

УДК 622.271:622.362

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ
МАЛОМОЩНЫХ ПЕСЧАНО-ГРАВИЙНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ****¹Якубовский М.М., ²Павличенко М.В., ¹Гетманова А.Р.**¹ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург,
e-mail: yakubovskiy_mm@pers.spmi.ru;²ООО «ГК «РЕГИОН»», Ленинградская обл., д. Аро, e-mail: gkregion2020@mail.ru

Разработка месторождений строительных горных пород является наиболее распространенным и динамично развивающимся направлением горнодобывающей отрасли, что связано с высокими темпами дорожного и жилищного строительства. При оконтуривании месторождений песков и песчано-гравийного материала к основным технико-экономическим условиям относятся мощность полезной толщи и ее качественный состав. Как правило, в большинстве случаев мощность кондиционного пласта принимается не менее 3,0 м. Меньшая величина делает разработку месторождения или его части нерентабельной ввиду значительного роста арендных платежей за земельный участок, которые являются постоянной составляющей в себестоимости продукции карьеров. Рассмотрены теоретические аспекты выбора схемы вскрытия, системы разработки и практический опыт эксплуатации месторождения песчано-гравийного материала малой мощности. Показана важность оптимизации технологических процессов разработки небольших месторождений минерального строительного сырья с целью обеспечения эффективной работы горнодобывающего предприятия в условиях ограниченных ресурсов. По результатам проведенных технико-экономических расчетов разработаны и обоснованы технологические схемы производства вскрышных, добычных и рекультивационных работ, определен порядок отработки месторождения по бестранспортной системе разработки с многократной перевалкой горной массы гидравлическим экскаватором. Экономическая эффективность предложенных мероприятий подтверждена результатами работы горнодобывающего предприятия. Результаты изложенных исследований могут быть полезны проектировщикам и недропользователям в сфере разработки общераспространенных полезных ископаемых. Область эффективного применения рассмотренной технологии – небольшие месторождения с невыдержанным строением и мощностью полезной толщи, с непостоянным качеством песков и песчано-гравийного материала, относимые по сложности геологического строения ко 2-й и 3-й группам согласно «Классификации запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых», утвержденной приказом Министерства природных ресурсов РФ от 11.12.2006 № 278.

Ключевые слова: бестранспортная система разработки, маломощное месторождение, строительный песок, песчано-гравийный материал, перевалка горной массы, порядок отработки месторождения, технология ведения горных работ

**SUBSTANTIATION OF DEVELOPMENT TECHNOLOGY
FOR LOW-POWER SAND-GRAVEL DEPOSITS****¹Yakubovskiy M.M., ²Pavlichenko M.V., ¹Getmanova A.R.**¹Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, e-mail: yakubovskiy_mm@pers.spmi.ru;²LTD. «GK «REGION»», Leningrad obl., Aro village, e-mail: gkregion2020@mail.ru

The development of construction rock deposits is the most common and dynamically increasing branch of the mining industry, which is associated with a high rate of road and building construction. When delineating deposits of sand and sand-gravel material, the main technical and economic conditions include the thickness of the useful layer and its qualitative composition. As a rule, in most cases, the thickness of the conditioned layer is taken not less than 3.0 m. A lower value makes it unprofitable to develop a deposit or its part due to a significant increase in land lease payments, which are a constant component in the cost of production of open pits. Theoretical aspects of the choice of opening scheme, development system and practical experience of operating a low-power sand-gravel deposit are considered. The importance of technological process optimization for the development of small construction rock deposits is shown. The aim is to ensure the effective operation of the mining enterprise in conditions of limited resources. According to the results of technical and economic calculations, technological schemes of prestripping, mining and reclamation works were developed and justified, the order of deposit development by non-transport system with multiple reloading of rock mass by hydraulic excavator was determined. Economical efficiency of the proposed measures is confirmed by the practice of the mining enterprise. Results of the research can be useful for designers and subsoil users in the development of widespread industrial mineral deposits. Area of effective use of the considered technology – small deposits with unstable structure and thickness of the mineral layer, with a variable quality of sand and sand-gravel material, referred to the complexity of the geological structure of the 2nd and 3rd groups according to the «Classification of reserves and inferred resources of solid minerals», approved by Order № 278 of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation, dated December 11, 2006.

