

РАЗРАБОТКА ПОДХОДА ПО ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОТИВОУДАРНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

В. А. Носков¹, А. А. Андреев¹, А. Н. Шабаров¹

¹ Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, 199106, Санкт-Петербург, Россия, post@spmi.ru

Аннотация: В литературе, посвященной применению противоударных мероприятий на горнодобывающих предприятиях в процессе ведения работ, детально описаны технические решения, необходимое оборудование, применяемые материалы, порядок реализации мероприятий, но вопрос эффективности и оценки эффективности практически не освещается. Чаще всего эффективность оценивают как результат снижения напряжения или, в редких случаях, производят качественное сравнение по затратам (в денежном выражении) с другими аналогичными мероприятиями, что, как мы считаем, не в полной мере соответствует понятию. Возможно, отсутствие методик вызвано необходимостью применения мероприятий вне зависимости от степени их эффективности, но трудно оспаривать тот факт, что эффективность является индикатором развития системы, а повышение эффективности – основа успешности функционирования системы в перспективе. Продуманный подход, учитывающий особенности мероприятия, косвенно, но должен стимулировать техническое совершенствование, улучшение и разработку новых мероприятий для применения в различных горно-геологических условиях, что в итоге снизит влияние геодинамических проявлений на горнодобывающие предприятия и повысит безопасность ведения горных работ. В статье предложен подход к оценке эффективности противоударных мероприятий, в полной мере соответствующий современному понятию эффективности, включающий в себя как качественные, так и количественные показатели и учитывающий связь с прогнозом наступления геодинамического явления.

Ключевые слова: большая глубина, геодинамические явления, горное давление, горные удары, противоударные мероприятия, прогноз сейсмических событий, локальный прогноз, региональный прогноз, экономическая эффективность.

Для цитирования: Носков В. А., Андреев А. А., Шабаров А. Н. Разработка подхода по оценке эффективности противоударных мероприятий // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 11-1. – С. 81–96. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_111_0_81.

Development of an approach to assess the effectiveness of shock-proof measures

V. A. Noskov¹, A. A. Andreev¹, A. N. Shabarov¹

¹ Empress Catherine II St. Petersburg Mining University, St. Petersburg, 199106, Russia, post@spmi.ru

Abstract: In the literature on the use of shockproof measures at mining enterprises in the course of work, technical solutions, necessary equipment, materials used, and the procedure

for implementing measures are described in detail, but the issue of effectiveness and efficiency assessment is practically not covered. Most often, efficiency is assessed as a result of stress reduction, or in rare cases, a qualitative cost comparison (in monetary terms) with other similar measures, which, as we believe, does not fully correspond to the concept. Perhaps the lack of methods is caused by the need to apply measures regardless of their degree of effectiveness, but it is difficult to dispute the fact that efficiency is an indicator of the development of the system, and increasing efficiency is the basis for the success of the system in the future. A well-thought-out approach, taking into account the specifics of the event, indirectly, but should stimulate technical improvement, improvement and development of new measures for use in various mining and geological conditions, which will eventually reduce the impact of geodynamic manifestations on mining enterprises and increase the safety of mining operations. The article proposes an approach to assessing the effectiveness of shock-proof measures that fully corresponds to the modern concept of efficiency, including both qualitative and quantitative indicators and taking into account the connection with the forecast of the occurrence of a geodynamic phenomenon.

Key words: big depth, geodynamic phenomena, mining pressure, mining impacts, shockproof measures, prediction of seismic events, local prediction, regional prediction, economic efficiency.

For citation: Noskov V. A., Andreev A. A., Shabarov A. N. Development of an approach to assess the effectiveness of shock-proof measures. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2024;(11-1):81–96. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_111_0_81.

Введение

Современный этап освоения месторождений полезных ископаемых характеризуется ведением работ на расстоянии более километра, а иногда и нескольких километров от поверхности. Как следствие, деятельность горнодобывающих предприятий все больше попадает в зависимость от негативного влияния геодинамических явлений, которые активно проявляются с увеличением глубины [1]. Изучение закономерностей образования и развития геодинамических процессов с целью предсказания места, времени и интенсивности проявления геодинамических событий — одна из важнейших научных проблем, стоящая перед горнодобывающей отраслью.

