Оригинальная статья / Original Paper

https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-5-244-250

Подход к обеспечению устойчивого функционирования горнодобывающих предприятий за счет адаптации параметров горнотехнической системы к условиям изменения внешних и внутренних факторов

В.Ю. Заляднов[1], С.Е. Гавришев[1], И.В. Зырянов[2] ✉
[1] Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Российская Федерация
[2] Политехнический институт (филиал) Северо-Восточного Федерального университета им. М.К. Аммосова в г. Мирном, г. Мирный, Российская Федерация
✉ zyryanoviv@inbox.ru

Резюме: Разработка месторождений полезных ископаемых открытым способом характеризуется постоянным усложнением горно-геологических и горнотехнических условий на фоне высокой изменчивости цен и спроса на производимое сырье. Для компенсации негативных факторов и обеспечения устойчивого функционирования горных предприятий необходимо периодическое обновление организационных и технологических проектов по освоению участка недр с изменением параметров горнотехнической системы. С этой целью в исследовании рассматривается инженерное решение по организации и формированию в рабочей зоне карьера участков с конструктивными параметрами, адаптированными под использование оборудования малой мощности, в том числе гидравлических экскаваторов с емкостью ковша до 5–6 м³. В статье показано влияние геометрических характеристик гидравлических экскаваторов на параметры горнотехнической системы. Авторы установили, что с увеличением геометрических (линейных) параметров и единичной производственной мощности гидравлических экскаваторов возрастает их абсолютная производительность и снижается удельная производительность на 1 м³ емкости ковша. Соответственно, интенсивность отработки участка экскаваторами с меньшей емкостью ковша будет выше, чем при использовании экскаваторов с большой емкостью ковша, при условии равного суммарного объема емкости ковшей всех сравниваемых экскаваторов. Для ряда рудных и угольных месторождений в условиях изменения внешних и внутренних факторов предложенное инженерное решение позволяет обеспечить гибкое регулирование производительности карьера, номенклатуры товарной продукции и услуг, а также качества и объема вовлекаемых в разработку запасов.

Ключевые слова: интенсивность отработки участка карьера, рабочая зона карьера, высота уступа, угол откоса рабочего борта, концентрация оборудования, гидравлический экскаватор, емкость ковша экскаватора, производительность карьера, качество добываемого сырья

Для цитирования: Заляднов В.Ю., Гавришев С.Е., Зырянов И.В. Подход к обеспечению устойчивого функционирования горнодобывающих предприятий за счет адаптации параметров горнотехнической системы к условиям изменения внешних и внутренних факторов. *Горная промышленность*. 2026;(5):244–250. https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-5-244-250

An approach to ensuring sustainable operation of mining companies by adapting parameters of the mining system to changing external and internal factors

V.Yu. Zalyadnov[1], S.E. Gavrishev[1], I.V. Zyryanov[2] ✉
[1] Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation
[2] Mirny Polytechnic Institute (branch) of North-Eastern Federal University, Mirny, Russian Federation
✉ zyryanoviv@inbox.ru

Abstract: Surface mining of mineral deposits is characterized by increasingly complex mining-geological and mining-engineering conditions, against a backdrop of high volatility in prices and demand for the raw materials produced. To offset negative factors and ensure sustainable operation of mining companies, it is essential to periodically update organizational and technological plans for developing the mineral deposit by adjusting parameters of the mining system. For this purpose, the study examines an engineering solution for organizing and creating areas within the open-pit mine's working zone with design parameters adapted for utilization of low-power equipment, including hydraulic excavators with the bucket capacity of up to 5–6 m³. The paper demonstrates the impact of geometric specifications of the hydraulic excavators on the parameters of the mining system. The authors discovered that as the geometric (linear) parameters and the unit output of the hydraulic excavators increase, their absolute output increases, while their specific output per 1 m³ of the bucket capacity decreases. Accordingly, the efficiency

of excavating a block using excavators with smaller bucket capacities will be higher than when using excavators with larger bucket capacities, provided that the total bucket capacity of all the excavators being compared is equal. For a number of ore and coal deposits, the proposed engineering solution allows for flexible control of the open-pit output, the range of commercial products and services, as well as the quality and volume of the reserves involved in mining, even in conditions of changing external and internal factors.

