной залежи [8].

Идея работы заключается в предварительной переработке экскавированного торфяного сырья, его механическом обезвоживании в пределах карьера с возвратом отжатой воды в карьер. Предварительно обезвоженное торфяное сырье транспортируется на специально подготовленные и осушенные площадки, которые примыкают к разрабатываемым карьерам. На них производится компактирование торфяного сырья в крупные фигуры —

компакты для повышения эффективности досушки материала в естественных условиях. Крупноразмерные компакты являются полуфабрикатом, который высыхает до кондиционной влажности на специально отведенном поле для сушки, а затем доставляется к месту хранения или на дальнейшую переработку, в зависимости от требований потребителя.

Целью работы является системный выбор структуры мобильного комплекса, включая условия эксплуатации, а также выбор типов оборудования.

Методы

Общий процесс выбора оборудования включает оценку климатических, геологических, геотехнических условий, специфичных для карьера. В рамках проведенного исследования рассмотрен ряд интенсивных принципов формирования структуры комплекта оборудования для добычи органогенного сырья карьерным способом [9, 10, 11].

1. Типы машин комплекта должны полностью соответствовать условиям функционирования, характеру технологического процесса. Например, глубина выемки торфяного сырья из залежи должна быть не менее требуемой для переработки слоя торфяной залежи. Высота разгрузки ковша экскаватора должна быть не меньше высоты приемного бункера измельчительного оборудования или кузова тракторного прицепа. Использование выемочного ковша позволяет осуществить первичное усреднение физико-механических свойств экскавируемого сырья, главным образом по плотности.

2. Комплект оборудования должен обеспечивать непрерывность технологического потока (принцип непрерывности). В случае применения выемочно-транспортного комплекта непрерывным является поток торфяного сырья от карьера до отвала.

3. Производительность комплекта определяется производительностью выемочного экскаватора как ведущей машины. Образующие комплект машины должны быть взаимосвязаны по технической производительности, являющейся главным параметром обоснования структуры комплекта оборудования. При реализации производительности ведущей машины, функционирующей на основной операции без простоев, производительность вспомогательных машин должна на 10…15% превышать её. При определении параметров перерабатывающе-перегрузочного комплекта должно быть выдержано следующее соотношение [12]:

$$Q_{в} > Q_{бп} > Q_{пи} > Q_{к} > Q_{мо} > Q_{к} > Q_{Т},$$

где $Q_{в}$ — пропускная способность ковша экскаватора, м³/ч; $Q_{бп}$ — пропускная способность системы бункер — питатель; $Q_{пи}$ — пропускная способность системы питатель — измельчитель; $Q_{к}$ — пропускная способность выдающего конвейера; $Q_{мо}$ — пропускная способность системы питатель — шнековый пресс; $Q_{к}$ — пропускная способность транспортного агрегата.

4. Принцип минимизации количества машин в комплекте. В ряде случаев целесообразно применять многофункциональные машины с набором рабочих органов.

5. Принцип предпочтения однотипным машинам в комплектах, а также машинам одних и тех же марок.

6. Транспортные машины для технологической надежности могут иметь резерв. Резервные машины могут использоваться на второстепенных работах при быстром перебазировании. Резервирование горного оборудования позволяет достичь значительной величины надежности работы карьера [12].

7. Способность рабочих органов машин быть легко настроенными на диапазон условий эксплуатации отвечает принципу адаптации к изменяющимся внешним условиям.

8. Принцип выбора параметров машин исходя из физико-механических свойств торфяной залежи и торфяного сырья является основным при формировании структуры комплекта. Конструктивные, кинематические и энергетические параметры, а также режимы эксплуатации рабочих органов машин выбираются исходя из размерно-массовых, релаксационных и прочностных свойств залежи как опорной поверхности и характеристик торфяного сырья (с учетом наличия древесных включений).

9. Принцип учета функционирования машин в допускаемых областях позволяет обоснованно проводить анализ и синтез комплексов машин, применяя математический аппарат и компьютерные системы, значительно сокращая сроки принятия решений, рассматривая машину как объект управления в единой поточной технологической системе горного производства.