Вопросу проявления горного давления посвящены труды многих отечественных и зарубежных исследователей, что обусловлено разнообразием горно-геологических условий разработки месторождений полезных ископаемых и наличием ряда неразрешен-

ных вопросов, связанных с прогнозом наступления неблагоприятных событий [2]. В качестве форм проявления горного давления выделяют интенсивное заколообразование, шелушение, стрельание, толчок, микроудар, но особую опасность для горнодобывающих предприятий представляют горные и горно-тектонические удары, последствия от наступления которых могут быть катастрофическими [3–5]. Прогноз удароопасности на месторождениях осуществляется на локальном и региональном уровнях, а для снижения удароопасности выработок применяется комплекс различных мероприятий [6–8].

Выделяют два типа мероприятий по снижению удароопасности вблизи контура выработок — понижение уровня максимальных действующих напряжений или их перераспределение в глубину массива, которые идеологически направлены на создание защищенной и защитной зон соответственно [9, 10]. В таблице отображено

авторское обобщение и классификация способов по управлению удароопасностью на месторождениях.

Первый тип реализуется посредством управления горным давлением правильным планированием и развитием горных работ: формирование благоприятных конфигураций фронта очистных работ, исключение образования целиков, встречных и догоняющих фронтов, движение фронта отработки от наиболее нагруженных участков и т.п. Второй тип реализуется за счет использования комплекса технических решений (применения противоударных мероприятий), таких как камуфлетное взрывание и бурение разгрузочных скважин. При бурении строчки скважин происходит формирование разгрузочной локальной зоны, которая не позволяет накапливаться энергии в приконтурном массиве. Камуфлетное взрывание обеспечивает переход части массива в неопасное состояние, переноса напряжения за зону трещинообразования, которая разбивается при взрыве [11].

Камуфлетное взрывание и разгрузочные скважины используются на месторождениях Талнахского рудного узла, Хибинских месторождениях, месторождениях бокситов и на многих других рудных и нерудных место-

рождениях. Несмотря на то что эти два мероприятия предназначены для применения в одинаковых условиях, бурение разгрузочных скважин применяется на горнодобывающих предприятиях чаще, чем камуфлетное взрывание. Связано это с более сложным процессом организации проведения взрывных работ, а также сложностью учета негативного сейсмического воздействия взрывных работ на состояние выработок с последующей необходимостью восстановления крепи.

Анализ литературы позволяет говорить о серьезных достижениях в области совершенствования существующих противоударных мероприятий и разработки новых для применения в различных горно-геологических условиях. В работах детально описаны технические решения, необходимое оборудование, порядок реализации мероприятий, но вопрос эффективности практически не освещается. Чаще всего эффективность оценивается как результат снижения напряжения, или, в редких случаях, производят качественное сравнение по затратам (в денежном выражении) с другими аналогичными мероприятиями, что, как мы считаем, не в полной мере соответствует понятию эффективности [12–14].

**Способы прогноза и предотвращения горных ударов [составлено авторами]
Methods of prediction and preventing rock bursts [compiled by the authors]**

№ п/п	Вид работ	Вид прогноза	Способ предотвращения горного удара
1	Планирование отработки (блока, этажа, горизонта)	Региональный прогноз	Разработка регламентов на отработку, определение безопасного направления и порядка отработки, использование опережающей под- или надработки и т.д.
2	Подготовительные/очистные работы	Региональный прогноз. Локальный прогноз	Отстаивание выработки; крепление; бурение разгрузочных/камуфлетных шпуров/скважин; разделка отрезных щелей с целью создания зоны неупругих деформаций, образующей защищенную зону, в которой блок (часть блока) обрабатываются в обычном порядке (как в неудароопасных условиях)

Формирование подхода по оценке эффективности противоударных мероприятий

Несмотря на то что содержание понятия «эффективность», его эволюция и методологическое значение широко рассматривается в литературе, вопрос его сущности остается предметом дискуссий, как ученых-экономистов, так и представителей других областей науки. Но трудно оспаривать тот факт, что эффективность является индикатором развития системы, а повышение эффективности — основа успешности функционирования системы в перспективе [15–17].

