



ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГОРНТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОТКРЫТОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ГОРНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

Заяднов В.Ю.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

Аннотация. Постановка задачи (актуальность работы). В статье представлены положения концепции повышения комплексности освоения участка недр и устойчивости функционирования горнодобывающего предприятия с открытой геотехнологией. Предлагаемая концепция базируется на подходе к обоснованию, выбору и управлению параметрами горнотехнической системы, заключающемся в развитии различных направлений освоения имеющейся и формируемой ресурсной базы участка недр, включая его производственную инфраструктуру. Обеспечение устойчивости функционирования горнотехнической системы в условиях постоянно изменяющейся конъюнктуры рынка предусматривается на основе гибкого изменения объема вовлекаемых в разработку запасов, производительности, качества и номенклатуры выпускаемой продукции, представленной в том числе техногенными георесурсами, а также в виде выполнения технологических процессов для сторонних предприятий. **Цель работы.** Обоснование показателя, позволяющего определять эффективность комплексного освоения участка недр и устойчивость функционирования горнодобывающего предприятия в динамичных условиях рынка при выборе параметров горнотехнической системы. **Используемые методы.** В работе применен комплексный метод исследований, включающий: анализ и научное обобщение отечественного и зарубежного опыта эффективного освоения участка недр при использовании открытой геотехнологии с формированием и освоением техногенных георесурсов; имитационное моделирование параметров разработки месторождения с учетом формирования и освоения техногенных георесурсов; статистическую обработку результатов исследований; системный технико-экономический и структурно-функциональный анализ. **Результат.** Для оценки комплексности освоения участка недр и устойчивости функционирования горнотехнической системы предложен интегральный показатель горных возможностей. Разработанный показатель учитывает получение дополнительных доходов от изменения объема вовлекаемых в разработку запасов, производительности карьера, качества добываемого сырья и номенклатуры товарной продукции, включая выполнение услуг сторонними предприятиями в зависимости от внешних и внутренних факторов развития горнотехнической системы.

Ключевые слова: устойчивость функционирования и производственная мощность горного предприятия, продукция горного предприятия, техногенные георесурсы, параметры горнотехнической системы

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-21-10040, <https://rscf.ru/project/23-21-10040>.

© Заяднов В.Ю., 2024

Для цитирования

Заяднов В.Ю. Оценка устойчивости функционирования горнотехнической системы открытой геотехнологии на основе интегрального показателя горных возможностей // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2024. Т. 22. №2. С. 5-13. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2024-22-2-5-13>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

ASSESSING SUSTAINABILITY OF THE OPERATION OF THE MINING SYSTEM OF OPEN GEOTECHNOLOGY BASED ON AN INTEGRAL INDICATOR OF MINING CAPABILITIES

Zalyadnov V.Yu.

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

Abstract. Problem Statement (Relevance). The article presents the provisions of the concept of increasing an integrated approach to developing a subsoil site and sustainability of the operation of a mining enterprise with open geotechnology. The proposed concept is based on an approach to providing rationale, selecting and controlling the parameters of a mining system. It consists in the development of various areas for the exploration of the existing and emerging resource base of a subsoil site, including its production infrastructure. Ensuring sustainability of the operation of the mining system in the conditions of constantly changing market conditions is provided on the basis of flexible changes in the volume of reserves involved in the exploration, performance, quality and range of products, including man-made georesources, as well as by performing technological processes for third-party enterprises. **Objectives.** The research is aimed at providing a rationale for an indicator used to determine efficiency of the integrated exploration of a subsoil site and sustainability of the functioning of a mining enterprise in dynamic market conditions, when choosing the parameters of a mining system. **Methods Applied.** The article describes a comprehensive research method, including the analysis and scientific generalization of Russian and foreign experience in the efficient exploration of subsoil sites using open geotechnology with the formation and exploration of man-made georesources, simulation modeling of field development parameters, taking into account the formation and exploration of man-made georesources, statistical processing of research results, a system feasibility study and a structural and functional analysis. **Result.** To assess the integrated approach to the exploration of the subsoil site and sustainability of the operation of the mining system, the article proposes an integral indicator of mining capabilities. The developed indicator factors into the receipt of additional income from changes in the volume of reserves involved in the exploration, performance of the quarry, the quality of the extracted raw materials and the range of commercial products, including the provision of services to third-party enterprises depending on external and internal factors in the development of the mining system.

Keywords: sustainability of operation and production capacity of a mining enterprise, products of a mining enterprise, man-made georesources, parameters of the mining system

The research was funded by the grant of the Russian Science Foundation, No. 23-21-10040, <https://rscf.ru/project/23-21-10040>.

For citation

Zalyadnov V.Yu. Assessing Sustainability of the Operation of the Mining System of Open Geotechnology Based on an Integral Indicator of Mining Capabilities. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2024, vol. 22, no. 2, pp. 5-13. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2024-22-2-5-13>

Введение

Обеспечение оптимального уровня производственной мощности и повышение эффективности использования этих мощностей является основной задачей большинства предприятий реального сектора российской экономики, в том числе и в горнодобывающей отрасли. В классическом представлении производственная мощность непосредственно влияет на конкурентоспособность продукции, формирует конкурентные преимущества предприятия и обеспечивает его рыночную устойчивость [1].

