

ISSN 1999-4125 (Print)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГОРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
THEORETICAL FOUNDATIONS OF THE DESIGN OF MINING SYSTEMS

Научная статья

УДК 622.271

DOI: 10.26730/1999-4125-2023-1-79-86

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ ОБВОДНЁННЫХ ПЕСЧАНО-ГРАВИЙНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СОДЕРЖАНИЯХ ГРАВИЯ В ПОЛЕЗНОЙ ТОЛЩЕ

**Якубовский Матвей Матвеевич,
Гетманова Арина Романовна**

Санкт-Петербургский горный университет

*для корреспонденции: yakubovskiy_mm@pers.spmi.ru

**Информация о статье**

Поступила:

27 ноября 2022 г.

Одобрена после
рецензирования:

15 января 2023 г.

Принята к публикации:

28 февраля 2023 г.

Опубликована:

30 марта 2023 г.

Ключевые слова:

песчано-гравийный материал,
экскаватор драглайн,
земснаряд, фракция,
содержание, полезная толща.

Аннотация.

В статье рассмотрены наиболее распространенные технологии разработки обводненных песчано-гравийных месторождений, предложена методика выбора типа добычного оборудования в зависимости от содержания гравийной составляющей в полезной толще. Актуальность работы определяется необходимостью оптимизации технологических процессов на карьерах строительного оборудования, энергоресурсы, а также ставок арендных платежей. Методы исследования заключаются в системном анализе состояния строительной отрасли в сфере добычи нерудных полезных ископаемых Московской области, оценке парка современного горного оборудования, технико-экономических расчетах эффективности предлагаемых решений. В результате проведенных исследований установлены зоны эффективного применения видов добычного оборудования, произведен расчет технико-экономических показателей разработки на примере песчано-гравийного месторождения. Результаты изложенных исследований могут быть полезны проектировщикам и недропользователям в сфере разработки общераспространенных полезных ископаемых. Область эффективного применения рассмотренной технологии – частично обводненные месторождения, представленные песчаным и гравийным материалом, с относительно выдержанным строением и мощностью полезной толщи, относимые по сложности геологического строения к 1-й и 2-й группам согласно "Классификации запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых" (приказ МПР РФ от 11.12.2006 №278).

Для цитирования: Якубовский М.М., Гетманова А.Р. Обоснование выбора эффективной технологии разработки обводненных песчано-гравийных месторождений при различных содержаниях гравия в полезной толще // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2023. № 1 (155). С. 79-86. doi: 10.26730/1999-4125-2023-1-79-86

Введение

Стабильный и высокий спрос на минеральное строительное сырье, главным образом, на песок и щебень способствовал формированию в европейской части России развитого рынка услуг в сфере разработки месторождений общераспространенных полезных ископаемых и доставки нерудных материалов. Так, по данным с официального сайта Российского федерального геологического фонда (<https://rfgf.ru>), в Московской области в настоящее время действуют порядка 350 лицензий на освоение месторождений песчаных пород, 77 из которых отличаются высоким содержанием гравия (из них 63 непосредственно находятся в разработке). Эксплуатация указанных месторождений осуществляется следующими способами:

- средствами гидромеханизации при помощи землесосных снарядов – 25,
- экскаваторным способом экскаваторами типа драглайн – 10,
- экскаваторным способом гидравлическими экскаваторами – 28.

При этом необходимо отметить, что из 28 разрабатываемых гидравлическими экскаваторами месторождений 8 не обводнены, а на оставшихся 20 по состоянию на 01.01.2022 г. разработка осуществляется выше уровня грунтовых вод, соответственно, выбор дальнейшей технологии производства работ является насущной задачей.

В соответствии с «Методическими указаниями по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Песок и гравий» (распоряжение МПР России от 05.06.2007 г. № 37-р), если количество зерен горных пород, превышающих по размерам песчаные частицы (5,0 мм), в общей массе породы составляет от 7,0 до 15,0 %, то такая песчаная залежь относится к гравелистым пескам; при содержании более 15,0 и до 30,0 % – к гравийно-песчаным смесям, а при большем содержании гравия – к песчано-гравийным смесям.