Keywords: efficiency of excavating an open-pit block, open-pit working area, bench height, highwall slope angle, equipment concentration, hydraulic excavator, excavator bucket capacity, open-pit mine output, quality of mined raw materials

For citation: Zalyadnov V.Yu., Gavrishev S.E., Zyryanov I.V. An approach to ensuring sustainable operation of mining companies by adapting parameters of the mining system to changing external and internal factors. *Russian Mining Industry.* 2026;(5):244–250. (In Russ.) https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-5-244-250

Введение

Современный рынок минеральных ресурсов характеризуется непрерывными колебаниями и трансформациями, что обусловливает необходимость поиска решений, позволяющих горнодобывающим предприятиям находиться в состоянии, обеспечивающем способность к быстрой адаптации к изменяющимся условиям для сохранения эффективной работы. При этом открытая разработка месторождений полезных ископаемых осуществляется в постоянно усложняющихся горнотехнических и горно-геологических условиях. Увеличивается глубина и площадь карьеров, растет протяженность вскрывающих выработок, снижается содержание полезного компонента в разрабатываемых рудах, ухудшается качество добываемых углей и других твердых полезных ископаемых, что в целом приводит к повышению издержек производства. Ухудшение условий освоения участка недр и истощение балансовых запасов в изменяющейся конъюнктуре рынка без соответствующего изменения параметров горнотехнической системы снижает устойчивость функционирования горнодобывающих предприятий и может приводить к полному прекращению их хозяйственной деятельности [1]. Таким образом, совершенствование принципов и подходов, на которых базируются существующие методики обоснования структуры и значений применяемых параметров горнотехнических систем, является актуальной научно-практической задачей.

Чтобы поддерживать эффективную деятельность в условиях влияния внешних и внутренних факторов, горнодобывающим компаниям целесообразно создавать новые конкурентные производственные мощности на основе действующих объектов недропользования, ориентируясь преимущественно на продукцию и услуги, стабильно востребованные рынком. Такой подход позволяет диверсифицировать риски низкой прибыльности отдельных сегментов производства посредством получения прибыли от других направлений, обеспечивая таким образом полное и комплексное использование ресурсов месторождения и продлевая жизненный цикл предприятия [2–4]. Данный подход реализуется, в частности, на основе направленного усовершенствования многоцелевого применения открытой геотехнологии. Следует расширять область её использования от комплексного освоения запасов месторождения полезного ископаемого до комплексного освоения целенаправленно преобразуемого участка недр и его инфраструктуры, которые необходимо рассматривать исключительно в совокупности с параметрами формируемой горнотехнической системы. При этом динамика изменения параметров открытой геотехнологии определяет устойчивость функционирования горнодобывающего предприятия [5].

Сегодня к продукции горнодобывающего предприятия следует относить не только природные полезные ископаемые, но и техногенные георесурсы, а также производственную инфраструктуру с возможностью выполнения горнотехнических услуг оборудованием и персоналом для сторонних организаций. В целом расширение номенклатуры товарной продукции и услуг предприятия с открытой геотехнологией на всех этапах развития горных работ обеспечивается за счет заблаговременного формирования перспективных горных возможностей путем оперативного управления параметрами горнотехнической системы, оптимизация которых производится на основе заданного критерия экономической эффективности. Номенклатуру выпускаемой продукции предлагается рассматривать наряду с основными показателями горнотехнической системы, такими как объем вовлекаемых запасов полезного ископаемого, производительность и качество добываемого сырья [5]. Так, устойчивость функционирования горнодобывающего предприятия достигается за счет оперативного изменения параметров горнотехнической системы, обеспечивающих гибкое регулирование комплекса значений её основных показателей.

Реализация предложенной модели обеспечения устойчивого функционирования горнодобывающего предприятия возможна на основе установления зависимостей между комплексом основных показателей и применяемых параметров горнотехнической системы для выбора оптимального сочетания их значений, позволяющих осуществлять одновременное развитие нескольких перспективных направлений освоения участка недр и сохранять требуемую эффективность.

С этой целью в данной работе рассматривается инженерное решение по организации и формированию в рабочей зоне карьера участков с конструктивными параметрами, адаптированными под использование оборудования малой мощности, в том числе гидравлических экскаваторов с емкостью ковша до 5–6 м^3. Для ряда рудных и угольных месторождений данное решение обеспечивает возможность для оперативного регулирования таких показателей, как производительность, качество и номенклатура продукции. Так, в случае положительного изменения конъюнктуры рынка использование на отдельных участках экскаваторов с малой емкостью ковша позволяет повысить селективную выемку различных типов и сортов полезного ископаемого, включая попутное сырье, имеющее высокую ценность [6–9]. Таким образом, возможно расширение ассортимента и номенклатуры продукции. Кроме того, гидравлические экскаваторы малой мощности, в том числе с емкостью ковша до 5–6 м^3, в случае изменения конъюнктуры рынка могут быть использованы при разработке техногенных месторождений или для строительства различных горнотехнических сооружений собственного производства, а также для нужд сторонних организаций [10–14]. В целом

горнодобывающее предприятие, имея соответствующее оборудование и инфраструктуру, может осуществлять достаточно широкий спектр услуг сторонним потребителям, обеспечивая тем самым дополнительную доходность. В качестве аутсорсинговых услуг для сторонних организаций горнодобывающее предприятие может выполнять разведку, проектирование, экскавацию, буровзрывные работы, транспортировку и другие уникальные, соответствующие специфике открытой геотехнологии виды работ [15–19].