Научно-методической и нормативной базой, регламентирующей разработку месторождений, предусматривается наиболее полное извлечение из недр запасов основных и совместно с ними залегающих полезных ископаемых и попутных компонентов [2].

Однако для большинства горнодобывающих предприятий с открытым способом разработки резервы повышения эффективности только за счет изменения производственной мощности и комплексного освоения природных ресурсов практически исчерпаны. Кроме того, предприятия горной отрасли в современных условиях рынка, уязвимы при падении цен и спроса на добываемое сырье [3-8].

Материалы и методы исследования

Мощность горного предприятия производственная – это максимально возможная добыча полезного ископаемого установленного качества в единицу времени (сутки, год). Определяется исходя из условий производства в рассматриваемом периоде на основе наиболее полного использования средств производства, рационального режима работы, прогрессивной техноло-

гии и эффективной организации производства, учитывающей передовой опыт при соблюдении требований безопасности и правил технической эксплуатации [9].

Добыча полезных ископаемых – извлечение полезных ископаемых из недр в результате разработки месторождений: твердых полезных ископаемых – подземным, открытым, комбинированным и скважинным способами [9].

Современные горнодобывающие предприятия кроме полезных ископаемых способны поставлять на рынок новые виды продукции с повышенной добавленной стоимостью, полученной в результате комплексного освоения участка недр, в том числе в виде различных техногенных георесурсов. К ним относятся техногенные месторождения, а также сооружения в виде специальных насыпей из вскрышных и вмещающих пород, используемые в качестве емкости или как строительные полигоны [10-12]. Кроме того, горнодобывающие предприятия, имея свой производственный потенциал, в регионах с развитой инфраструктурой, кроме основной деятельности, могут выполнять процессы открытой геотехнологии для внешних потребителей [13, 14]. К ним относятся выполнение буровзрывных работ, экскавация, транспортирование и др.

Систематизация продукции современного горнодобывающего предприятия, произведенная автором статьи, представлена на **рис. 1**.

Существующее понятие производственной мощности горного предприятия не позволяет в полной мере оценить потенциал и комплексность освоения преобразуемого в процессе эксплуатации участка недр. Разнонаправленность выпускаемой продукции и эффективность работы предприятия не позволяют оценить устойчивость горнодобывающего предприятия в изменяющихся горно-геологических, горнотехнических и рыночных условиях.

Эффективное функционирование горнотехнической системы открытой геотехнологии при комплексном освоении участка недр определяется не только минерально-сырьевой базой месторождения, а также используемым оборудованием, технологиями и способами организации производства, но и зависит от его территориального расположения относительно других промышленных и развитых районов страны, уровня развития транспортной и социальной инфраструктуры, рынков сбыта и других влияющих внешних факторов. Что в целом определяет потенциал развития горнодобывающего предприятия и его горных возможностей в широком смысле.