В целом по стране порядка 60% от разведанных и находящихся в разработке песчаных и песчано-гравийных месторождений полностью или частично обводнены [1]. Исследования в области разработки обводненных месторождений рыхлых горных пород затрагивают довольно широкий перечень вопросов. В их число входят: установление минимальной пригодной к разработке мощности пласта полезной толщи [2], совершенствование конструкции ковшей добычного оборудования с целью увеличения его производительности [3]; методики выбора землесосных снарядов при разработке месторождений средствами гидромеханизации [4, 5, 6, 7]; установление зависимости производительности земснарядов от глубины разработки [8]. Имеются комплексные работы, посвященные обзору и совершенствованию существующих технологических схем разработки обводненных месторождений [9, 10].

В своих работах в качестве основного технологического оборудования авторы выделяют земснаряды и экскаваторы-драглайны, значительно реже для разработки обводненной толщи применяются гидравлические экскаваторы. При этом основное внимание уделяется определению оптимального положения выемочного оборудования в пространстве забоя. Данным вопросом активно занимались учёные из Болгарии и Австралии [11, 12]. Так Митрев Р.П. в своей работе [12] предложил набор показателей, влияющих на геометрические свойства рабочей зоны гидравлического экскаватора. Обратные Митреву Р. П. исследования по оценке параметров забоя на эффективность работы технологического оборудования проводились учёными в России [13, 14]. Каждый вид оборудования имеет свою область эффективного применения, при этом, как отмечается в литературе [3], единая методика сравнения вариантов разработки обводненных месторождений отсутствует, вследствие чего могут приниматься ошибочные проектные решения.

На выбор технологии разработки, помимо горно-геологических условий песчаных и песчано-гравийных месторождений, существенное влияние оказывает спрос на строительное минеральное сырье в конкретном регионе [15]. В работе Холоднякова, Г.А. отмечено стремление сделать производство малоотходным [16]. Особое внимание должно уделяться экологической составляющей разработки песчано-гравийных месторождений [17]. Не малый интерес вызывает вопрос о составе и гранулометрическом составе пульпы при применении гидротранспорта [18]. При этом оценке содержания гравийной составляющей на производительность добычного оборудования не уделяют должного внимания. Стоит отметить, что, гранулометрический состав полезной толщи оказывает влияние на экономическую эффективность работы горнодобывающего предприятия.

Методы исследования

Выбор технологии производства работ при разработке обводненных гравийно-песчаных и песчано-гравийных месторождений предлагается осуществлять на основе сравнения производительности добычного оборудования различных типов. В качестве исходных данных были приняты рабочие характеристики современных моделей отечественной техники, общепринятые методики расчета производительности оборудования и гранулометрический состав полезной толщи. Расчет основных технологических и экономических параметров произведен для двух технологий:

– Раздельная разработка запасов полезного ископаемого с применением для сухой части полезной толщи гидравлического экскаватора, для обводненной – средств гидромеханизации (земснаряда).