Классики экономической теории (В. Петти, Ф. Кенэ, Д. Рикардо) трактовали эффективность как экономическую категорию, выгоду — получение максимального результата при соответствующих затратах. Практически такую же смысловую нагрузку можно найти у К. Маркса. Отметим отличный взгляд на понятие у В. Парето — состояние, при котором выгоды от обмена исчерпаны или предельная полезность всех факторов системы выравнивается. В. Парето: «Всякое изменение, которое никому не приносит убытков, а некоторым людям приносит пользу, является улучшением». Начало двадцатого века характеризуется появлением нового направления в экономической теории — институционализма и развития менеджмента. И понятие «эффективность» определяется как способность достигать поставленные цели, а Г. Эмерсон определял эффективность как основную задачу управления.

Сегодня нет однозначного определения эффективности. Понятие встречается во многих областях жизнедеятельности и применяется для оценки систем различного уровня — от локальных технических мероприятий до бюджетов, с разработанными показате-

лями качественной и количественной оценки. А само понятие эффективности прошло длительный путь изменений и трансформации — от соотношения результата и затрат до степени достижения цели.

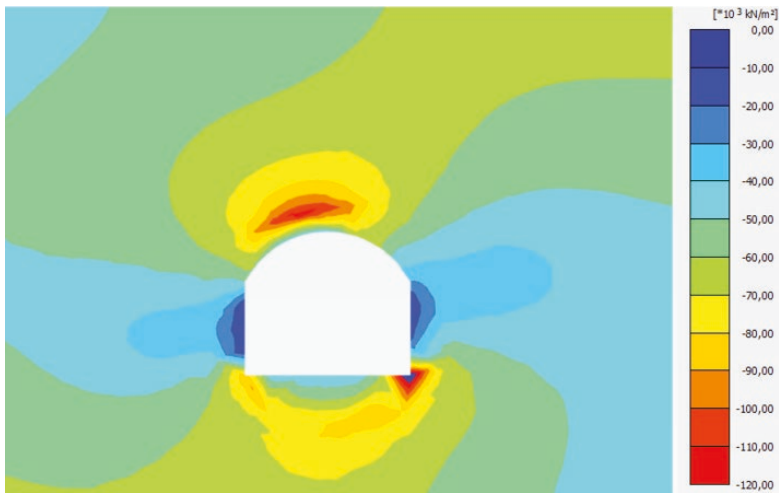
Учитывая основную цель противоударных мероприятий — обеспечение бесперебойного и безопасного ведения горных работ — эффективность противоударных мероприятий нужно рассматривать как взаимосвязь научного, технического и экономического эффектов, каждый из которых отличается по качеству и характеризует результат своими критериями и показателями [18].

Обеспечение достижения результата противоударных мероприятий

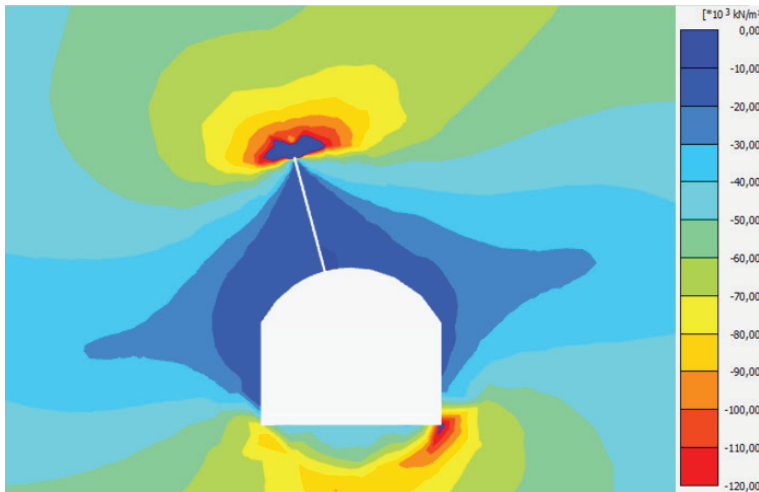
Применительно к противоударным мероприятиям, степень достижения результата может оцениваться качественно и количественно. Качественная оценка определяется как переход массива из состояния «опасно» в состояние «неопасно», а количественная оценка будет выражаться в абсолютном или относительном снижении величины напряжений в приконтурном массиве защищаемой выработки (рис. 1).