10. Принцип поэтапного достижения требуемого качества продукции позволяет последовательно пооперационно влиять на качественные характеристики продукции при экскавации и переработке сырья: влагу, плотность, засоренность и др.

Изложенные принципы и условия комплектования конкретизируются в расчетных моделях формирования комплектов оборудования и систематизируют достаточно широкий диапазон приемов и методов комплексного обоснования структуры комплектов машин, ускоряющих поиск рациональных решений. В зависимости от поставленной механико-технологической задачи можно пользоваться всеми принципами одновременно или частью из них.

Анализ комплекта оборудования

Выполнение производственных процессов добычи и переработки торфяного сырья в технологическом потоке обеспечивается механизированным комплектом оборудования в рабочей зоне карьера. Основной машиной комплекта технологического потока является выемочно-погрузочная машина — одноковшовый гидравлический экскаватор на широком гусеничном ходу, производственная мощность которой определяет мощность всего комплекта.

Структура комплексной механизации разработки карьера торфяного месторождения базируется на однолинейной схеме и характеризуется общим количеством составляющего её карьерного оборудования. Выемочному экскаватору технологического потока соответствует определенный комплект карьерных перерабатывающих модулей и горнотранспортных агрегатов, обеспечивающих выполнение объема внутрикарьерной непрерывной переработки и перевозок сырья с его текущей плотностью. Комплектное построение механизации карьерных работ характеризуется примерно равной производительностью оборудования по последовательному процессу, соответствующей уровню надежности оборудования. Поточность на карьере достигается при использовании технологического оборудования непрерывного принципа действия [13]. Все машины комплекта являются полностью мобильными.

Интеграция полностью мобильных перерабатывающих модулей с ковшовой подачей должна быть увязана таким образом, чтобы потребность комплекса в исходном сырье полностью удовлетворялась с учетом потерь и отходов при измельчении и обезвоживании сырья [14]. Формирование отвала за пределами карьера позволяет

избежать жесткой зависимости перерабатывающих модулей от основных технологических процессов карьера [15].

В комплект входят два мобильных карьерных перерабатывающих модуля, построенных на одной унифицированной конструктивной базе: гусеничном шасси с автономным двигателем и выдающим конвейером. Рабочим органом первого модуля является фрезерный барабан для измельчения торфяного сырья и сепарации мелких древесных включений (рис. 1). Измельченная масса подается ленточным конвейером в модуль механического обезвоживания со шнековым прессом. Древесные отходы выкладываются в отвалы, а затем вывозятся из карьера, отжатая в прессе вода возвращается обратно в карьер, а обезвоженное сырье выгружается ленточным конвейером в кузов транспортного средства. Таким образом, происходит замена части транспортного оборудования, используемого в карьере [16].

Горнотранспортный агрегат состоит из трактора-тягача со сдвоенными флотационными шинами и двухосного полуприцепа также на сдвоенных флотационных шинах. Такое конструктивное исполнение повышает проходимость горнотранспортного агрегата на слабых грунтах. При выборе транспортных агрегатов и их основных параметров необходимо руководствоваться ограничивающими условиями эксплуатации. Предельными являются сопротивление сдвигу и удельное сопротивление слабого грунта. Использование полуприцепов рационально для коротких дистанций (менее двух километров) [17, 18].

Горнотранспортный агрегат является связующим звеном между машинами внутрикарьерного комплекта и оборудованием за пределами карьера. Торфяное сырье выгружается в отвал, из которого забирается навесным на экскаватор многофункциональным модулем для компактирования и укладки компактов на площадку сушки. Компактирование торфяного сырья проводится методом холодного одноосного прессования при давлении до 2 МПа [19].