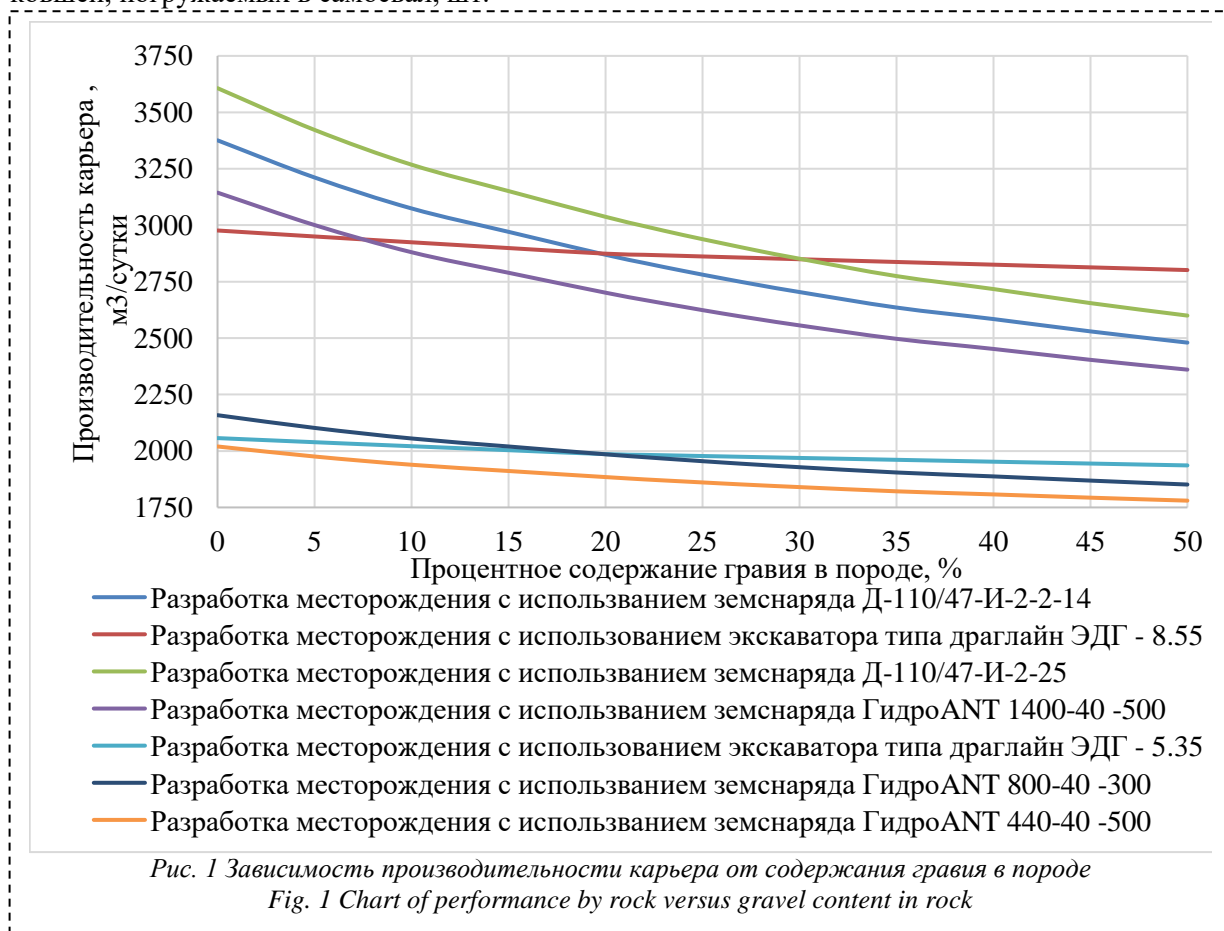
– Разработкой запасов полезного ископаемого экскаватором типа драглайн.

Для расчетов принято следующее технологическое оборудование: гидравлический экскаватор типа обратная лопата Кранэкс ЕК 400 с ковшем емкостью 1,9 м³; земснаряды Д-110/47-и-2-2, Д-110/47-и-2-25, гидроАНТ 1400-40-500, гидроАНТ 800-40-300, гидроАНТ 440-40-500; экскаваторы типа драглайн ЭДГ-8.55, ЭДГ-5.35.

Расчет производительности экскаваторного оборудования (Q_{sm} , м³/ч) выполнен в соответствии с «Общесоюзными нормами технологического проектирования предприятий нерудных строительных материалов. ОНТП 18-85»:

$$Q_{sm} = \frac{T_{sm} - (T_{pz} + T_{ob} + T_{tp} + T_{ln})}{T_p + T_{up} + T_{oj}} * V_k * n_k \quad (1)$$

где T_{sm} – продолжительность рабочей смены, мин; T_{pz} – затраты времени на выполнение подготовительно-заключительных операций, мин; T_{ob} – затраты времени на обслуживание рабочего места, мин; T_{tp} – технологические перерывы, мин; T_{ln} – время на личные надобности, мин; T_p – время погрузки самосвала, мин; T_{up} – время установки самосвала под погрузку, мин; T_{oj} – время ожидания самосвала, мин; V_k – объем горной массы в ковше экскаватора, м³; n_k – число ковшей, погружаемых в самосвал, шт.