В настоящей статье представлены исследования влияния геометрических характеристик используемых на карьерах гидравлических экскаваторов на параметры системы разработки, производительность и интенсивность отработки участков карьера.

Результаты

Обеспечение требуемого повышения производительности карьера, обусловленное изменением конъюнктуры рынка, производится за счет вовлечения дополнительного горнотранспортного оборудования или модернизации используемых моделей, изменения параметров системы разработки и участков активной рабочей зоны, а также концентрации и интенсивности горных работ на основе сбалансированности их значений в зависимости от полноты и комплексности освоения участка недр. В настоящее время на рынке предлагается достаточно широкая линейка моделей гидравлических экскаваторов с различными характеристиками [20; 21]. При этом в условиях модернизации оборудования имеет место тенденция его замены на модели с большой единичной производственной мощностью. Это обусловлено, как правило, необходимостью интенсивного разноса вскрышных горизонтов и в целом выполнения значительных объемов вскрышных работ для обеспечения требуемой производительности предприятия [22–24]. Однако в добычной рабочей зоне на отдельных участках для обеспечения возможности гибкого регулирования значений основных показателей горнотехнической системы и для создания условий применения выемочного оборудования на других видах работ в случае необходимости более перспективным представляется использование экскаваторов с емкостью ковша до 5–6 м³.

Установлено, что с увеличением геометрических (линейных) параметров и единичной производственной мощности гидравлических экскаваторов возрастает их абсолютная производительность и снижается удельная производительность на 1 м³ емкости ковша. На рис. 1 представлен теоретический расчет абсолютной и удельной производительности, а также фактические значения удельной производительности гидравлических экскаваторов, применяемых на различных российских горнодобывающих предприятиях.

Таким образом, доказано, что удельная производительность современных карьерных гидравлических экскаваторов с объемом ковша $E_к$ до 5–6 м³ превышает в 1,5–2 раза значение этого же показателя у экскаваторов с ковшами вместимостью $E_к$ свыше 20–22 м³. Соответственно, интенсивность отработки участка экскаваторами с меньшей емкостью ковша будет выше, чем при использовании экскаваторов с большой емкостью ковша при условии равного суммарного объема емкости ковшей всех сравниваемых экскаваторов.

С параметрами применяемого выемочного оборудования связаны параметры системы разработки. Экскаваторы в зависимости от своих геометрических (линейных) параметров имеют ограничения использования по высоте и глубине черпания, а также по ширине рабочей площадки, определяющих их производительность. Для серийно выпускаемых гидравлических экскаваторов на основе анализа технических характеристик и паспортов экскавации горной массы установлена зависимость усредненных значений высоты рабочего уступа и ширины рабочей площадки от емкости ковша (рис. 2).

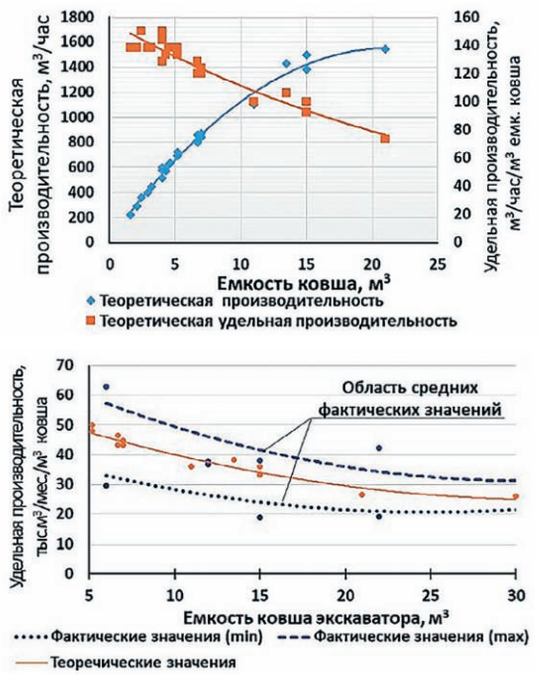


Рис. 1
Теоретическая и удельная производительность гидравлических экскаваторов:
а – расчетные теоретические значения;
б – фактические значения

Fig. 1
Theoretical and specific output of hydraulic excavators:
a – calculated theoretical values;
б – actual values

Данные представленных зависимостей заложены в расчет максимальной концентрации оборудования и интенсивности отработки участка активной рабочей зоны при моделировании вариантов использования гидравлических экскаваторов с различными характеристиками в рабочей зоне карьера.