На рис. 2 показана структурная схема мобильного комплекта оборудования по добыче торфяного сырья с блоком последующего возможного окускования путем компактирования сырья из отвала. Оборудование блока экскавации — измельчения — обезвоживания — транспортирования объединено общей производительно-

Рис. 1. Схема структуры комплекта машин
Fig.1. Machine set structure diagram

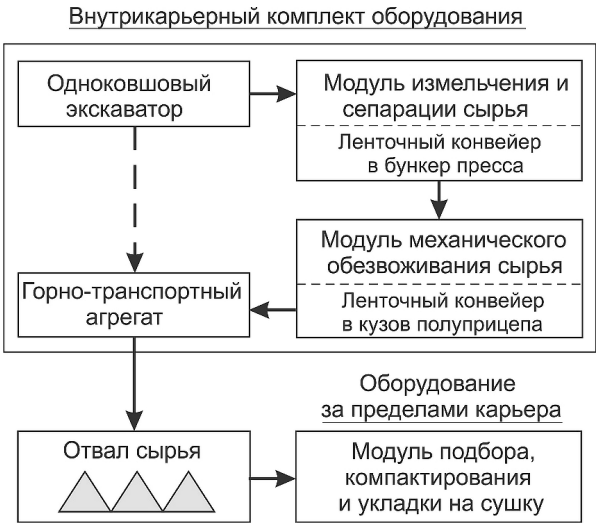

Рис. 2. Структурная схема мобильного комплекта оборудования
Fig.2. Mobile set block diagram of equipment

стью. Второй блок компактирования из отвала включает в себя операции подбора из отвала, компактирования и укладки на сушку (таблица).

Существует два варианта технологического процесса в комплексном механизированном карьере от экскавации до вывозки в отвал торфяного сырья.

Полный процесс, включающий внутрикарьерные операции:

- выемка сырья с его усреднением и сепарацией крупных древесных включений;
- измельчение сырья с его усреднением и сепарацией мелких древесных включений;
- механическое обезвоживание сырья;
- конвейерное транспортирование сырья;
- транспортирование сырья в отвал.

Упрощенный процесс:

- выемка сырья с его усреднением и сепарацией крупных древесных включений;
- транспортирование сырья в отвал.

Упрощенный процесс может найти практическое применение при производстве земляных работ с выемкой и заменой слоя слабых грунтов при организации геологоразведочных и буровых работ в условиях северного умеренного пояса и Арктики, при прокладке трубопроводов, строительстве дорог, зданий и сооружений [20, 21, 22].

Особенности технологического оборудования

В целом, комплектование оборудования должно базироваться на анализе предельных условий функционирования и установлении областей допустимых режимов функционирования машин. Из природных факторов наибольшее влияние на выбор оборудования структуры комплексной механизации оказывают влажность и прочность торфяной залежи, определяющие проходимость оборудования по слабому грунту, стратиграфия торфяной залежи, степень разложения торфа и климатические условия района добычи [13].

Поскольку структурные и функциональные связи между машинами определяют их взаимодействие в процессе эксплуатации, то эти связи можно оха-

рактеризовать структурными схемами комплектов. В соответствии с технологией горных работ комплекс оборудования обслуживает одну технологическую линию (грузопоток), т. е. его звенья соединяются последовательно [12]. При использовании единичных функциональных машин системы механизации карьера описываются простыми структурными компонентами формул [23]. Обозначив машины комплекса, выполняющие определенные функции, соответствующими символами с учетом технологических (–) и кинематических (+) связей составлена формула, структурно характеризующая схему механизации проведения карьерной выработки с внутрикарьерной первичной переработкой сырья (рис. 3).

В таблице приведено краткое описание функциональных возможностей карьерного оборудования [24]

$$\begin{array}{ccccccc} В & - & П & + & Т_к & - & М & + & Т_к & - & Т \\ & & & + & & & + & & & & \\ & & & Т_д & & & Т_в & & & & \end{array}$$

Рис. 3. Структурная формула системы механизации: В — выемочная машина (выемка торфяного сырья из залежи + погрузка в бункер- питатель измельчителя); П — первичная переработка (сепарация, измельчение); М — механическое обезвоживание торфяного сырья; Тк — конвейерная перегрузка торфяного сырья; Тд — транспортировка мелких древесных включений; Тв — транспортировка отжатой воды; Т — горнотранспортный агрегат (транспортировка горной массы из карьера)

Fig.3. Structural formula of the mechanization system: В — excavation machine (extraction of peat raw materials from the deposit + loading into the hopper-feeder of the grinder); П — primary processing (separation, grinding); М — mechanical dehydration of peat raw materials; Тк — conveyor reloading of peat raw materials; Тд — transportation of small wood inclusions; Тв — transportation of squeezed water; Т — mining transport unit (transportation of rock mass from the quarry)

при исходной плотности торфяной залежи 860 кг/м^3 и влагосодержании 9,0 кг/кг.