Расчет производительности землесосного снаряда выполнен по методике ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, приведенной в «Инструкции по гидравлическому расчету систем напорного гидротранспорта грунтов. П 59-72». Производительность земснаряда по гидросмеси (Q_g , м³/ч) определялась по формуле:

$$Q_g = \frac{Q_v \cdot \gamma_o}{\gamma_g} \quad (2)$$

где Q_v – подача земснаряда по воде, м³/ч; γ_o – плотность воды, т/м³; γ_g – плотность гидросмеси, т/м³:

$$\gamma_g = \frac{\gamma_o \cdot q + \gamma_p \cdot (1 - m)}{q + (1 - m)} \quad (3)$$

где q – расход воды на разработку и транспортировку грунта, м³/м³; γ_p – средняя плотность частиц породы, т/м³; m – пористость грунта, дол. ед.

Результаты

В результате выполненных расчетов построен график зависимости суточной производительности карьера от среднего содержания гравия в полезной толще (рис. 1) при использовании различных типов добычного оборудования.

В результате произведенных расчетов установлено, что с увеличением содержания гравия в полезной толще происходит следующее:

– при применении комбинированной технологии с использованием земснаряда и гидравлического экскаватора производительность карьера по полезному ископаемому снижается на 25-50%;

– при использовании экскаватора типа драглайн снижение производительности карьера незначительно и составляет 5-7%.

При этом в начале интервала исследования совокупная производительность оборудования по комбинированной технологии превышает производительность драглайна, при содержании гравия в породе свыше 7% начинает выравниваться, а в дальнейшем уступает.

Исходя из среднесменной производительности техники, выделены две группы оборудования. Внутри каждой группы установлены области эффективного использования оборудования различного типа. Дополнительным ограничивающим фактором является

Таблица: Основные технико-экономические показатели

Table: Main technical and economic indicators

Показатель	Технология №1	Технология №2
Промышленные запасы ПИ (тыс. м ³), в том числе:	25 731,6	
– сухая толща (тыс. м ³)	8 577,2	
– обводненная толща (тыс. м ³)	17 154,4	
Обеспеченность запасами (лет)	25,8	
Проектная производительность карьера (тыс. м ³ /год)	1 000,0	
Объем реализации готовой продукции (тыс. м ³ /год)	1 150,0	
Цена реализации товарной продукции (руб.)	450	
Стоимость готовой продукции, (млн. руб.)	517,5	
Капитальные затраты (млн. руб.)	123,7	96,6
Удельные капитальные затраты (руб/м ³)	4,1	3,1
Эксплуатационные затраты (млн. руб./год)	86,5	64,4
Себестоимость полезного ископаемого (руб/м ³)	87,0	64,0
Валовая прибыль (млн. руб./год)	430,9	453,1
Налоги (млн. руб./год)	174,1	181,9
Чистая прибыль (млн. руб./год)	256,2	271,2
Чистая прибыль за весь период (млн. руб.)	6 605,6	6 975,9

целесообразная производительность карьера, ориентированная, прежде всего, на величину спроса на его продукцию.

Расчет основных технико-экономических показателей разработки произведен для песчано-гравийного месторождения (содержание гравия в породе 32%), расположенного на территории Московской области. Промышленные запасы полезного ископаемого составляют порядка 25,0 млн. м³, планируемая годовая производительность карьера – 1,0 млн. м³ (в плотном теле).

В качестве технологического оборудования принято следующее:

- технология №1 – земснаряд Д-110/47-И-2-2-1, гидравлический экскаватор Кранэкс ЕК 400 с ковшем емкостью 1,9 м³;
- технология №2 – экскаватор-драглайн ЭДГ 8.55 с ковшем емкостью 8,0 м³.

Результаты расчетов технико-экономических показателей разработки месторождения приведены в таблице.

По данным, представленным в таблице, видно, что капитальные затраты при использовании драглайна меньше на 27,1 млн. руб., себестоимость продукции при данной технологии меньше на 23,0 руб./м³. Это дает увеличение годовой прибыли на 15,0 млн. руб., по сравнению с применением земснаряда.

Выводы

При разработке обводненных месторождений гравийно-песчаных и песчано-гравийных смесей с увеличением процентного содержания гравия в породе производительность земснарядов значительно снижается и может компенсироваться либо увеличением количества техники, либо использованием более мощного оборудования. Это далеко не всегда оправдано, поскольку ведет к резкому росту капитальных затрат, а получаемый таким образом запас производственной мощности предприятия излишен. В то же время производительность экскаваторов типа драглайн относительно стабильна, а технологические особенности позволяют производить выемку горной массы на всю мощность полезной толщи.