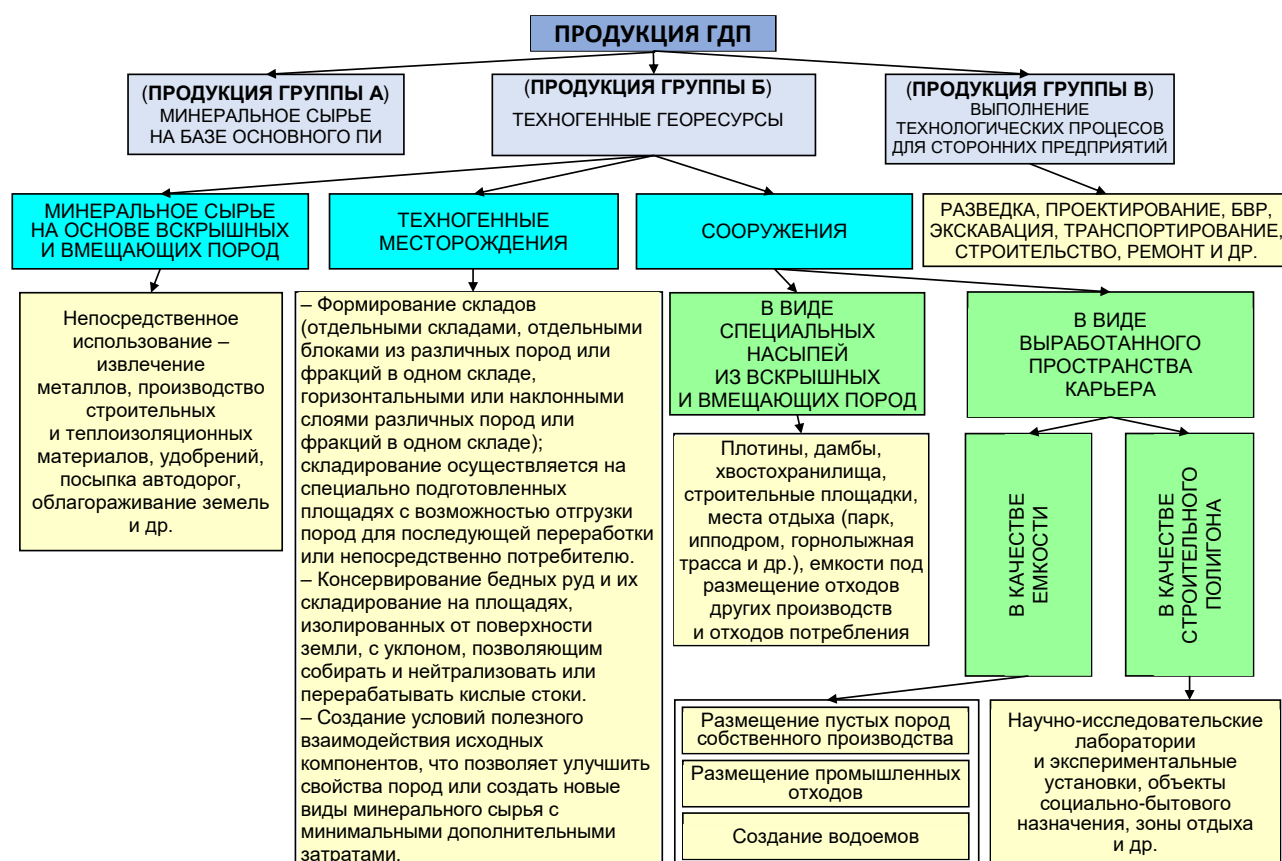


Рис. 1. Номенклатура продукции современных горнодобывающих предприятий

Fig. 1. Product range of modern mining enterprises

Несмотря на наличие факторов, ограничивающих реализацию продукции выделяемых групп (см. рис. 1), имеются многочисленные примеры горнодобывающих предприятий с расширением своей производственной деятельности и номенклатуры выпускаемой продукции. В частности, развитие производственной деятельности можно рассмотреть на примере предприятия, разрабатывающего месторождение известняков в Оренбургской области, характеристика которого в различные периоды времени представлена в табл. 1. До 2010 года на предприятии выпускался один вид продукции – флюсовый известняк, и производственная мощность по его производству была ограничена низким спросом. Развитие строительной отрасли в тот период позволило найти выход из этой ситуации, которым стало решение строительства цементного завода на базе имеющейся инфраструктуры предприятия. В результате была пересмотрена номенклатура минерально-сырьевых ресурсов предприятия и выпускаемой продукции. Глина, которая была вскрышной породой, перешла в категорию полезного ископаемого. К 2020 году на предприятии производится уже 6 видов продукции: известняк, глины, щебень и др. Также с целью снижения издержек буровзрывные работы, транспортировка горной массы переданы для выполнения сторонними организациями. Эти преобразования в целом позволили повысить комплексность осво-

ения участка недр и повысить устойчивость функционирования предприятия, что стало возможным за счет выбора различных направлений развития и изменения параметров горнотехнической системы.

Таким образом, для повышения устойчивости горнодобывающих предприятий на неопределенно долгий промежуток времени в современных условиях разработки месторождений необходимо управление параметрами горнотехнической системы с развитием одновременно нескольких различных направлений, соответствующих имеющейся ресурсной базе участка недр, включающих: гибкое изменение объема вовлекаемых в разработку запасов, производительности, качества, ассортимента и номенклатуры выпускаемой продукции, в том числе на основе техногенных георесурсов, а также организацию выполнения технологических процессов открытой геотехнологии для других предприятий или привлечение подрядных организаций для снижения издержек.

Под управлением параметрами горнотехнической системы при комплексном освоении участка недр понимается процесс планирования, изменения и контроля ключевых характеристик и функций горнотехнической системы с целью обеспечения устойчивости функционирования горнодобывающего предприятия в сложных горно-геологических, горнотехнических и рыночных условиях.

Таблица 1. Характеристика предприятия Оренбургской области, разрабатывающего месторождение известняков в различные периоды времени
Table 1. Characteristics of an enterprise in the Orenburg Region developing a limestone deposit in different periods of time

В период до 2010 года	В период 2010-2020 годов
<p><i>Производственные единицы:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Центральный карьер – Северо-Западный карьер – ДСК – Известково-обжиговый цех <p><i>Продукция</i> – флюсовый известняк (объем производства – 2,5 млн т/год)</p> <p><i>Производство технологических процессов</i> – собственными силами</p> <p><i>Транспортирование горной массы</i> – комбинированный автомобильно-железнодорожный транспорт</p>	<p><i>Производственные единицы:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Центральный карьер – Северо-Западный карьер – ДСК – Известково-обжиговый цех – Цементный завод – Цех разработки шлаковых отвалов – Отдел распространения программного продукта <p><i>Продукция:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – флюсовый известняк (3,2 млн т/год) – легкоплавкие глины (вскрышные породы) (200 тыс. т/год) – цементная продукция в ассортименте (около 2 млн т/год) – щебень шлаковый – металлосодержащая продукция – лом огнеупорных изделий <p><i>Производство технологических процессов:</i> буровзрывные работы, транспортировка горной массы выполняются сторонними организациями, остальные процессы – собственными силами</p> <p><i>Транспортирование горной массы</i> – только автомобильным транспортом</p>