Keywords: non-transport system of mining, small seam thickness deposit, construction sand, sand and gravel material, rock mass removal, order of deposit development, mining technology

Недропользование является высокорискованным бизнесом. В соответствии со ст. 11 Закона РФ от 21.02.1992 № 2305-1 «О недрах», предоставление недр в пользование

происходит только после получения соответствующей лицензии, выдаваемой по результатам аукциона. При этом разведанное недропользователем количество балансо-

вых запасов полезных ископаемых может существенно отличаться от объемов прогнозных ресурсов, указанных в исходной конкурсной документации. В таком случае возмещение расходов на поиск, оценку и разведку месторождения, а также суммы уплаченных сбора за участие в аукционе и разового платежа за право пользования участком недр не предусмотрено. В случае с песчано-гравийными месторождениями капитальные вложения относительно невелики (от нескольких миллионов рублей до первых десятков миллионов рублей), но и финансовые возможности мелкого и среднего бизнеса многократно уступают возможностям инвесторов в сфере добычи, например, строительного и облицовочного камня.

На значительные риски идет инвестор и в случае покупки готового бизнеса, то есть юридического лица недропользователя с утвержденными балансовыми запасами и согласованным техническим проектом разработки месторождения. Причинами несоответствия фактических объемов запасов балансовым (утвержденным протоколом ТКЗ) могут быть как недобросовестность бывшего недропользователя, повлиявшего на процесс подсчета запасов с целью наживы, так и квалификация специалистов, интерпретирующих геологическую информацию.

При оконтуривании месторождений песков и песчано-гравийного материала, как правило, мощность кондиционного пласта принимается не менее 3,0 м ввиду значительного роста арендных платежей за земельный участок, являющихся постоянной составляющей в себестоимости продукции. Кроме того, минимальная мощность может определяться конструктивными особенностями выемочно-погрузочного оборудования [1–3].

Однородность качественных характеристик полезной толщи имеет важное значение при выборе технологии производства работ [4, 5]. В случае когда мощность продуктивного пласта значительна и позволяет сформировать полноценный уступ высотой 5,0–8,0 м, колебания таких показателей качества песчано-гравийного материала, как модуль крупности и коэффициент фильтрации, не оказывают значительного разубоживающего эффекта на качество извлекаемого минерального сырья, поскольку в процессе валовой разработки происходит естественное усреднение материала. Меньшие значения мощности полезной толщи

не позволяют обеспечить равномерный состав природного материала. Как правило, в этом случае применяется промежуточное складирование (конусование), что, в свою очередь, удорожает себестоимость добытого полезного ископаемого.

Как показал анализ литературы, имеющейся в открытом доступе, информация в сфере проблематики разработки песчано-гравийных месторождений касается, главным образом, разработки обводненных месторождений значительной мощности [6–8]. Основной упор в исследованиях делается на выбор технологического оборудования [9–11], в то время как обоснованию режима горных работ должного внимания не уделяется. Под режимом горных работ, согласно Ю.Д. Буянову [12], понимается последовательность выполнения вскрышных и добычных работ в границах карьерного поля, обеспечивающая планомерную, безопасную и экономически эффективную разработку месторождения. При этом наилучшие результаты работы горнодобывающего предприятия обеспечиваются при рационально выбранной технологии вскрышных и добычных работ с учетом параметров системы разработки и технических характеристик применяемых средств механизации [13].

Рассмотренная в работе технология разработки маломощных месторождений песков и песчано-гравийного материала особенно актуальна в связи с высокими объемами строительства, связанными, в том числе, с реализацией национальных проектов, например проекта «Безопасные качественные дороги» (<https://bkdrf.ru/>), поскольку позволяет вовлечь в эффективную разработку малые месторождения, находящиеся вблизи мест производства строительных работ.