Анализ существующего дробильно-сортировочного оборудования показал, что за основу при рассмотрении конструктивных особенностей мобильных перерабатывающих модулей может быть взята мобильная дробилка типа ДУ серии ТТ для дробления древесных отходов компании ТОПТЕХНО на гусеничном ходу, оборудованная дизельным двигателем. В рамках модернизации конструкции происходит замена дробящих валов рабочего органа на фрезерный барабан или на шнековый пресс со снижением общей массы машины.

Системная задача барабанного фрезерного измельчителя заключается в измельчении экскавированного торфяного сырья (коэффициент измельчения ниже 1:10). После операции по обогащению получается ценный продукт (измельченное торфяное сырье) и отходы (мелкие куски древесины).

Обезвоживанию могут подвергаться не только конечные, но и промежуточные продукты обогащения для снижения затрат на транспортирование продуктов обогащения [25]. На основе анализа особенностей технологии разработки месторождений и анализа характеристик применяемого для механического обезвоживания органогенных капиллярно-пористых материалов оборудования выявлено, что для понижения влажности экскавированного торфяного сырья может использоваться его механическое обезвоживание в шнековом прессе непрерывного действия [26].

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

- непрерывность процесса;

Функциональные возможности оборудования
Equipment functionality

Оборудование	Функции	Дальность перемещения, м	Отходы	Выход отходов, %	Содержание влаги на выходе, %(кг/кг)	Плотность сырья на выходе, кг/м^3
Одноковшовый гидравлический экскаватор	Выемка с усреднением, погрузка	<20	Крупные древесные включения, вода	30	89 (8,09)	810
Мобильный измельчительно-сепарирующий модуль	Измельчение, сепарация, перегрузка	<10	Мелкие древесные включения, торф	80	89 (8,09)	765
Мобильный модуль механического обезвоживания	Обезвоживание, перегрузка в кузов ГТА	<10	Вода, гумус	45	82 (4,56)	570
Горнотранспортный агрегат (ГТА)	Транспортирование в отвал	> 500	—	—	82 (4,56)	580
Навесной многофункциональный модуль	Подбор из отвала	—	—	—	82 (4,56)	605
	Компактирование	—	—	—	81(4,26)	730
	Укладка	—	—	—	81 (4,26)	730
	Сушка компактов	—	Вода	45	65 (1,86)	430

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

Шнековые прессы хорошо масштабируемы, что делает их идеальным выбором для монтажа на мобильном гусеничном шасси для перемещения по территории карьера [27].

Мобильный модуль обезвоживания состоит из премного бункера, одновинтового пресса, ленточного конвейера и системы слива отжатой воды. Отделившаяся вода возвращается в карьер по гибкому трубопроводу. Уменьшается требуемое время перевозки и количество транспортных средств. Сокращение количества часов работы горнотранспортного агрегата связано со значительным сокращением объема перевозки воды [4]. Например, для производства компактированного торфяного полуфабриката с программой 40 тыс. т в год объем экскавированного торфяного сырья составляет около 150 тыс. м^3. В обычных условиях этот объем торфяного сырья с содержанием воды 89% направляется на обогатительную фабрику для измельчения, смешивания, разделения и предварительного механического обезвоживания, дальнейшей механической обработки и сушки гото-

вой продукции. Предварительное механическое обезвоживание этого количества торфяного сырья от 89% до 82% позволяет вернуть обратно в карьер 64 тыс. т воды, что на 42% снижает затраты на транспортировку из-за меньшей влажности сырья.

Карьерная технология добычи торфяного сырья может быть рентабельной доже на мелкоконтурных (до 10 га) и мелкозалежных (средняя мощность залежи до 1,0 м) торфяных месторождениях [28]. Основное требование к реализации технологического процесса заключается в максимальном приближении площадок укладки и сушки компактов к месту выемки торфяного сырья.

Заключение

В результате выполненных исследований показаны преимущества системы внутрикарьерной переработки и транспортирования переработанного сырья. Экономическая эффективность и высокая надежность систем IPCC по сравнению с традиционными системами экскаватор — самосвал делают их более привлекательными для использования в современных технологиях добычи полезных ископаемых. Данные системы позволяют проводить первичную переработку, отделять отходы производства и сокращать объемы внутрикарьерных перевозок и транспортные расходы.