Ключевыми параметрами или характеристиками горнотехнической системы являются:

- объем вовлекаемых в разработку запасов полезного ископаемого;
- качество добываемого сырья;
- производственная мощность;
- номенклатура выпускаемой продукции.

Функциями горнотехнической системы, в зависимости от расположения участка недр относительно промышленных районов с развитой инфраструктурой, являются:

- освоение балансовых запасов полезного ископаемого;
- формирование и освоение техногенных георесурсов, включая техногенные ландшафты с заданными потребительскими характеристиками;
- создание производственной инфраструктуры с выполнением технологических процессов для собственного производства и сторонних предприятий или с привлечением подрядных организаций для снижения издержек.

Разработанная автором статьи структурная схема элементов и параметров горнотехнической системы представлена на рис. 2.

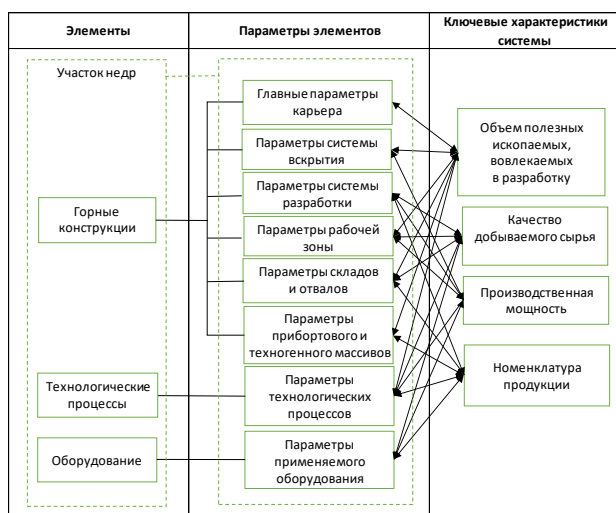


Рис. 2. Структурная схема элементов и параметров горнотехнической системы

Fig. 2. A block diagram of the elements and parameters of the mining system

Эффективность комплексного освоения участка недр и устойчивость функционирования горнодобывающего предприятия предлагается определять разработанным автором статьи интегральным показателем горных возможностей. Разработанный показатель учитывает получение дополнительных доходов от изменения объема вовлекаемых в разработку запасов, производительности карьера, качества добываемого сырья и номенклатуры товарной продукции, включая техногенные георесурсы и выполнение услуг сторонним предприятием в зависимости от внешних и внутренних факторов развития горнотехнической системы. Расчет показателя производится на основе приве-

дения доходности предприятия, в том числе получаемой от развития обозначенных направлений и видов деятельности, к сопоставимому по ценности объему добываемого полезного ископаемого. Отношение этого объема к производственной мощности предприятия определяет значение показателя.

Разработанный интегральный показатель горных возможностей

$$K_{ГВ} = \frac{Q_{К}^{\text{ФАКТ}} \left(1 + \frac{\sum_{i=1}^n (B_i - Z_i)}{B_{\text{ПН}} - Z_{\text{ПН}}} \right)}{P_{\text{М}}} \rightarrow \max, \quad (1)$$

где $P_{\text{М}}$ – производственная мощность горнодобывающего предприятия, млн т/год; $Q_{К}^{\text{ФАКТ}}$ – фактическая производительность карьера, млн т/год; B_i – выручка от дополнительного направления или нового вида деятельности предприятия по развитию ключевых параметров и характеристик системы, руб.; Z_i – затраты на развитие дополнительного направления или нового вида деятельности предприятия; $B_{\text{ПН}}$ – выручка от реализации балансовых запасов полезных ископаемых, руб.; $Z_{\text{ПН}}$ – затраты на освоение балансовых запасов полезных ископаемых, руб.; n – количество новых видов деятельности горнодобывающего предприятия; i – отдельное направление или вид дополнительной деятельности горнодобывающего предприятия.

На величину производственной мощности влияет множество технических и экономических факторов [15]. В том числе:

- горно-геологические условия разработки;
- объем и ценность запасов месторождения;
- максимально возможная скорость развития горных работ, включая:
 - скорость понижения горных работ;
 - скорость подвигания фронта;
 - количество и производительность горнотранспортного оборудования;
 - провозную способность транспортных коммуникаций;
- срок отработки месторождения или эксплуатации карьера;
- потребность в добываемом сырье;
- размер и график инвестиций, условия финансово-хозяйственной деятельности предприятия.