Причем количественная оценка дает нам возможность сравнивать разные виды мероприятий между собой. Например, оба мероприятия — камуфлетное взрывание и бурение скважин — переводят массив в неудароопасное состояние, но первое снижает напряжение на контуре выработки на 50%, а второе, в таких же условиях, — на 65%. Очевидно, что при описанных условиях оценки эффективности мероприятие по бурению скважин представляется более предпочтительным.

Таким образом, можно сформулировать тезис, что противоударное мероприятие считается эффективным, если в результате его применения сни-



а



б

Рис. 1. Главные напряжения σ_1 (МПа) в окрестности горной выработки: а – до проведения мероприятий; б – после проведения мероприятий [составлено авторами]
 Fig. 1. Main stresses σ_1 (MPa) in the vicinity of the mine: а – before the events; б – after the events [compiled by the authors]

жаются напряжения и массив становится неопасным по проявлению горных ударов.

Оценка надежности противоударных мероприятий

Согласно ГОСТ Р 27.102–2021, надежность определяется как свойство

объекта сохранять во времени способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования.

Опыт ведения горных работ на удароопасных месторождениях показывает, что в некоторых случаях, например,

после бурения разгрузочных скважин, напряжения снижаются, но вероятность наступления опасного геодинамического явления сохраняется либо возникает вновь спустя какое-то время. В таких случаях приходится повторно выполнять бурение на одних и тех же участках выработки.

В связи с этим, рассматривая непосредственно техническую составляющую противоударных мероприятий, изолированно от достоверности прогноза и правильности принимаемых управленческих решений, под надежностью противоударных мероприятий нами предлагается понимать следующее: противоударное мероприятие является надежным, если после его применения в будущем будет отсутствовать необходимость на этом же самом месте еще раз применять аналогичные мероприятия либо после применения мероприятий гарантируется, что событие однозначно не произойдет.

Оценивать качественно надежность предлагаем в процентном соотношении за период по следующей формуле:

$$Y = \frac{L_{\text{выр1}} - L_{\text{выр2}}}{L_{\text{выр1}}}, \quad (1)$$

где $L_{\text{выр1}}$ — суммарная протяженность горных выработок за год, на которой выполнялось применение противоударных мероприятий, пог. м; $L_{\text{выр2}}$ — суммарная протяженность горных выработок за год, на которой приходилось повторно применять противоударные мероприятия, пог. м.

Определение экономического эффекта

Описанную модель можно использовать для оценки эффективности мероприятий по противодействию горному давлению, но без экономической

составляющей оценка будет недостаточно полной.

Непосредственно экономическая оценка эффективности определяется сравнением результата и затрат. Под результатом чаще всего понимается доход или увеличение прибыли в случае применения мероприятия. Особенностью противоударных мероприятий является то, что их применение напрямую не связано с получением дохода или получением дополнительной прибыли для горнодобывающего предприятия. А их применение — это вынужденная мера, в результате которой повышается безопасность ведения горных работ и происходит сокращение возможных потерь в результате наступления геодинамического события.

Затраты на противоударные мероприятия складываются из статей расходов на их выполнение, и денежное выражение можно определить по формуле (2). В соответствии с экономическим содержанием можно выполнить группировку по элементам: затраты на материалы $\sum_i^n HM$, затраты на оплату труда и отчисления на социальные нужды $\sum_i^n OT$, амортизация основных фондов $\sum_i^n A$, прочие затраты $\sum_i^n ПЗ$:

$$\sum_i^n Z_M = \sum_i^n HM + \sum_i^n OT + \sum_i^n A + \sum_i^n ПЗ. \quad (2)$$

Описанная модель, основанная на расчете затрат в денежном выражении, конечно, не соответствует принципу соотношения доходной части и расходной, но уже дает возможность проводить параллель между противоударными мероприятиями не только с технической стороны, но и с финансовой. В итоге — применять на производстве менее дорогостоящие мероприятия и делать обоснованный выбор в пользу более эффективных.