Под интенсивностью разработки наклонных и крутых месторождений понимается скорость понижения горных работ в карьере. Под управлением интенсивностью

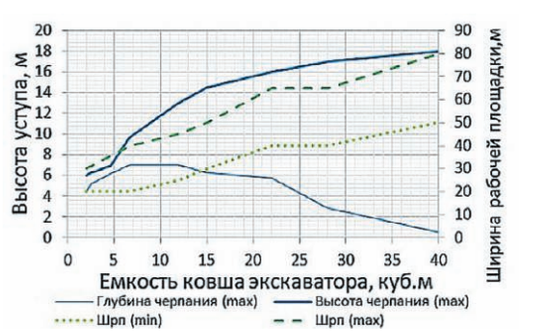


Рис. 2
Зависимость усредненных значений высоты рабочего уступа и ширины рабочей площадки от емкости ковша гидравлических экскаваторов

Fig. 2
A dependence of the average values of the bench height and the width of the working area on the bucket capacity of hydraulic excavators

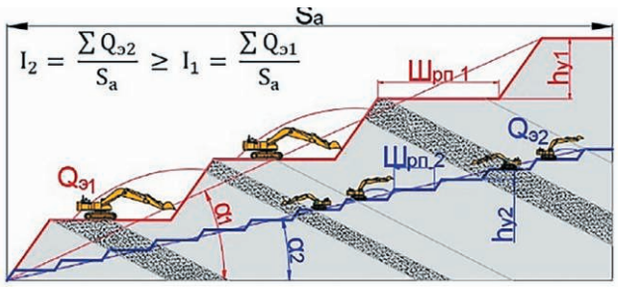


Рис. 3
Участок активной рабочей зоны S_a с вариантами угла наклона рабочего борта α_1 и α_2 с соответствующими им высотой уступа h_{y1} и h_{y2} и шириной рабочей площадки $Ш_{рп1}$ и $Ш_{рп2}$; $Q_э$ – производительность экскаваторов

Fig. 3
A section of the active working zone S_a with different highwall slope angles α_1 and α_2 with the corresponding bench height h_{y1} and h_{y2} and the widths of the working area $Ш_{рп1}$ and $Ш_{рп2}$; $Q_э$ – excavator output

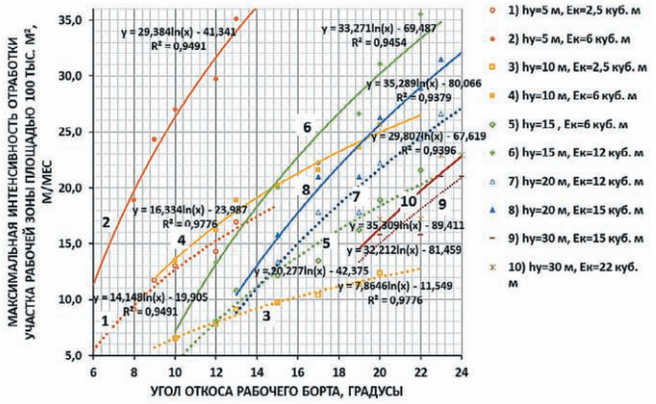


Рис. 4
Зависимость интенсивности отработки участка активной рабочей зоны от высоты уступа, угла откоса рабочего борта и емкости ковша применяемых экскаваторов при максимальной их концентрации

Fig. 4
A dependence of the efficiency of excavating a block in the active working zone on the bench height, the highwall slope angle, and the bucket capacity of the excavators used at their maximum concentration

разработки понимается совокупность последовательных операций по оценке состояния горных работ, целенаправленному изменению концентрации горных работ и оборудования в рабочей зоне, организации горных работ на смежных горизонтах и контролю заданных технологических параметров. Концентрация горных работ, повышение интенсивности отработки отдельных участков и месторождений является важным резервом сокращения текущих объемов вскрыши, улучшения режима горных работ [25–27]. Интенсивность ведения горных работ на отдельном участке рабочей зоны можно оценить с помощью формулы:

$$I_г = \frac{\Sigma Q_э}{S_a}, \quad (1)$$

где $\Sigma Q_э$ – суммарная производительность экскаваторов, работающих на анализируемом участке рабочей зоны, м³; S_a – активная площадь участка рабочей зоны, м².

Под активной площадью рабочей зоны понимается часть рабочей зоны карьера (участка карьера), которая вовлекается в разработку в течение планируемого периода.

В результате исследований выявлено, что на ограниченном участке активной рабочей зоны при переходе на уступы меньшей высоты с сохранением или уменьшением угла откоса рабочего борта, при максимальной концентрации выемочного оборудования, соответствующего параметрам системы разработки, возможно сохранение или повышение интенсивности отработки с одновременным повышением селекции вынимаемой из массива горной массы (рис. 3, 4).

Технологически одно и то же значение угла откоса рабочего борта возможно получить путем различного сочетания высоты уступа и ширины рабочей площадки.