Проведенный анализ структуры мобильного комплекса при добыче органогенного сырья карьерным способом может быть основанием для научных обсуждений с целью развития новых технологий, определяющих конкурентоспособность горных компаний.

Результаты выполненного исследования могут быть использованы для обновления и технического перевооружения парков технологического оборудования, выбора рационального комплекта машин и оборудования на стадии разработки проектов освоения территорий со слабыми грунтами.

Вклад авторов

В создании научной статьи принимали участие: д.т.н. *А. В. Михайлов* — генерация идеи исследования, постановка задачи исследования, предоставил фактографический обзор и помог отредактировать рукопись; аспирант *Ю. А. Казаков* — выполнение работы по систематизации материала; провел анализ данных и создал таблицы и рисунки; написание текста статьи; аспирант *Д. Р. Гарифуллин* — получение данных для анализа; аспирант *О. Ю. Короткова* — получение данных для анализа; аспирант *Агагена Абдельвахаб* — получение данных для анализа.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Burt C.*, *Caccetta L.* Equipment Selection for Surface Mining: A Review // Journal Interfaces archive. 2014, vol. 44, iss. 2, pp. 143–162. DOI: 10.1287/inte.2013.0732.

2. *Abbaspour H.*, *Drebenstedt C.*, *Paricheh M.*, *Ritter R.* Optimum location and relocation plan of semi-mobile in-pit crushing and conveying systems in open-pit mines by transportation problem // International Journal of Mining, Reclamation and Environment. URL: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/ 17480930.2018.1435968 (Accessed: 06.11.2021)

3. *Paricheh M.*, *Osanloo M.*, *Rahmanpour M.* In-pit crusher location as a dynamic location problem // The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2017, no. 117, pp. 599 — 607. DOI: 10.17159/2411 — 9717/2017/v117n6a11.

4. *Johnson M.* Impact of in-pit crushing and conveying on pit shell optimization. Deswik, 2015, pp. 1–16. URL: https://www.deswik.com/wp-content/uploads/2015/10/Impact-of-IPCC-on-Pit-Shell-Optimization.pdf, (Accessed: 11.11.2021).

5. *Dean M.*, *Knights P.*, *Kizil M. S.*, *Nehring M.* Selection and planning of fully mobile in-pit crusher and conveyor systems for deep open pit metalliferous applications // Proceedings of third international future mining conference. Sydney: AusIMM. 2015, pp. 219–225.

6. *Mikhailov A. V.*, *Garmaev O. Z.*, *Garifullin D. R.*, *Kazakov Y. A.* A potential application of in-pit crushing-conveying and dewatering system in peat mining // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2019, vol. 378, no. 1, 012086. DOI: 10.1088/1755—1315/378/1/012086.

7. *Drebenstedt C.* The responsible mining concept — contributions on the interface between science and practical needs. Mine Planning and Equipment Selection, Springer Cham, 2014, pp. 3–24. DOI :10.1007/978—3-319—02678—7_1.

8. *Яконовская Т. Б.*, *Жигульская А. И.* Эвристический подход к оценке запасов торфа на торфяном месторождении «Юрьевское» с использованием данных сетей зондирования // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2021. — № 5. — С. 157–168. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_5_0_157.

9. *Кузнецов С. М.* Теория и практика формирования комплектов и систем машин в строительстве. — М.: Берлин: Директ-Медиа, 2015. — 271 с.

10. *Михайлов А. В.*, *Иванов С. Л.*, *Габов В. В.* Формирование и эффективное использование машинного парка торфодобывающих компаний // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. — 2015. — № 14. — С. 82–91. DOI: 10.15593/224—9923/2015.14.9

11. *Баловнев В. И.* Определение параметров и выбор землеройных машин. — М.: Полиграф, 2010. — 224 с.

12. *Фомин С. И.*, *Фауль А. А.*, *Пономарёв А. И.* Оценка надёжности работы технологических схем с мобильными дробильными комплексами // Записки Горного института — 2011. — Т. 190. — С. 51–56.