Выбор технологии производства работ при разработке обводненного песчано-гравийном месторождения должен осуществляться, исходя из процентного содержания гравийной составляющей в полезной толще. Теоретические результаты исследования подтверждаются соответствующими технико-экономическими расчетами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов В. В., Дзюрич Д. О. Обоснование параметров технологической схемы разработки обводненных месторождений строительного песка // Записки Горного института. 2022. Т. 253. С. 33-40. DOI:10.31897/PMI.2022.3.
2. Лигоцкий Д. Н. Минимальная мощность пластов, разрабатываемых селективно с помощью гидравлических экскаваторов типа обратная лопата // Записки Горного института. 2013. Т. 205. С. 44-46.
3. Буткевич Г. Р., Одабаи-Фард В. В. Проблемы разработки обводненных песчано-гравийных месторождений // Горная Промышленность. 2012. № 4. С. 112-114.
4. Калинин С. Добыча ПГС: Технология обводненной разработки // Добывающая промышленность. 2018. № 3. С. 156-157. Режим доступа: <https://dprom.online/mtindustry/dobycha-pgs-tehnologiya-obvodnyonnoj-razrabotki-karerov/>.
5. Семенов Д. А., Вахрушев С. И. Методика выбора земснаряда для выемки песчано-гравийной смеси со дна реки Кама // Известия КГАСУ. 2016. №4(38). С. 451-458.
6. Чебан А. Ю. Гидромеханизированная добыча строительных горных пород в бассейне реки Амур // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2016. № 2 (36). С. 73-78.
7. Yaltanets I. M. Problems of Developing Solid Mineral Deposits on the Sea and Ocean Floor // Power Technology and Engineering. 2019. Vol. 53. № 1. P. 7-13. DOI:10.1007/s10749-019-01026-8.
8. Ялтанец И. М., Пастихин Д. В., Иванов С. А., Казаков В. А. К вопросу определения величины максимальной производительности земснаряда в зависимости от глубины погружения грунтового насоса и глубины разработки // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 1. С. 364-376.
9. Иванов В. В., Дзюрич Д. О. Основные актуальные технологические схемы разработки обводненных месторождений песка // Дневник науки. 2019. № 4. – Режим доступа: http://dnevniknauki.ru/images/publications/2019/4/geoscience/Ivanov_Dzyurich.pdf.
10. Оника С. Г., Халивкин Ф. Г., Реберт Б. С. Технологические схемы разработки обводненных песчаных, гравийно-песчаных и песчано-гравийных месторождений // Горная механика и машиностроение. 2016. № 2. С. 5-8.

11. Junior P. Minerals as a refuge from conflict: Evidence from the quarry sector in Africa // Journal of Rural Studies. 2022. Vol. 92. P. 206-213. DOI:10.1016/j.jrurstud.2022.03.028.
12. Митрев Р. П. Набор дополнительных показателей для оценки геометрических свойств рабочей зоны гидравлического экскаватора // Науковедение. 2016. Т. 8. № 4 (35). С. 64-77.
13. Логинов Е. В., Тюленева Т. А. Управление параметрами карьера в целях повышения эффективности использования гидравлических экскаваторов типа обратная лопата // Уголь. 2022. № 12. С. 6-10. DOI 10.18796/0041-5790-2021-12-6-10.
14. Побегайло П. А., Смоляницкий Э. А. Обзор и анализ существующих методов определения основных параметров одноковшовых гидравлических экскаваторов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 4. С. 216-219.
15. Wiesław K. Extraction, Production and Consumption of Gravel and Sand Aggregates in Poland An Attempt to Assess National and Regional Balances // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. DOI:10.1088/1757-899X/641/1/012033.
16. Холодняков Г. А., Логинов Е. В., Бу Д. Т. Малоотходная открытая разработка полезных ископаемых с помощью гидравлических экскаваторов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 1. С. 357-363.
17. Torres A. Sustainability of the global sand system in the Anthropocene // One Earth. 2021. Vol. 4. Issue 5. P. 639-650. DOI: 10.1016/j.oneear.2021.04.011.
18. Medved N. V. To calculate the axial dimensions of inkjet devices for hydraulic transport of sand and gravel materials // Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 2094. Issue 2. DOI: 10.1088/1742-6596/2094/2/022032.