Степень использования производственной мощности характеризуется коэффициентом использования мощности, который выражается отношением годового объема добытого полезного ископаемого к фактической мощности. Так, максимальный коэффициент использования мощности может быть равен единице [16].

Разработанный интегральный показатель горных возможностей в зависимости от комплексности освоения участка недр и развиваемой инфраструктуры может иметь значение, равное больше единицы, что определяет степень снижения зависимости горного предприятия и эффективности производства от пред-

ставленных факторов, а значит, определяет уровень его устойчивости.

Таким образом, период освоения участка недр будет зависеть не только от объема запасов и производственной мощности, но и будет иметь большее значение по сравнению с классическим представлением.

Период освоения участка недр

$$T' = \frac{3}{P_M} \cdot \frac{1-\eta}{1-\rho} \cdot K_{ГВ}, \quad (2)$$

где 3 – балансовые запасы месторождения; P_M – производственная мощность карьера; η и ρ – предельно допустимые (нормируемые) коэффициенты соответственно потерь и объемного разубоживания; $K_{ГВ}$ – интегральный показатель горных возможностей.

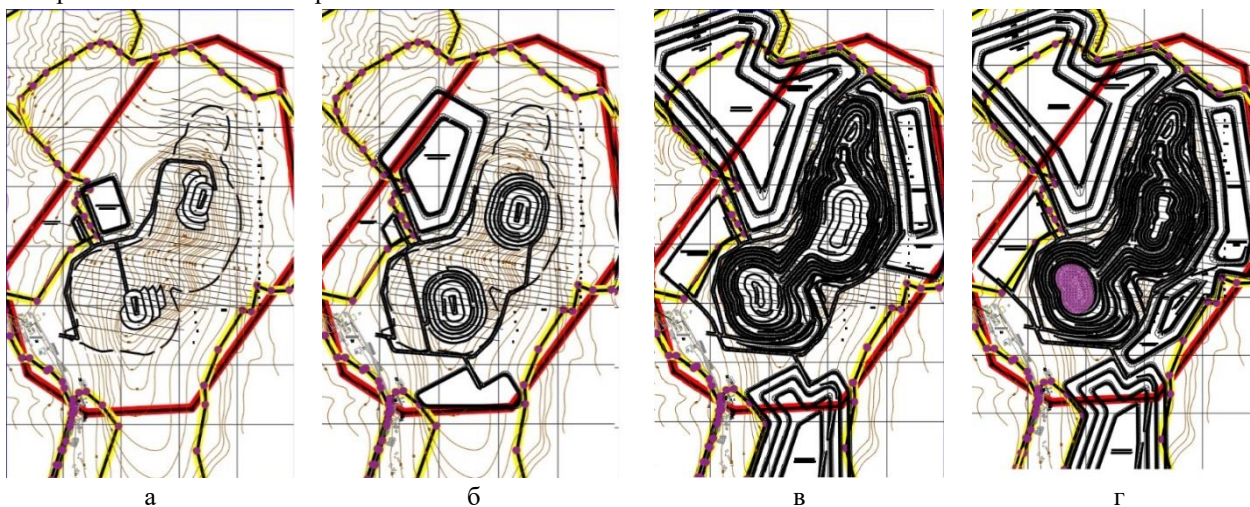


Рис. 3. Поэтапное развитие железорудного карьера и отвалов: а – I этап до отметки горизонта 500 м; б – II этап до отметки горизонта 400 м; в – III этап до отметки горизонта 300 м; г – IV этап до отметки горизонта 200 м (на конец отработки)

Fig. 3. Stage-by-stage development of an iron ore open pit and disposal areas: a is Stage I up to a horizon level of 500 m, б is Stage II up to a horizon level of 400 m, в is Stage III up to a horizon level of 300 m, г is Stage IV up to a horizon level of 200 m (at the end of mining)

Таблица 2. Горнотехнические показатели по этапам разработки железорудного месторождения с нарастающим итогом

Table 2. Mining indicators by stages of iron ore deposit development with cumulative totals

Горнотехнические показатели	Единицы измерения	I этап	II этап	III этап	IV этап
Объем горной массы	тыс. м ³	5392,1	43747,3	225053,8	255032,8
Объем железной руды	тыс. м ³	1399,6	9794,9	28854,2	38241,0
Объем вскрышных пород, в том числе:	тыс. м ³	3992,5	33952,4	196199,6	216791,8
– строительный камень	тыс. м ³	-	6019,3	97653,1	101996,7
– вскрышные породы	тыс. м ³	3834,2	27486,4	94646,6	110895,2
– почвенный грунт	тыс. м ³	158,3	446,6	3899,8	3899,8
Производительность по железной руде	тыс. м ³ /год	666,6	666,6	666,6	666,6
Производительность по вскрыше	тыс. м ³ /год	1901,7	2310,8	4533,1	3779,3
Расстояние транспортирования	км	1,7	4,5	8,5	8
Общий годовой пробег автосамосвалов	тыс. км	560,6	1700,1	5427,6	4400,8
Количество экскаваторов ЭКГ-5А	шт.	4	5	8	8
Количество автосамосвалов БелАЗ 7547	шт.	7	15	38	33
Количество буровых станков СБШ-250МН	шт.	4	5	6	6
Коэффициент вскрыши	м ³ /м ³	2,85	3,47	6,80	5,67
Срок отработки	год	2	15	43	57
Горизонт расчета экономических показателей	год	2	15	20	20