13. *Ржевский В. В.* Открытые горные работы. Ч. 2. Технология и комплексная механизация. — М.: Либроком, 2010. — 551 с.

14. *Фауль А. А.* Определение параметров и показателей открытой разработки месторождений нерудных строительных материалов с использованием мобильных дробильных комплексов: Автореферат дис. ... канд. техн. наук: 25.00.21. — СПб.: С.-Петерб. горн. ун-т, 2012. 20 с.

15. *Лапшин Н. С.* Обоснование организационно-технических методов открытой разработки песчано-гравийных месторождений с использованием мобильных дробильно-сортировочных комплексов: Автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.02.22. — СПб.: С.-Петерб. горн. ун-т, 2012. 20 с.

16. *Nehring M.*, *Knights P. F.*, *Kizil M. S.*, *Hay E.* A comparison of strategic mine planning approaches for in-pit crushing and conveying, and truck/shovel systems // International Journal of Mining Science and Technology, 2018, vol. 28, pp. 205–214, DOI: 10.1016/j.ijmst.2017.12.026.

17. *Rahmanpour M.*, *Osanloo M.*, *Adibee N.*, Akbarpourshirazi, M. An approach to determine the location of an in-pit crusher in open pit mines // International Journal of Engineering (IJE) Transactions C, 2014, vol. 27, no. 9. pp. 14475–1484.

18. *Яблонев А. Л.*, *Дорогов О. В.* Обоснование параметров пневмоколесного хода пассивных прицепных машин для транспортирования фрезерного торфа // Горный информационно-аналитический бюллетень — 2015. — №7. — С. 174–177.

19. *Особов В. И.* Механическая технология кормов. — М.: Колос, 2009. — 344 с.

20. *Litvinenko V. S.*, *Dvoynikov M. V.*, *Trushko V. L.* Elaboration of a conceptual solution for the development of the Arctic shelf from seasonally flooded coastal areas // International

Journal of Mining Science and Technology. 2021, vol. 32. pp. 113–119. DOI: 10.1016/j.ijmst.2021.09.010.

21. *Ibrahim A.*, *Kim H. B.*, *Asadi A.*, *Nahazanan H.* Foundation and embankment construction in peat: an overview // Electronic Journal of Geotechnical Engineering. 2014, vol. 19, pp. 10079–10094.

22. *Munro R.*, *Evans R.*, *Saarenketo T.* Roadex II Project: Focusing on Low-Volume Roads in the European Northern Periphery // Transportation Research Board. 2007, vol. 1989—2, no. 1, pp. 292–299. DOI: 10.3141/1989—76.

23. *Воронова Э. Ю.* Перспективы развития агрегатированных проходческих систем // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2014. — № 3. — С. 56–64.

24. *Zimmermann E.*, *Kruse W.* Mobile crushing and conveying in quarries — a chance for better and cheaper production // Proceedings of the International Symposium on Continuous Surface Mining, Aachen. 2006, pp. 1–7.

25. *Науменко В. Г.*, *Самойлик В. Г.*, *Звягинцева Н. А.*, *Назимко Е. И.* Обезвоживание продуктов обогащения полезных ископаемых. — Донецк: ДОННТУ, 2019. — 183 с.

26. *Moreno J. J.*, *Kendall S.*, *Ortiz A.* Dewatering options for management of fine gold tailings in Western Australian Goldfelds // Proceedings of the 21st International Seminar on Paste and Thickened Tailings, Australian Centre for Geomechanics, Perth. 2018, pp. 413–424.

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

28. *Кремчеев Э. А.* Особенности структуры комплекса технологических операций при экскаваторной добыче торфа со стадийным обезвоживанием сырья // Записки Горного института. — 2018. — Т. 231. — С. 225–234. DOI:10.25515/PMI.2018.3.225. ГИАБ

REFERENCES

1. Burt C., Caccetta L. Equipment Selection for Surface Mining: A Review. *Journal Interfaces archive*. 2014, vol. 44, iss. 2, pp. 143–162. DOI: 10.1287/inte.2013.0732.