Целью исследований являлось обоснование новой технологии ведения горных работ с использованием гидравлического экскаватора типа «обратная лопата» на примере разработки месторождения строительных материалов «Селиваново», расположенного в Ленинградской области, компанией ООО «Юркон».

Материалы и методы исследования

По сложности геологического строения месторождение «Селиваново» относится ко 2-й группе (согласно «Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых») как небольшое линзообразное или непра-

вильной формы месторождение с невыдержанным строением, изменчивой мощностью полезной толщи и непостоянным качеством песка и гравия. Вскрышные породы представлены почвенно-растительным слоем, торфом, заторфованными песками, а также супесями. Мощность вскрыши составляет от 0,1 м до 1,7 м, средняя – 1,2 м. Полезная толщина представлена, в основном, тонкими и мелкими песками. Мощность полезной толщи в оконтуренной части лицензионного участка составила от 3,0 до 7,7 м при среднем значении 5,8 м. Местами имеются скопления гравийного материала, содержание которого составляет от 5,0% до 20,0% и выше.

Проектными решениями была предусмотрена стандартная для подобного типа месторождений технология производства работ, включающая следующие операции:

- удаление вскрышных пород бульдозером во временные навалы;
- разработка навалов гидравлическим экскаватором с погрузкой в автосамосвалы;
- перевозка и складирование вскрышных пород на поверхности месторождения во временном складе с целью дальнейшего использования для рекультивации земель;
- разработка полезной толщи гидравлическим экскаватором с погрузкой полезного ископаемого в автосамосвалы потребителя.

Однако в процессе разработки максимальные значения полезной толщи подтвердились только в районе расположения разведочных скважин. На основной же части месторождения колебания мощности продуктивного пласта (по данным эксплуатационной разведки, проведенной посредством проходки шурфов экскаваторным способом) составили от 1,2 до 4,0 м при среднем значении 2,3 м.

Вследствие уточнения горно-геологических условий и значительного сокращения промышленных запасов стало очевидно, что изначально предусмотренная широко распространенная [14, 15] технология производства работ на месторождении с применением гидравлического оборудования нерентабельна, что требует оптимизации технологических процессов и поиска экономически целесообразного варианта отработки месторождения в условиях ограниченных ресурсов.

Таким образом, были сформулированы следующие задачи исследования:

- аудит результатов выполненных геолого-разведочных работ и проектных решений;
- анализ уточненных горно-геологических условий месторождения;

– разработка наиболее эффективной в сложившихся условиях модели производствоработиустановлениерационального порядка отработки месторождения;

– проведение технико-экономических расчетов с целью установления порога окупаемости инвестиций.

Результаты исследования и их обсуждение

По результатам проведенного технико-экономического анализа была принята бестранспортная система разработки поперечными заходками, без углубки (одним вскрышным и одним добычным уступами) с многократной перевалкой горных пород. С целью обеспечения возможности отгрузки нескольких сортов полезного ископаемого вскрытие полезной толщи велось в нескольких местах одновременно, что позволило охватить всю площадь участка.

Для обоснования параметров системы разработки и последовательности выполнения технологических операций были выполнены соответствующие расчеты, произведено построение схем ведения горных работ. Параметры системы разработки определяются в каждом случае индивидуально с учетом мощностей отрабатываемых горизонтов и рабочих параметров применяемого оборудования. В общем виде предложенная технология производства работ предусматривает следующие технологические операции при вскрытии и отработке каждого локального участка месторождения.

Сначала выполняется удаление почвенно-растительного слоя путем сгребания его гидравлическим экскаватором в навалы с последующей их перевалкой и формированием складов высотой до 3,0–4,0 м на поверхности месторождения в местах, удобных для временного хранения, с целью дальнейшего использования пород для рекультивации.