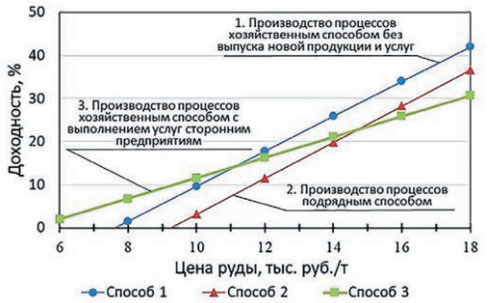
Исследования показывают, что на активной части добычной рабочей зоны возможно получение заданного значения интенсивности как при использовании экскаваторов с большой емкостью ковша, так и с малой при соответствующих выемочному оборудованию параметрах системы разработки и его максимальной концентрации (см. рис. 4).

Из графика видно, что область эффективного использования гидравлических экскаваторов с емкостью ковша 15–22 м³ в активной части добычной рабочей зоны ограничена углом откоса рабочего борта в пределах 18–24° и высотой уступа до 20–30 м, отрабатываемых подуступами. Интенсивность углубки при этом в условиях максимальной концентрации оборудования может достигать 15–20 м/мес. Сопоставимая по значению интенсивность достигается в активной части добычной рабочей зоны с уступами высотой до 5–10 м и результирующим углом его откоса 8–14° при максимальной концентрации оборудования с емкостью ковша 2,5–6 м³.

Следует учитывать, что уменьшение высоты уступа и угла откоса рабочего борта и использование экскаваторов с малой емкостью ковша сопровождается увеличением текущего коэффициента вскрыши, а также повышением затрат на разработку месторождения. Таким образом, доказано, что достижение высокой интенсивности при использовании экскаваторов с малой емкостью ковша целесообразно в условиях положительной конъюнктуры рынка полезных ископаемых высокой ценности. При этом обеспечиваются возможность снижения потерь и разубоживания, повышения товарной стоимости продукции за счет селективной выемки или увеличения ее ассортимента и в целом повышение доходности предприятия и полнота освоения запасов.

Частично реализация предлагаемого подхода и геотехнологических решений по управлению параметрами горнотехнической системы в рамках развития блока показателей – «качество», рассмотрена на примере условий разработки Бейского каменноугольного месторождения. Особо ценной продукцией для данного месторождения является товарный продукт с приведенной теплотой сгорания угля более 5600 ккал/кг. При этом основная часть месторождения представлена запасами угля с приведенной теплотой сгорания в пределах 4100–5500 ккал/кг. Непосредственно для Бейского каменноугольного месторождения установлено, что уменьшение высоты уступа, емкости ковша применяемого экскаватора и параметров скважинных зарядов, повышающих селективность выемки и значений качественных показателей товарной продукции, позволяют увеличить товарную стоимость продукции на отдельных участках более чем в 2,4 раза. Что в целом обеспечивает вовлечение в разработку других участков месторождения с низкими качественными показателями, отработка которых ранее была нерентабельной.

а)



б)

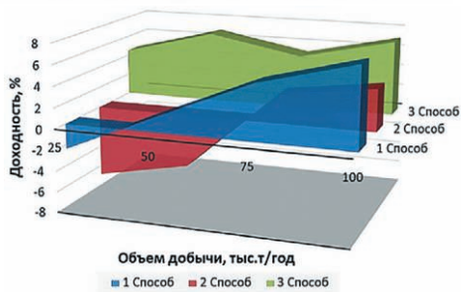


Рис. 5
Оценка влияния способа организации производственной деятельности на доходность и устойчивость предприятия в зависимости от цены и производительности:
а – при производительности карьера 50 тыс. т/год;
б – при цене на руду 8000 руб/т

Fig. 5
An assessment of the impact of the production organization method on the company's profitability and sustainability depending on the price and output:
a – with the open-pit mine output of 50,000 metric tons/year;
б – with the ore price of 8,000 Rubles/metric ton

Предложенный подход по обеспечению устойчивости функционирования горнотехнической системы на основе формирования производственной инфраструктуры, позволяющей выполнять технологические процессы сторонним предприятиям, апробирован на примере разработки небольшого месторождения хромовых руд. Для данного предприятия были рассчитаны различные экономические показатели, в том числе и доходность, в зависимости от цены на добываемое сырье и производительности. При расчете экономических показателей были рассмотрены три принципиально отличающихся способа организации деятельности по освоению участка недр с использованием: 1 – собственных ресурсов без расширения видов деятельности (хозяйственный); 2 – ресурсов сторонних организаций (подрядный); 3 – собственных ресурсов и расширением видов деятельности с оказанием горнотехнических услуг сторонним предприятиям. В комплекс деятельности, предусматривающий выполнение услуг сторонним предприятиям, кроме экскавации, также было заложено производство буровзрывных работ и транспортирования в объеме, соответствующем объемам производства собственного предприятия. Оценка влияния способа организации производственной деятельности на доходность и устойчивость предприятия в зависимости от цены на руду представлена на рис. 5.

В целом результаты исследований показывают, что при ухудшении рыночных условий предложенный подход обеспечивает положительную доходность и соответственно устойчивость функционирования предприятия.