2. Abbaspour H., Drebenstedt C., Paricheh M., Ritter R. Optimum location and relocation plan of semi-mobile in-pit crushing and conveying systems in open-pit mines by transportation problem. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, available at: https://www.tandfonline.com/doi/full /10.1080/ 17480930.2018.1435968 (Accessed: 06 November 2021).

3. Paricheh M., Osanloo M., Rahmanpour M. In-pit crusher location as a dynamic location problem. *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2017, no. 117, pp. 599–607.

4. Johnson M. Impact of in-pit crushing and conveying on pit shell optimization. Deswik, 2015, pp. 1–16. URL: https://www.deswik.com/wp-content/uploads/2015/10/Impact-of-IPCC-on-Pit-Shell-Optimization.pdf, (Accessed: 11.11.2021).

5. Dean M., Knights P., Kizil M. S., Nehring M. Selection and planning of fully mobile in-pit crusher and conveyor systems for deep open pit metalliferous applications. *Proceedings of third international future mining conference*. Sydney: AusIMM, 2015, pp. 219–225.

6. Mikhailov A. V., Garmaev O. Z., Garifullin D. R., Kazakov Y. A. A potential application of in-pit crushing-conveying and dewatering system in peat mining. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2019, vol. 378, no. 1, 012086. DOI: 10.1088/1755—1315/378/1/012086.

7. Drebenstedt C. The responsible mining concept contributions on the interface between science and practical needs. Mine Planning and Equipment Selection, Springer Cham, 2014, pp. 3–24, DOI :10.1007/978 — 3-319 — 02678 — 7_1.

8. Yakonovskaya T. B., Zhigulskaya A. I. Heuristic approach to Yurevskoe peat deposit appraisal using vertical profiling data. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 5, pp. 157–168. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_5_0_157.

9. Kuznecov S. M. Theory and practice of forming sets and systems of machines in construction, Moscow-Berlin: Direct*M*EDIA, 2015, 271 p. [In Russ].

10. Mikhailov A. V., Ivanov S. L., Gabov V. V. Creation and efficient operation of machine fleet in peat-processing companies. *Bulletin of PNRPU. Geology. Oil & Gas Engineering & Mining*. 2015, no. 14, *pp*. 82–91. [In Russ]. DOI: 10.15593/2224 — 9923/2015.14.9.

11. Balovnev V. I. Determination of parameters and selection of earthmoving machines, Moscow, Poligraf, 2010, 224 p. [In Russ].

12. Fomin S. I., Faul' A. A., Ponomaryov A. I. Open cast technological system with in-pit fully mobile crushing reliability avaluation. *Journal of Mining Institute*. 2011, vol. 190, pp. 51–56. [In Russ].

13. Rzhevskij V. V. Open pit mining. Part 2. Technology and complex mechanization, Moscow, Librokom, 2010, 551 p. [In Russ].

14. Faul' A. A. Determination of parameters and indicators of open-cast mining of deposits of non-metallic building materials using mobile crushing complexes, candidate's thesis, Sankt-Peterburg, 2012. 193 p. [In Russ].

15. Lapshin N. S. Justification of organizational and technical methods of opencast development of sand and gravel deposits using mobile crushing and screening complexes, candidate's thesis, Sankt-Peterburg, 2020, 129 p. [In Russ].

16. Nehring M., Knights P. F., Kizil M. S., Hay E. A comparison of strategic mine planning approaches for in-pit crushing and conveying, and truck/shovel systems. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2018, vol. 28, pp. 205–214, DOI: 10.1016/j. ijmst.2017.12.026.

17. Rahmanpour M., Osanloo M., Adibee N., Akbarpourshirazi, M. An approach to determine the location of an in-pit crusher in open pit mines. *International Journal of Engineering (IJE) Transactions C*. 2014, vol. 27, no. 9. pp. 14475–1484.

18. Yablonev A. L., Dorogov O. V. Justification of the parameters of pneumatic wheel running passive trailed machines for transportation of milled peat. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015, no. 7, pp. 174–177. [In Russ].

19. Osobov V. I. Mechanical feed technology. Moscow, Kolos, 2009, 344 p. [In Russ].

20. Litvinenko V. S., Dvoynikov M. V., Trushko V. L. Elaboration of a conceptual solution for the development of the Arctic shelf from seasonally flooded coastal areas. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2021, vol. 32. pp. 113–119. DOI: 10.1016/j. ijmst.2021.09.010.