Организация может понести потери различной степени тяжести. Сравнительно небольшие затраты требуются на зачистку выработок от выпавшей горной массы, перекрепление или устранение причин временного нарушения режима работы предприятия. Большой вред в финансовом плане могут принести поломка или замена техники, травмирование рабочего персонала. И совсем крупные затраты — остановка предприятия, повреждение инфраструктуры, повреждение объектов социальной инфраструктуры, экологические катастрофы.

Кроме непосредственно материальных потерь — реальных потерь, доступных прямой оценке, авторский коллектив выделяет также косвенные потери — социальные, экологические и репутационные потери, которые не всегда поддаются прямой финансовой оценке. Отметим, что потери могут быть предотвратимые и неизбежные. Предотвратимые потери — это убытки, которых горнодобывающему предприятию удастся избежать в результате прогноза геодинамического явления и применения противоударных мероприятий. Неизбежные потери — убытки, которые горнодобывающее предприятие не сможет предотвратить даже в случае применения мер защиты.

Таким образом, противоударные мероприятия — сложный, затратный механизм, направленный на снижение или полную ликвидацию потерь горнодобывающего предприятия в результате проявления горного давления.

Несмотря на простоту, с технической (расчетной) стороны вопроса, суммирование стоимостей потерь каждой единицы в определение ущерба от наступления негативного события — еще одно узкое место. Одна и та же форма проявления горного давления может нанести различные последствия.

Тяжесть последствий может быть как низкая, так и высокая — в зависимости от времени наступления события, что в свою очередь усложняет вопрос определения экономической эффективности.

Несмотря на то, что применение мероприятий — необходимая мера для обеспечения безопасного ведения горных работ в соответствии с нормативной документацией, собственнику или менеджменту необходимо понимать, эффективно расходуются средства на противоударные мероприятия или нет.

Задача экономической оценки эффективности сводится к сравнению затрат и пониманию, что для предприятия будет более выгодным, а точнее менее убыточным — затраты на мероприятия или потери в случае реализации горного давления. Напрашивается очевидное решение этой простой задачи:

$$\mathcal{E} = H - \sum_i^n \mathcal{Z}_M \quad (3)$$

$$\mathcal{E} = \frac{\sum_i^n \mathcal{Z}_M}{y} \dots \quad (4)$$

Приведем пример, выполнив оценку эффективности мероприятия по обеспечению геодинамической безопасности согласно формулам (3) и (4). В качестве противоударного мероприятия рассмотрим бурение строчки разгрузочных скважин, а также возведение комбинированной крепи (в примере предполагается, что при отсутствии риска проявления геодинамического явления крепление не требуется либо требуется с более легкими параметрами). Для простоты расчетов идеализируем условия, а именно предположим, что опасная зона имеет протяженность 10 метров.

Прямые затраты определяются бурением скважин и креплением выработок.

Бурение строчки разгрузочных скважин принимается со следующими параметрами: диаметр скважин — 78 мм, длина скважин — 3,0 м, количество скважин на 1 пог. м выработки — 5 скв. Расход бурения на 1 пог. м выработки $P_{орщ} = 5 \times 3,0 = 15,0$ скв. м/пог.м. Возведение крепи (анкерная крепь и набрызг-бетон): забивные фрикционные анкеры длиной 2,3 м по кровле с шагом установки 1,0×1,0 м, набрызг-бетон толщиной 50 мм по кровле и бортам. Расход крепления на 1 пог. м выработки $P_{анк} = 8$ анкеров/пог. м, $P_{нб} = 0,62$ м³/пог.м. Примем следующие стоимостные показатели:

- бурение скважин — 1200 рублей за 1 пог. м скважины;
- крепление анкерной крепью — 200 руб. за 1 анкер;
- крепление набрызг-бетоном — 5000 руб. за 1 м³.

Прямые затраты на мероприятие для примера составят 197 тыс. руб.