Полученные результаты и их обсуждение

Расчет интегрального показателя горных возможностей рассмотрен на примере железорудного месторождения, на участке недр которого накоплен большой объем строительного камня, пригодного для изготовления щебня. В работе определены технико-экономические показатели разработки данного месторождения, в том числе с учетом вовлечения техногенных георесурсов в виде реализации строительного камня из отвалов. На рис. 3 представлено поэтапное развитие горных работ железорудного карьера и отвалов. Основные горнотехнические условия и показатели разработки для каждого этапа с нарастающим итогом представлены в табл. 2.

Для каждого этапа произведен расчет среднегодовой прибыли, получаемой от реализации железной руды, добываемой из карьера при производственной мощности 2,4 млн т/год и среднегодовой прибыли, получаемой от реализации строительного камня, добываемого из отвалов в объеме 1 млн т/год. Расчетные значения экономических показателей представлены в **табл. 3**.

Так, на основе данных, представленных в **табл. 2, 3**, для горнотехнических условий, соответствующих последнему этапу освоения месторождения, интегральный показатель горных возможностей будет равен 1,3:

$$K_{ГВ} = \frac{2,4 + 2,4 \cdot \left(\frac{617,3}{1954,07} \right)}{2,4} = 1,3.$$

Таким образом, реализация всех видов продукции рассматриваемого горного предприятия, включая техногенные георесурсы в виде строительного камня из отвалов, по значению прибыли сопоставима с объемом добычи балансовых запасов в объеме 3,1 млн т/год.

Для повышения интегрального показателя горных возможностей до значения, равного 2,0, потребуется увеличение добычи строительного камня из отвалов в объеме, обеспечивающем получение прибыли, сопоставимой с прибылью, получаемой от реализации железной руды. В результате моделирования построена зависимость (**рис. 4**), показывающая соотношение объемов добычи железной руды из карьера и строительного камня из отвалов, обеспечивающих одинаковое значение среднегодовой прибыли и интегрального показателя горных возможностей $K_{ГВ} = 2,0$ на разных этапах освоения участка недр.

Так, например из представленного графика видно, что к окончанию IV этапа разработки карьера среднегодовая прибыль, получаемая от добычи и реализация 1 млн т железной руды, сопоставима с прибылью, по-

лучаемой от добычи и реализации строительного камня из отвалов в объеме 1,5 млн т/год. Таким образом, при большем вовлечении техногенных георесурсов и всей формируемой инфраструктуры участка недр к освоению возможно получение прибыли, сопоставимой с добычей природных ресурсов. Это подтверждает, что техногенные георесурсы действительно являются одним из видов новой продукции горнодобывающего предприятия, целенаправленное формирование и освоение которой позволяет повысить устойчивость его функционирования.

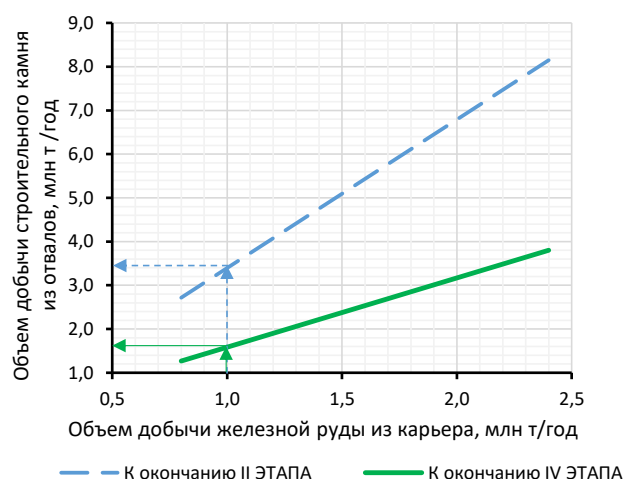


Рис. 4. Зависимость, показывающая соотношение объемов добычи железной руды из карьера и строительного камня из отвалов, обеспечивающих одинаковое значение среднегодовой прибыли

Fig. 4. Dependence showing the ratio between the volumes of production of iron ore from the open pit and building stone from disposal areas, providing the same average annual profit

Таблица 3. Расчетные значения экономических показателей при реализации железной руды, добываемой из карьера и строительного камня из отвалов, млн руб.