21. Ibrahim A., Kim H. B., Asadi A., Nahazanan H. Foundation and embankment construction in peat: an overview. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*. 2014, vol. 19, pp. 10079–10094.

22. Munro R., Evans R., Saarenketo T. Roadex II Project: Focusing on Low-Volume Roads in the European Northern Periphery. *Transportation Research Board*. 2007, vol. 1989 — 2, no. 1, pp. 292–299. DOI: 10.3141/1989 — 76.

23. Voronova E. Y. Perspectives of development of unitizing heading systems. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2014, no. 3, pp. 56–64. [In Russ].

24. Zimmermann E., Kruse W. Mobile crushing and conveying in quarries a chance for better and cheaper production. *Proceedings of the International Symposium on Continuous Surface Mining*. Aachen, 2006, pp. 1–7.

25. Naumenko V. G., Samojlik V. G., Zvyaginceva N. A., Nazimko E. I. Dehydration of mineral processing products, Doneck, DONNTU, 2019, 183 p. [In Russ].

26. Moreno J. J., Kendall S., Ortiz A. Dewatering options for management of fine gold tailings in Western Australian Goldfelds. *Proceedings of the 21st International Seminar on Paste and Thickened Tailings*. Australian Centre for Geomechanics, Perth, 2018, pp. 413–424.

27. 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.

28. Kremcheev E. A. Special Features of a Structure of Technical Operations for Peat Excavation with Stage Dewatering. *Journal of Mining Institute*. 2018, vol. 231, pp. 225–234. DOI:10.25515/PMI.2018.3.225.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Михайлов Александр Викторович[1] — докт. техн. наук, профессор каф. Машиностроения, http://orcid.org/0000-0002-0516-7737, e-mail: Mikhayov_AV@pers.spmi.ru;
Казаков Юрий Алексеевич[1] — аспирант каф. Машиностроения, https://orcid.org/0000-0002-7040-5412, e-mail: s185048@stud.spmi.ru;
Гарифуллин Дамир Раилевич[1] — аспирант каф. Машиностроения, https://orcid.org/0000-0001-9477-1647, e-mail: s185043@stud.spmi.ru;
Короткова Ольга Юрьевна[1] — аспирант каф. Машиностроения, https://orcid.org/0000-0003-3507-4707, e-mail: s195038@stud.spmi.ru;
Агагена Абдельвахаб[1] — *аспирант* каф. Машиностроения, https://orcid.org/0000-0001-8425-3803, e-mail: s205087@stud.spmi.ru;
[1] Санкт-Петербургский горный университет, 199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия д. 2; Россия.
Для контактов: *Михайлов Александр Викторович*, e-mail: Mikhayov_AV@pers.spmi.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Mikhailov A. V.[1], Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Department of Mechanical Engineering, http://orcid.org/0000-0002-0516-7737, e-mail: Mikhayov_AV@pers.spmi.ru;
Kazakov Yu. A.[1], graduate student of the Department of Mechanical Engineering, https://orcid.org/0000-0002-7040-5412, e-mail: s185048@stud.spmi.ru;
Garufullin D. R.[1], graduate student of the Department of Mechanical Engineering, https://orcid.org/0000-0001-9477-1647, e-mail: s185043@stud.spmi.ru;
Korotkova O. Yu.[1], graduate student of the Department of Mechanical Engineering, https://orcid.org/0000-0003-3507-4707, e-mail: s195038@stud.spmi.ru;
Agaguena A.[1], graduate student of the Department of Mechanical Engineering, https://orcid.org/0000-0001-8425-3803, e-mail: s205087@stud.spmi.ru;
[1] Saint Petersburg Mining University, 199106, Saint Petersburg, Vasil'evskij ostrov, 21 linija d.2, Russia.
Corresponding author: *Mikhailov A. V.*, e-mail: Mikhayov_AV@pers.spmi.ru.

Получена редакцией 14.01.2022; получена после рецензии 30.05.2022; принята к печати 10.05.2022.
Received by the editors 14.01.2022; received after the review 30.05.2022; accepted for printing 10.05.2022.