Далее производится выемка вскрышных пород за две заходки гидравлическим экскаватором нижним черпанием с формированием временных навалов высотой 3,0–4,0 м по обоим бортам траншей. В зависимости от мощности вскрышных пород (1,0–1,7 м) на вскрываемом участке расчетная ширина дна траншей составила 25,0–30,0 м. При мощности вскрыши менее 1,0 м целесообразна дополнительная однократная перевалка навалов, что позволяет увеличить ширину участка вскрытой полезной толщи в 1,5–1,8 раза (до 37,5–54,0 м).

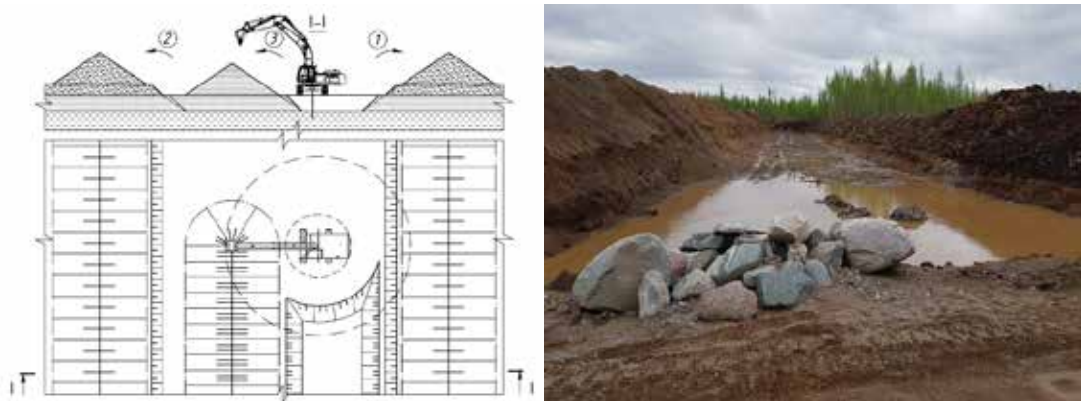


Рис. 1. Технологическая схема и результаты выемки вскрышных пород и формирования навала полезного ископаемого на кровле полезной толщи



Рис. 2. Технологическая схема и результаты погрузки полезного ископаемого в автотранспорт потребителя

Затем осуществляется выемка полезного ископаемого в пределах первой заходки (шириной 12,0–14,0 м) на всю мощность полезной толщи (1,2–4,0 м) гидравлическим экскаватором нижним черпанием с формированием навала высотой 3,0–4,0 м на кровле полезной толщи второй заходки. Технологическая схема производства работ и результаты работ приведены на рисунке 1.

После того как сформирован навал полезного ископаемого, начинается его разработка гидравлическим экскаватором с погрузкой сырья в автотранспорт потребителей. При этом подъезд автосамосвалов осуществляется по кровле полезной толщи (в пределах второй заходки) задним ходом либо с разворотом непосредственно у экскаватора, если позволяет ширина рабочей площадки (более 2,5 радиуса разворота автосамосвала).

Выемка полезного ископаемого в пределах второй заходки производится гидрав-

лическим экскаватором нижним черпанием с формированием навала на кровле полезной толщи и последующей погрузкой сырья в автотранспорт потребителей. Технологическая схема погрузки полезного ископаемого в автотранспорт потребителя из временного навала и результаты ее реализации приведены на рисунке 2.

После отгрузки запасов полезного ископаемого производится засыпка выработанного пространства посредством перевалки вскрышных пород из временных навалов, размещенных по бортам траншеи, в выработанное пространство гидравлическим экскаватором с последующей планировкой сформированной поверхности. При этом фактически реализуется технический этап рекультивации земель. Технологическая схема производства рекультивационных работ и результаты ее реализации приведены на рисунке 3.