Прямые потери в результате наступления геодинамического события оценить достаточно сложно, и для большей точности нужно собирать статистическую информацию об ущербе, но для нашего идеализированного примера примем, что ущерб включал в себя приведение пострадавшей выработки в безопасное состояние (зачистка и перекрепление), а также ремонт пострадавшего оборудования, что суммарно составило 2 млн руб. Тогда, согласно формуле (3), экономический эффект составляет

$$\mathcal{E} = H - \sum_i^n Z_M = 2\,000\,000 - 197\,000 = 1\,803\,000 \text{ рублей}$$

Из приведенного расчета очевидна экономическая эффективность применения противоударного мероприятия. Затраты на мероприятия в размере 0,2 млн руб. приводят к экономии 1,8 млн руб. для горнодобывающего предприятия.

Методика дает возможность выполнить экономическую оценку эффективности мероприятий, но предлагаемая модель не учитывает факт наличия «прогноза» и работы соответствующих служб в принятии решения о применении мероприятий, и применять методику можно только в одном случае — если прогноз является однозначно достоверным (вероятность реализации спрогнозированного негативного события равна 1), что далеко не всегда соответствует реальности. Поэтому более точная оценка экономической эффективности противоударных мер защиты будет достигнута при рассмотрении системы «прогноз — противоударные мероприятия», учитывая порядок и принципы организации прогнозов негативных явлений.

Современные способы прогноза на горнодобывающем предприятии

В соответствии с действующими нормативными документами, прогноз удароопасности массива горных пород на предприятиях осуществляется на региональном и локальном уровнях.

Региональный прогноз позволяет оценить характер напряженного состояния и выделить потенциально удароопасные зоны на целых участках шахтного поля, в больших объемах пространства — в пределах блока, панели, этажа и т.п. В самых простых методиках прогноза используются данные о геологическом и тектоническом строении месторождения, конфигурации фронта отработки, на основании которых аналитическим методом производится построение потенциально опасных зон [19]. Подобные методики допустимы при простом геологическом строении и незначительных протяженностях фронтов очистных работ. В более сложных условиях подобный подход не позволяет учесть множество факторов и рекомендуется пере-

ход к более технологичным методам регионального прогноза [20–22]. К ним относятся пространственно распределенные сети сейсмических или деформационных датчиков (или их комбинация). Современное оборудование позволяет осуществлять мониторинг геодинамической обстановки горного массива в режиме реального времени с автоматизированным выделением опасных зон [23, 24]. Данные регионального прогноза удароопасности используются для определения мест локального прогноза удароопасности.

Локальный прогноз удароопасности необходим для определения степени опасности проявления горного удара на конкретном участке конкретной выработки, причем непосредственно на момент проведения прогноза. Большинство методик ограничивают зону «чувствительности» прогноза радиусом не более 10 м. Всё многообразие методов укрупненно можно разделить на три вида: визуальные, геомеханические, геофизические.

Визуальные методы являются самыми оперативными и высокопроизводительными, требуют минимального технического оснащения. К минусам относится сильная зависимость от квалификации (опыта) эксперта, субъективность анализа и прогноза.

Геомеханические методы основываются на физическом разрушении, отделении или изменении сплошности массива горных пород. Данные методы являются наиболее достоверными, объективными и позволяют получить достаточно точные значения величин напряжений. К минусам относится самая высокая трудоемкость и связанная с этим низкая оперативность, высокие требования к условиям применения (размеры выработки, наличие энергоресурсов).

Геофизические методы основываются на взаимозависимостях различных физических полей и явлений от процессов деформирования породного массива. Эти методы занимают промежуточное положение между первыми двумя видами по скорости и оперативности выполнения. Геофизические приборы в большинстве представлены довольно компактными устройствами, для работы с которыми достаточно одного-двух операторов. Замеры чаще всего производятся в короткий интервал времени (от нескольких секунд до нескольких минут). Современные приборы позволяют хранить в памяти все параметры замера и мгновенно выдавать результат определения категории удароопасности. К минусам относится сложность интерпретации замеров, высокая зависимость получаемых показаний от внешних факторов-возмущений (шумов) [25, 26].