Table 3. Calculated values of economic indicators for the sale of iron ore extracted from the open pit and building stone from disposal areas, million rubles

Экономические показатели	I этап		II этап		III этап		IV этап	
	Руда	Камень	Руда	Камень	Руда	Камень	Руда	Камень
Капитальные затраты	292	–	429	–	803	–	752	–
Эксплуатационные затраты	2199	182	25309	1366	89206	1821	90611	6712
Валовая прибыль	11728	1547	79140	11596	50045	15446	48643	10558
Выручка от реализации железной руды	13928	–	104457	–	139275	–	139275	–
Выручка от реализации щебня из строительного камня отвалов	–	1729	–	12968	–	17291	–	17291
ЧДД	7751	1303	29627	4556	17375	5359	14293	3815
Среднегодовая чистая прибыль	4691	619	4207	618	2002	618	1954	617

Заключение

Проведенные исследования доказывают, что развитие различных направлений освоения имеющейся ресурсной базы участка недр, предусматривающих расширение ассортимента и номенклатуры выпускаемой продукции, в том числе на основе техногенных георесурсов, позволяет повысить комплексность освоения участка недр и устойчивость горнодобывающего предприятия в современных условиях рынка.

Таким образом, эффективность и устойчивость функционирования современного горнодобывающего предприятия достигается обоснованием параметров горнотехнической системы на этапе проектирования и управления этими параметрами на этапе эксплуатации с их нацеливанием на повышение комплексности освоения целенаправленно преобразуемого участка недр. Это достигается формированием оптимального и сбалансированного соответственно по доходности и затратам комплекса производственной деятельности, учитывающей выпуск расширенной номенклатуры продукции и услуг открытой геотехнологии с возможностью гибко изменять объемы их производства.

Список источников

1. Дадалова М.В. Управление производственной мощностью на промышленных предприятиях // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. №4 (99). С. 242-247.
2. Закон РФ от 21.02.1992 № 2395-1 (ред. от 29.12.2022) «О недрах».
3. Выбор стратегии устойчивого развития горнотехнической системы методом МАВАС / Бурмистров К.В., Гавришев С.Е., Осинцев Н.А., Пыталев И.А. // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2021. №4. С. 268-283.
4. Rakhmangulov A., Burmistrov K., Osintsev N. Selection of open-pit mining and technical system's sustainable development strategies based on MCDM // Sustainability. 2022, vol. 14, no. 13, p. 8003.
5. Rylnikova M.V., Strukov K.I., Berger R.V., Esina E.N. Justification of Logistical System Development at Svetlinskiy Open-Pit Mine with Account for Potential Transition to Combined Open Cast and Underground Mining Methods // Mining Industry Journal (Gornay Promishlennost). 2019, vol. 148, no. 6, pp. 106-111.
6. Рыжов С.В., Рыльникова М.В. Обоснование структуры производственной мощности золотодобывающего предприятия на различных этапах развития открытых горных работ // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2020. Вып. 1. С. 458-470.
7. Условия и опыт формирования промышленных комплексов на базе угольных месторождений восточных регионов России / Ческидов В.И., Гаврилов В.Л., Резник А.В., Немова Н.А. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2023. Т. 21. №4. С. 13-22. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2023-21-4-13-22>

8. Palka D., Stecula K. Concept of technology assessment in coal mining // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, vol. 261, no. 1, 012038. DOI: 10.1088/1755-1315/261/1/012038
9. Горное дело: Терминологический словарь / под науч. ред. акад. РАН К.Н. Трубецкого, чл.-корр. РАН Д.Р. Каплунова. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Горная книга, 2016. 635 с.
10. Заляднов В.Ю. Обоснование способов формирования техногенных георесурсов при открытой разработке железорудных месторождений: дис. ... канд. техн. наук. Магнитогорск, 2005. 130 с.
11. Гавришев С.Е., Заляднов В.Ю., Пыталев И.А. Формирование и освоение техногенных георесурсов. Определение параметров карьеров и отвалов. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2011. 160 с.
12. Пыталев И.А. Обоснование параметров открытой геотехнологии комплексного освоения крутопадающих месторождений для устойчивого развития горнотехнических систем: дис. ... д-ра техн. наук: 25.00.22, 25.00.21 / Магнитогорск. гос. техн. ун-т им. Г.И. Носова. Магнитогорск, 2019. 349 с.
13. Гавришев С.Е., Заляднов В.Ю., Биктеева Н.С. Направления диверсификации деятельности горнодобывающего предприятия // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2018. №7. С. 5-15.
14. Обоснование стратегии развития горнодобывающих предприятий на основе анализа доходности и риска при аутсорсинге и диверсификации / Заляднов В.Ю., Гавришев С.Е., Михайлова Г.В., Кадеров С.С., Коваленко Н.В. // Горная промышленность. 2021. №4. С. 134-139. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-4-134-139
15. Трубецкой К.Н., Краснянский Г.Л., Хронин В.В. Проектирование карьеров: учебник для вузов: В 2 т. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во Академии горных наук, 2001. Т. 1. 519 с.: ил.
16. Ревазов М.А. Горная энциклопедия; под ред. Е.А. Козловского. М.: Советская энциклопедия. 1984-1991.