Заключение

Устойчивость функционирования горнотехнической системы в условиях постоянно изменяющейся конъюнктуры рынка достигается на этапе ее проектирования путем формирования резервов для возможности управления параметрами горнотехнической системы с варьированием производительности карьера, качеством добываемого сырья и номенклатуры товарной продукции, включая объем выполнения услуг сторонним предприятиям на основе заданного критерия эффективности.

Одним из геотехнологических решений, расширяющим горные возможности предприятий по обеспечению их устойчивого функционирования, является планирование и организация в рабочей зоне карьера участков с конструктивными параметрами, адаптированными под использование гидравлических экскаваторов с малой емкостью ковша. Это позволяет в условиях изменения конъюнктуры рынка обеспечить гибкое регулирование производительности карьера, качества и объема вовлекаемых в разработку запасов. Изменение конструктивных параметров карьера с уменьшением высоты уступа и угла откоса рабочего борта при применении маломощного выемочно-погрузочного оборудования с обеспечением его высокой концентрации на ограниченном участке активной добычной рабочей зоны при разработке высокоценных полезных ископаемых позволяет при необходимости интенсифицировать отработку месторождения с одновременным повышением селективности выемки из массива горных пород, что обеспечивает увеличение товарной стоимости продукции и расширение ее номенклатуры.

Список литературы / References

1. Заляднов 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;*22*(2):5–13. https://doi.org/10.18503/1995-2732-2024-22-2-5-13
Zalyadnov V.Yu. Assessing sustainability of the operation of the mining system of open geotechnology based on an integral indicator of mining capabilities. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2024;*22*(2):5–13. (In Russ.) https://doi.org/10.18503/1995-2732-2024-22-2-5-13
2. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Развитие научно-методических основ устойчивости функционирования горнотехнических систем в условиях внедрения нового технологического уклада. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2020;(4):24–39.
Kaplunov D. R., Rylnikova M.V. Development of scientific and methodological foundations for the sustainability of mining systems in the context of the introduction of a new technological structure. *Izvestiya Tulskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zemle*. 2020;(4):24–39. (In Russ.)
3. Рыльникова М.В. Условия и принципы устойчивого развития горнодобывающих предприятий в период повышенных рисков и глобальных вызовов. *Горная промышленность*. 2022;(3):69–73. https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-3-69-73
Rylnikova M.V. Conditions and principles for sustainable development of mining companies during a period of higher risks and global challenges. *Russian Mining Industry*. 2022;(3):69–73. (In Russ.) https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-3-69-73

4. Rakhmangulov A., Burmistrov K., Osintsev N. Selection of open-pit mining and technical system's sustainable development strategies based on MCDM. *Sustainability.* 2022;14(13):8003. https://doi.org/10.3390/su14138003

5. Гавришев С.Е., Заляднов В.Ю., Курочкин А.И., Мельник В.В., Пыталев И.А. Методика управления параметрами горнотехнической системы в динамике развития горных работ для обеспечения устойчивого функционирования горнодобывающего предприятия в изменяющихся условиях рынка. *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова.* 2024;22(4):5–14. https://doi.org/10.18503/1995-2732-2024-22-4-5-14
Gavrishev S.E., Zalyadnov V.Yu., Kurochkin A.I., Melnik V.V., Pytalev I.A. Method of managing the parameters of a mining system in the dynamics of mining operations development to ensure the sustainable functioning of a mining enterprise in changing market conditions. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University.* 2024;22(4):5–14. (In Russ.) https://doi.org/10.18503/1995-2732-2024-22-4-5-14

6. Рыльникова М.В., Струков К.И., Федотенко Н.А. Влияние фактора распределения ценных компонентов в массиве месторождения «светлинское» на структуру производственной мощности золотодобывающего предприятия АО «Южуралзолото». *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле.* 2022;(2):375–387.
Rylnikova M.V., Strukov K.I., Fedotenko N.A. The influence of the distribution factor of valuable components in the Svetlinskoye deposit array on the structure of the production capacity of the Yuzhuralzoloto gold mining enterprise. *Izvestiya Tulskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zemle.* 2022;(2):375–387. (In Russ.)

7. Голик В.И., Лукьянов В.Г., Качурин Н.М., Стась Г.В. Эффективность комбинирования технологий выемки руд в пределах рудного поля. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов.* 2020;331(10):32–39. https://doi.org/10.18799/24131830/2020/10/2847
Golik V.I., Lukyanov V.G., Kachurin N.M., Stas G.V. Efficiency of combining ore mining technologies within an ore field. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering.* 2020;331(10):32–39. (In Russ.) https://doi.org/10.18799/24131830/2020/10/2847

8. Секисов А.Г., Чебан А.Ю. Кристаллосберегающая технология открытой разработки сложноструктурных кимберлитовых месторождений. *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова.* 2021;19(2):5–13. https://doi.org/10.18503/1995-2732-2021-19-2-5-13
Sekisov A.G., Cheban A.Yu. Crystal-saving technology of open mining of complex structure kimberlite deposits. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University.* 2021;19(2):5–13. (In Russ.) https://doi.org/10.18503/1995-2732-2021-19-2-5-13