© 2022 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Якубовский Матвей Матвеевич, канд. техн. наук, доцент каф. РМПИ, Санкт-Петербургский горный университет, (199106, Россия, г. Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, 2), e-mail: yakubovskiy_mm@pers.spmi.ru

Гетманова Арина Романовна, студент 5 курса специализации "Открытые горные работы", Санкт-Петербургский горный университет, (199106, Россия, г. Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, 2), e-mail: a-getmanova@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Якубовский Матвей Матвеевич – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, анализ данных, выводы.

Гетманова Арина Романовна – обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования, сбор и анализ данных, написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article**SUBSTANTIATION OF THE CHOICE OF AN EFFECTIVE TECHNOLOGY FOR THE DEVELOPMENT OF WATERED SAND AND GRAVEL DEPOSITS WITH DIFFERENT GRAVEL CONTENT IN THE USEFUL STRATUM****Matvey M. Yakubovskiy,
Arina R. Getmanova**

Siberian Federal University

*for correspondence: yakubovskiy_mm@pers.spmi.ru

**Article info**

Received:

27 November 2022

Accepted for publication:

15 January 2023

Accepted:

28 February 2023

Published:

30 March 2023

Keywords: sand and gravel material, dragline excavator, dredger, fraction, content, useful stratum.**Abstract.**

The article considers the most common technologies for the development of flooded sand and gravel deposits, and proposes a method for selecting mining equipment depending on the content of the gravel component in the useful stratum. The relevance of the work is determined by the need to optimize technological processes in the quarries of building mineral raw materials in the face of rising prices for technological equipment, energy resources, as well as rental rates. Research methods consist in a systematic analysis of the state of the construction industry in the field of mining of non-metallic minerals in the Moscow region, an assessment of the fleet of modern mining equipment, and technical and economic calculations of the effectiveness of the proposed solutions. The effective application zones for different types of mining equipment were established, the calculation of technical and economic indicators of development on the example of a sand and gravel deposit was made. The results of the above research can be useful to designers and subsoil users in the field of development of common minerals. The area of effective application of the considered technology is partially flooded deposits, represented by sand and gravel material, with relatively stable structure and thickness of the useful thickness, classified according to the complexity of the geological structure to the 1st and 2nd groups according to the "Classification of reserves and forecast resources of solid minerals" (order of the MPR of the Russian Federation dated 11.12.2006 No. 278).

For citation: Yakubovskiy M.M., Getmanova A.R. Substantiation of the choice of an effective technology for the development of watered sand and gravel deposits with different gravel content in the useful stratum. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2023; 1(155):79-86. (In Russ., abstract in Eng.). doi: 10.26730/1999-4125-2023-1-79-86

REFERENCES

1. Ivanov V. V., Dzyurich D. O. Obosnovanie parametrov tekhnologicheskoy skhemy razrabotki obvodnennykh mestorozhdeniy stroitel'nogo peska // Zapiski Gornogo instituta. 2022. T. 253. S. 33-40. DOI:10.31897/PMI.2022.3.
2. Ligotskiy D. N. Minimal'naya moshchnost' plastov, razrabatyvaemykh selektivno s pomoshch'yu gidravlicheskiykh ekskavatorov tipa obratnaya lopata // Zapiski Gornogo instituta. 2013. T. 205. S. 44-46.
3. Butkevich G. R., Odabai-Fard V. V. Problemy razrabotki obvodnennykh peschano-graviynykh mestorozhdeniy // Gornaya Promyshlennost'. 2012. №4. S. 112-114.
4. Kalinin S. Dobycha PGS: Tekhnologiya obvodnennoy razrabotki // Dobyvayushchaya promyshlennost'. 2018. № 3. S. 156-157. Rezhim dostupa: <https://dprom.online/mtindustry/dobycha-pgs-tehnologiya-obvodnyonnoj-razrabotki-karerov>.
5. Semenov D. A., Vakhrushev S. I. Metodika vybora zemsnyarada dlya vyemki peschano-graviynoy smesi so dna reki Kama // Izvestiya KGASU. 2016. №4 (38). S. 451-458.
6. Yaltanets I.M. Problems of Developing Solid Mineral Deposits on the Sea and Ocean Floor // Power Technology and Engineering. 2019. Vol. 53. №. 1. P. 7-13. DOI:10.1007/s10749-019-01026-8.
7. CHEban A. YU. Gidromekhanizirovannaya dobycha stroitel'nykh gornykh porod v bassejne reki Amur // Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova. 2016. № 2 (36). S. 73-78.
8. Yaltanets I. M., Pastihin D. V., Ivanov S. A., Kazakov V. A. K voprosu opredeleniya velichiny maksimal'noy