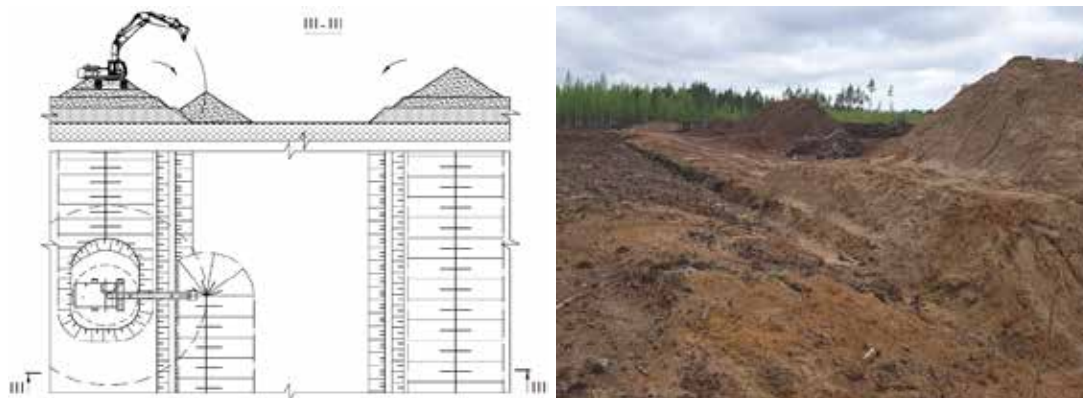


Рис. 3. Технологическая схема и результаты рекультивации участка

Сравнительная характеристика основных технико-экономических показателей

№ п/п	Показатель	№ варианта			
		I	II	III	IV
1	2	3	4	5	6
1	Технологическое оборудование, ед.:				
1.1	Экскаватор Volvo EC290 BLC	1	1	–	–
1.2	Бульдозер Caterpillar D6	1	1	–	–
1.3	Фронтальный погрузчик Volvo L150	1	1	–	–
1.4	Автосамосвал КамАЗ-6520	2	2	–	–
1.5	Экскаватор Komatsu PC-350	–	–	1	1
2	Горно-геологические условия				
2.1	Площадь разработки месторождения, га	26,2	15,0		
2.2	Мощность полезной толщи (от/до/средняя), м	3,0/7,7/5,8	1,2/4,0/2,3		
2.3	Промышленные запасы ПГМ, тыс. м³	1350,0	340,0		
2.4	Объем вскрышных пород, тыс. м³	315,0	180,0		
2.5	Коэффициент вскрыши, м³/м³	0,23	0,53		
3	Производственная мощность предприятия				
3.1	Производительность карьера, тыс. м³/год	300,0	80,0		
3.2	Реализация (с учетом $Kp=1,15$), тыс. м³/год	345,0	92,0		
3.3	Срок обеспеченности запасами, лет	4,5	4,3		
4	Цена реализации товарной продукции, руб. м³:				
4.1	– сорт 1	300			
4.2	– сорт 2	250			
4.3	– сорт 3	200			
5	Экономические показатели разработки				
5.1	Стоимость товарной продукции, млн руб./год	81,075	21,62	21,62	21,62
5.2	Капитальные затраты, млн руб.	21,804	19,095	10,874	6,811
5.3	Эксплуатационные затраты, млн руб./год	28,524	23,097	13,523	15,170
5.4	Себестоимость добытого ПИ, руб./м³	95	289	169	190
5.5	Валовая прибыль, млн руб./год	52,551	–1,477	8,097	6,450
5.6	Налоги (НДС, НДПИ, налог на прибыль)	22,021	–	4,013	3,438
5.7	Чистая прибыль, млн руб./год	30,528	–	4,302	3,233
5.8	Чистая прибыль за весь период, млн руб.	137,376	–	17,846	13,250
5.9	Срок окупаемости капвложений, лет	0,7	–	2,5	2,1

Пр и м е ч а н и е : экономические показатели разработки приведены в ценах 2018 г.

Заключение

Суть предложенной технологии ведения горных работ заключается в многократной перевалке горных пород экскаваторным оборудованием без использования транспортных средств. Рассмотренная технология апробирована в течение трех лет на месторождении песчано-гравийного материала «Селиваново».

Для экономического обоснования предлагаемой системы разработки месторождения и порядка его отработки были рассмотрены и проанализированы следующие технологические схемы производства работ.