9. Xu R., Sellers E.J., Fathi-Salmi E. Rock recognition and identification for selective mechanical mining: a self-adaptive artificial neural network approach. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment.* 2023;82(7);267. https://doi.org/10.1007/s10064-023-03311-3

10. Жариков С.Н. О вовлечении отвалов горной массы в хозяйственный оборот и месте в этом процессе буровзрывных работ. *Горная промышленность.* 2021;(1):110–113. https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021-1-110-113
Zharikov S.N. On commercialization of waste rock dumps and the role of drilling and blasting operations in this process. *Russian Mining Industry.* 2021;(1):110–113. (In Russ.) https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021-1-110-113

11. Kostromin M.V., Panina T.Yu. Ways of solving the problems of rational nature management in the areas of alluvial deposits development. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* 2022;962:012053. https://doi.org/10.1088/1755-1315/962/1/012053

12. Kalisz S., Kibort K., Mioduska J., Lieder M., Małachowska A. Waste management in the mining industry of metals ores, coal, oil and natural gas – A review. *Journal of Environmental Management.* 2022;304:114239. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114239

13. de Carvalho F.A., Nobre J.N.P., Cambraia R.P., Silva A.C., Fabris J.D., dos Reis A.B., Prat B.V. Quartz mining waste for concrete production: environment and public health. *Sustainability.* 2022;14(1):389. https://doi.org/10.3390/su14010389

14. Таракановский В.И. Техногенные образования – важный источник пополнения МСБ для россыпных предприятий. В кн.: *Золото. Полиметаллы. XXI век: Устойчивое развитие в условиях внешних и внутренних вызовов: материалы 4-й Междунар. науч.-техн. конф., г. Челябинск, 27–30 марта 2024 г.* М.: ИПКОН РАН; 2024. С. 128–135.

15. Заляднов В.Ю., Гавришев С.Е., Михайлова Г.В., Кадеров С.С., Коваленко Н.В. Обоснование стратегии развития горнодобывающих предприятий на основе анализа доходности и риска при аутсорсинге и диверсификации. *Горная промышленность.* 2021;(4):134–139. https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021-4-134-139
Zalyadnov V.Yu., Gavrishev S.E., Mihailova G.V., Kaderov S.S., Kovalenko N.V. Justification of the development strategy of mining enterprises on the basis of analysis of profitability and risk in outsourcing and diversification. *Russian Mining Industry.* 2021;(4):134–139. (In Russ.) https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021-4-134-139

16. Кондратьев В.Б. Горная промышленность, инновации и экономический рост: опыт развивающихся стран. Горная промышленность. 2020;(3):98–104. https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-3-98-104
Rylnikova M.V., Aynbinder G.I., Esina E.N. Systematization of technological methods for prevention, containment and elimination of sulfides fire sources. Russian Mining Industry. 2020;(3):98–104. (In Russ.) https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-3-98-104

17. Емельянов А.А., Кельчевская Н.Р., Пелымская И.С. Оценка конкурентоспособности региональных горно-металлургических кластеров. *Экономика региона.* 2020;16(1):213–227. https://doi.org/10.17059/2020-1-16
Emelyanov A.A., Kelchevskaya N.R., Pelymskaya I.S. Assessment of competitiveness of regional mining and metallurgical clusters. *Economy of Regions.* 2020;16(1):213–227. (In Russ.) https://doi.org/10.17059/2020-1-16

18. Косарева Е.Е. Особенности диверсификации экономики горнодобывающего региона. *Экономика и предпринимательство.* 2024;(5):626–629. https://doi.org/10.34925/EIP.2024.166.5.125
Kosareva E.E. Features of diversification of the economy of the mining region. *Economy & Entrepreneurship.* 2024;(5):626–629. (In Russ.) https://doi.org/10.34925/EIP.2024.166.5.125

19. Вагин С.Г. Диверсификация добывающих отраслей промышленности и её влияние на экономику региона на примере горной. *Вестник академии знаний.* 2025;(2):165–171.
Vagin S.G. Diversification of extractive industries and its impact on the regional economy using the example of mining. Bulletin of the Academy of Knowledge. 2025;(2):165–171. (In Russ.)