References

1. Dadalova M.V. Controlling production capacity at industrial enterprises. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of Irkutsk State Technical University]. 2015;(4(99)):242-247. (In Russ.)
2. Law of the Russian Federation "On subsoil" No. 2395-1 dated 21.02.1992 (as revised on 29.12.2022).
3. Burmistrov K.V., Gavrishchev S.E., Osintsev N.A., Pytalev I.A. Choosing a strategy for sustainable development of the mining system using the MAVAS method. *Izvestiya Tulsckogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle* [Izvestiya of Tula State University. Earth Sciences]. 2021;(4):268-283. (In Russ.)
4. Rakhmangulov A., Burmistrov K., Osintsev N. Selection of open-pit mining and technical system's sus-

- tainable development strategies based on MCDM. Sustainability. 2022;14(13):8003.
5. Rylnikova M.V., Strukov K.I., Berger R.V., Esina E.N. Justification of logistical system development at Svetlinskiy open-pit mine with account for potential transition to combined open cast and underground mining methods. *Gornaya promyshlennost* [Russian Mining Industry]. 2019;148(6):106-111. (In Russ.)
 6. Ryzhov S.V., Rylnikova M.V. Providing a rationale for the structure of the gold mining plant production capacity at various stages of development of open pit mining. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle* [Izvestiya of Tula State University. Earth Sciences]. 2020;(1):458-470. (In Russ.)
 7. Cheskidov V.I., Gavrilov V.L., Reznik A.V., Nemova N.A. Conditions and experience of establishing industrial complexes based on coal deposits of eastern regions of Russia. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2023;21(4):13-22. (In Russ.) <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2023-21-4-13-22>
 8. Palka D., Stecula K. Concept of technology assessment in coal mining. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019;261(1):012038. DOI: 10.1088/1755-1315/261/1/012038
 9. Trubetskoy K.N., Kaplunov D.R. *Gornoe delo: Terminologicheskii slovar* [Mining: Dictionary of terms]. 5th ed., updated and revised. Moscow: Gornaya kniga, 2016. 635 p. (In Russ.)
 10. Zalyadnov V.Yu. *Obosnovanie sposobov formirovaniya tekhnogennykh georesursov pri otkrytoy razrabotke zhelezorudnykh mestorozhdeniy: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Providing a rationale for methods of forming technology-related georesources during open pit mining of iron ore deposits: PhD thesis]. Magnitogorsk, 2005. 130 p.
 11. Gavrishev S.E., Zalyadnov V.Yu., Pytalev I.A. *Formirovaniye i osvoeniye tekhnogennykh georesursov. Opredeleniye parametrov karerov i otvalov* [Forming and exploration of technology-related georesources. Determining parameters of open pits and disposal areas]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2011. 160 p. (In Russ.)
 12. Pytalev I.A. *Obosnovaniye parametrov otkrytoy geotekhnologii kompleksnogo osvoeniya krutopadayushchikh mestorozhdeniy dlya ustoychivogo razvitiya gornotekhnicheskikh sistem: dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Providing a rationale for open geotechnology parameters of the integrated exploration of steep-grade deposits for sustainable development of mining systems: doctoral thesis]. Magnitogorsk: 2019. 349 p.
 13. Gavrishev S.E., Zalyadnov V.Yu., Bikteeva N.S. Areas of diversifying activities of a mining enterprise. *Gornyye informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)* [Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)]. 2018;(7):5-15. (In Russ.)
 14. Zalyadnov V.Yu., Gavrishev S.E., Mikhaylova G.V., Kaderov S.S., Kovalenko N.V. Providing a rationale for the strategy of development of mining enterprises by analyzing profitability and risks of outsourcing and diversification. *Gornaya promyshlennost* [Russian Mining Industry], 2021;(4):134-139. (In Russ.) DOI: 10.30686/1609-9192-2021-4-134-139
 15. Trubetskoy K.N., Krasnyanskiy G.L., Khronin V.V. *Proektirovaniye karerov: uchebnyy dlya vuzov: V 2 t.* [Open pit design: textbook for universities. In 2 volumes]. 2nd ed., updated and revised. Moscow: Academy of Mining Sciences, 2001. Vol. 1. 519 p. (In Russ.)
 16. Revazov M.A. *Gornaya entsiklopediya* [Encyclopedia of mining]. Ed. by E.A. Kozlovsky. Moscow: Soviet encyclopedia. 1984-1991. (In Russ.)

Поступила 20.02.2024; принята к публикации 14.03.2024; опубликована 27.06.2024
Submitted 20/02/2024; revised 14/03/2024; published 27/06/2024

Заляднов Вадим Юрьевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. Email: zalyadnov@mail.ru. ORCID 0000-0002-5730-1432

Vadim Yu. Zalyadnov – PhD (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mineral Deposits Development, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Email: zalyadnov@mail.ru. ORCID 0000-0002-5730-1432