I – Разработка месторождения в соответствии с действующей проектной документацией (для первоначальных горно-геологических условий).

II – Разработка доступной для освоения части месторождения в соответствии с действующей проектной документацией.

III – Разработка доступной для освоения части месторождения по предлагаемой технологии с покупкой выемочно-погрузочно-оборудования.

IV – Разработка доступной для освоения части месторождения по предлагаемой технологии с арендой оборудования.

Результаты расчетов основных технико-экономических показателей разработки месторождения по рассмотренным вариантам приведены в таблице.

Результатом оптимизации производственных процессов и внедрения бестранспортной технологии с многократной перевалкой горной массы стала отработка части запасов фактически бесперспективного месторождения. В результате этого опытным путем доказаны техническая возможность и экономическая целесообразность производства основных видов работ одной выемочно-погрузочной единицей, в данном случае – гидравлическим экскаватором Komatsu PC-350.

Список литературы

1. Лигоцкий Д.Н. Минимальная мощность пластов, разрабатываемых селективно с помощью гидравлических экс-

каваторов типа обратная лопата // Записки Горного института. 2013. Т. 205. С. 44–46.

2. Фомин С.И., Ведрова Д.А. Организация отработки вскрышного уступа драглайном с размещением пород в выработанном пространстве карьера // Записки Горного института. 2013. Т. 205. С. 47–50.

3. Yuasa T., Ishikawa M. An Optimal design methodology for the trajectory of hydraulic excavators based on genetic algorithm. *Journal of robotics and mechatronics*. 2021. Vol. 33. P. 1248–1254. DOI 10.20965/jrm.2021.p1248.

4. Wang X., Sun H., Feng M., Ren Z., Liu J. Dynamic analysis of working device of excavator under limit digging force. *Journal of The Institution of Engineers*. 2021. Vol. 102 (5). P. 1137–1144. DOI: 10.1007/s40032-021-00725-4.

5. Loginov E.V., Loktiukova O.Iu., Melnitskaya M.E. Calculation of Bench Width for Backhoe Hydraulic Excavators Operated in Sinking Mining Systems. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2019. Vol. 14. Iss. 17. P. 6444–6448. DOI: 10.36478/jeasci.2019.6444.6448.

6. Буткевич Г.Р., Одабаи-Фард В.В. Проблемы разработки обводненных песчано-гравийных месторождений // Горная Промышленность. 2012. № 4. С. 112–114.

7. Иванов В.В., Дзюрнич Д.О. Основные актуальные технологические схемы разработки обводненных месторождений песка // Дневник науки. 2019. № 4. [Электронный ресурс]. URL: http://dnevniknauki.ru/images/publications/2019/4/geoscience/Ivanov_Dzyurich.pdf (дата обращения: 11.03.2022).

8. 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.

9. Лапшин Н.С., Фомин С.И. Принципы построения технологических схем переработки песчано-гравийной смеси на притрассовых карьерах с малой производительностью // Наука и бизнес: пути развития. 2019. №12(102). С. 97–101.

10. Оника С.Г., Халаявкин 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. Иванов В.В., Дзюрнич Д.О. Обоснование параметров технологической схемы разработки обводненных месторождений строительного песка // Записки Горного института. 2012. Т. 253. С. 33–40. DOI:10.31897/PMI.2022.3.

12. Буянов Ю.Д., Краснополский А.А. Разработка месторождений нерудных полезных ископаемых. М.: Недра, 1980. 431 с.

13. Ракишев Б.Р. Классификация технологий открытой разработки полезных ископаемых // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2020. № 3. С. 5–15. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-3-0-5-15.

14. Холодников Г.А., Логинов Е.В., Ву Д.Т. Малоотходная открытая разработка полезных ископаемых с помощью гидравлических экскаваторов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 1. С. 357–363.

15. Иванова П.В., Асонов С.А., Иванов С.Л., Кувшинкин С.Ю. Анализ структуры и надежности современного парка карьерных экскаваторов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 7. С. 51–57. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-7-0-51-5720.