20. Логинов Е.В., Масальский С.С. Исследование технических характеристик серийно выпускаемых моделей выемочно-погрузочного оборудования разных типов. *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2023;21(1):15–23. https://doi.org/10.18503/1995-2732-2023-21-1-15-23
Loginov E.V., Masalskiy S.S. Research on technical characteristics of mass-produced models of extraction and loading equipment of various types. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2023;21(1):15–23. (In Russ.) https://doi.org/10.18503/1995-2732-2023-21-1-15-23

21. Бураков А.М., Панишев С.В., Алькова Е.Л., Хосоев Д.В. Опыт применения гидравлических экскаваторов в сложных горно-геологических и климатических условиях. *Горная промышленность*. 2022;(2):90–96. https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-2-90-96
Burakov A.M., Panishev S.V., Alkova E.L., Khosoev D.V. Experience of using hydraulic excavators in difficult mining, geological and climatic conditions. *Russian Mining Industry*. 2022;(2):90–96. (In Russ.) https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-2-90-96

22. Журавлев А.Г., Глебов И.А., Черепанов В.А. К вопросу повышения производительности и технической готовности мощных отечественных экскаваторов. *Проблемы недропользования*. 2023;(4):76–88. https://doi.org/10.25635/2313-1586.2023.04.076
Zhuravlev A.G., Glebov I.A., Cherepanov V.A. On the issue of development of productivity and technical readiness of powerful domestic excavators. *Problems of Subsoil Use*. 2023;(4):76–88. (In Russ.) https://doi.org/10.25635/2313-1586.2023.04.076

23. Журавлев А.Г., Глебов И.А., Черепанов В.А. Поиск резервов повышения производительности экскаваторно-автомобильных комплексов с применением компьютерного моделирования. *Горная промышленность*. 2023;(6):148–154. https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-6-148-154
Zhuravlev A.G., Glebov I.A., Cherepanov V.A. Searching for reserves to increase productivity of excavator-automobile complexes using computer simulation. *Russian Mining Industry*. 2023;(6):148–154. (In Russ.) https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-6-148-154

24. Пыталев И.А., Доможиров Д.В., Борисенко Е.В., Ильтинин Ю.К. Оценка влияния параметров технологии взрывной подготовки горных пород к выемке на производительность погрузочно-доставочного комплекса на угольных разрезах Кузбасса. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2024;(2):292–306.
Pytalev I.A., Domozhirov D.V., Borisenko E.V., Iltinin Yu.K. Assessment of the influence of the parameters of the technology of explosive preparation of rocks for excavation on the productivity of the loading and delivery complex at the Kuzbass coal mines. *Izvestiya Tulskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zemle*. 2024;(2):292–306. (In Russ.)

25. Бурмистров К.В., Колонюк А.А., Цыганов А.В. Организационно-технологические схемы ведения горных работ при интенсификации работ на участках карьера. В кн.: *Материалы 63-й научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ за 2003–2004 гг., г. Магнитогорск, 19–23 апреля 2004 г.* Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова; 2004. С. 165–169.

26. Кузнецов Д.В., Косолапов А.И. Исследование динамики концентрации горного оборудования в условиях глубоких карьеров Севера. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. 2018;(1):22–29. https://doi.org/10.21440/0536-1028-2018-1-22-29
Kuznetsov D.V.1, Kosolapov A.I. The study of mining equipment concentration dynamics in conditions of deep open pits of the North. *Izvestiya vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Gornyi Zhurnal*. 2018;(1):22–29. (In Russ.) https://doi.org/10.21440/0536-1028-2018-1-22-29

27. Фомин С.И., Овсянников М.П. Особенности технологии открытой разработки крутопадающих рудных месторождений этапами. *Маркшейдерия и недропользование*. 2020;(1):41–44.
Fomin S.I., Ovsyannikov M.P. Particularities of the technology of the staged open-pit mining of steep deposits. *Mine Surveying and Subsoil Use*. 2020;(1):41–44. (In Russ.)

Информация об авторах
Заляднов Вадим Юрьевич – доктор технических наук, профессор кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Российская Федерация; e-mail: zalyadnov@mail.ru
Гавришев Сергей Евгеньевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой разработки месторождений полезных ископаемых, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Российская Федерация; e-mail: ormpi-cg@mail.ru
Зырянов Игорь Владимирович – доктор технических наук, профессор кафедры горного дела, Политехнический институт (филиал) Северо-Восточного Федерального университета им. М.К. Аммосова в г. Мирном, г. Мирный, Российская Федерация; https://orcid.org/0000-0003-2943-0138; e-mail: zyryanoviv@inbox.ru

Информация о статье
Поступила в редакцию: 22.05.2026
Поступила после рецензирования: 06.07.2026
Принята к публикации: 15.07.2026

Information about the authors
Vadim Yu. Zalyadnov – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Mining Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation; e-mail: zalyadnov@mail.ru
Sergey E. Gavrishev – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Mining Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation, Magnitogorsk, Russian Federation; e-mail: ormpi-cg@mail.ru
Igor V. Zyryanov – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department of Mining Engineering, Mirny Polytechnic Institute (branch) of North-Eastern Federal University, Mirny, Russian Federation; https://orcid.org/0000-0003-2943-0138; e-mail: zyryanoviv@inbox.ru

Article info
Received: 22.05.2026
Revised: 06.07.2026
Accepted: 15.07.2026