proizvoditel'nosti zemsnyarada v zavisimosti ot glubiny pogruzheniya gruntovogo nasosa i glubiny razrabotki // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. № 1. S. 364-376.

9. Ivanov V. V., Dzyurich D. O. Osnovnye aktual'nye tekhnologicheskie skhemy razrabotki obvodnennykh mestorozhdeniy peska // Dnevnik nauki. 2019. № 4. Rezhim dostupa: http://dnevniknauki.ru/images/publications/2019/4/geoscience/Ivanov_Dzyurich.pdf.

10. Onika S. G., Khalyavkin F. G., Rebert B. S. Tekhnologicheskiy skhemy razrabotki obvodnennykh peschanykh, graviyno-peschanykh i peschano-graviynykh mestorozhdeniy // Gornaya mekhanika i mashinostroenie. 2016. № 2. S. 5-8.

11. Junior P. Minerals as a refuge from conflict: Evidence from the quarry sector in Africa // Journal of Rural Studies. 2022. Vol. 92. P. 206-213. DOI:10.1016/j.jrurstud.2022.03.028.

12. Mitrev R. P. Nabor dopolnitel'nykh pokazateley dlya otsenki geometricheskikh svoystv rabochey zony gidravlicheskogo ekskavatora // Naukovedenie. 2016. T. 8. № 4 (35). S. 64-77.

13. Loginov E. V., Tyuleneva T. A. Upravlenie parametrami kar'yera v tselyakh povysheniya effektivnosti ispol'zovaniya gidravlicheskikh ekskavatorov tipa obratnaya lopata // Ugol'. 2022. № 12. S. 6-10. DOI 10.18796/0041-5790-2021-12-6-10.

14. Pobegaylo P. A., Smolyanitskiy E. A. Obzor i analiz sushchestvuyushchikh metodov opredeleniya osnovnykh parametrov odnokovshovykh gidravlicheskikh ekskavatorov // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2015. № 4. S. 216-219.

15. Wieslaw K. Extraction, Production and Consumption of Gravel and Sand Aggregates in Poland An Attempt to Assess National and Regional Balances // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. DOI:10.1088/1757-899X/641/1/012033.

16. Kholodnyakov G. A., Loginov E. V., Vu D. T. Malootkhodnaya otkrytaya razrabotka poleznykh iskopaemykh s pomoshch'yu gidravlicheskikh ekskavatorov // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. № 1. S. 357-363.

17. Torres A. Sustainability of the global sand system in the Anthropocene // One Earth. 2021. Vol. 4. Issue 5. P. 639-650. DOI: 10.1016/j.oneear.2021.04.011.

18. Medved N. V. To calculate the axial dimensions of inkjet devices for hydraulic transport of sand and gravel materials // Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 2094. Issue 2. DOI: 10.1088/1742-6596/2094/2/022032.

© 2022 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Matvey M. Yakubovskiy, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, Saint-Petersburg Mining University, (21st Line, St. Petersburg, 199106, Russian Federation), e-mail: yakubovskiy_mm@pers.spmi.ru

Arina R. Getmanova, student of the 5-th specialty course "Surface mining operations", Saint-Petersburg Mining University, (21st Line, St. Petersburg, 199106, Russian Federation),

e-mail: a-getmanova@mail.ru

Contribution of the authors:

Matvey M. Yakubovskiy – formulation of a research task, scientific management, data analysis, conclusions.

Arina R. Getmanova – review of relevant literature, conceptualization of research, data collection and analysis, writing text.

All authors have read and approved the final manuscript.