На формирование опасных зон влияют как природные, так и техногенные факторы, и все варианты применяющихся методов прогноза не позволяют со стопроцентной достоверностью определить место и время готовящегося геодинамического явления [27].

Общее понятие «прогноз» характеризуется как научно обоснованное суждение о возможном состоянии объекта в будущем или вероятностное суждение о будущем состоянии объекта исследования, обусловленное желанием знать, что произойдет и какие необходимы меры или обеспечиваются меры для достижения максимального результата.

Успешность прогнозов определяется в настоящее время посредством критерия «общая оправдываемость», учитывающего ошибки как 1-го, так и 2-го рода. Здесь ошибки первого рода — ошибки, вызванные пропуском геодинамического события в результате отсутствия прогноза или неверной

его интерпретации; и, как следствие, противоударные мероприятия не применялись — что приводит к затратам на ликвидацию ущерба. Ошибки второго рода — ошибки страховки — событие прогнозировалось, противоударные мероприятия применялись, но событие не наступило бы в любом случае, что характеризуется недостоверностью прогноза.

Например, по результатам прогноза, мы можем применить противоударное мероприятие, а событие не наступит, и в таком случае экономическая эффективность мероприятия явно будет отрицательной, что так же можно отнести к ущербу.

Другими словами, предприятие постоянно несет затраты на проведение профилактических мероприятий, но наступление ущерба возможно не в каждом случае. С другой стороны, несмотря на постоянные затраты на прогноз и предотвращение динамических проявлений горного давления, такие явления случаются, и предприятие несет финансовый ущерб от их последствий.

В случае ретроспективной базы наблюдений и соответствующей статистической информации, можно оценить экономическую эффективность за соответствующий временной период, и наше описание процесса прогноза и применения противоударных мероприятий можно представить в виде следующей формулы:

$$\begin{aligned} \mathcal{E} = \sum_i^n Y - \sum_i^n \mathcal{Z}_M = \sum_i^n n_1 \times P_{д.п.} \times - \\ - (\sum_i^n \mathcal{Z}_{Mi} + \sum_i^n \mathcal{Z}_{ПГУi} + \\ + \sum_i^n \mathcal{Z}_{ЛПФi}). \end{aligned} \quad (5)$$

Дадим пояснения введенным обозначениям:

$\mathcal{Z}_{ЛПФi}$ — среднестатистические затраты на ликвидацию последствий

от ущерба в результате наступления геодинамического события; $\sum_i^n \mathcal{Z}_{Mi}$ — суммарные затраты на противоударные мероприятия; $\sum_i^n \mathcal{Z}_{ПГУi}$ — суммарные затраты на обеспечение прогноза геодинамических событий; $\sum_i^n \mathcal{Z}_{ЛПФi}$ — фактические затраты на ликвидацию последствий от ущерба в результате наступления геодинамического события; n_1 — количество прогнозов, в результате которых применялись противоударные мероприятия; $P_{д.п.}$ — достоверность прогноза геодинамического события.

Приведем пример оценки эффективности на примере противоударного мероприятия — бурения разгрузочных скважин. Для простоты условия и данные для расчета возьмем из предыдущего примера. Также для примера примем, что все опасные зоны имеют равные геометрические параметры и требуют одинаковых затрат на проведение противоударных мероприятий. В качестве временного периода примем один год, за который было выполнено 10 прогнозов, по результатам которых принято решение о проведении противоударных мероприятий. Допустим, что достоверность прогноза — 80%; среднестатистические затраты на ликвидацию последствий от ущерба — 3 млн руб.; затраты на прогноз в течение года — 5 млн руб.; фактический ущерб на ликвидацию последствий от наступления геодинамического события в результате отсутствия прогноза и соответствующих мероприятий — 7 млн руб.

$$\mathcal{E} = 10 \cdot 0,8 \cdot 3 - (10 + 5 + 7) = 2 \text{ млн руб.}$$

Очевидно, что чем выше достоверность прогноза — тем выше экономический эффект от применения противоударных мероприятий. Также повышения экономической эффективности можно добиться за счет сниже-

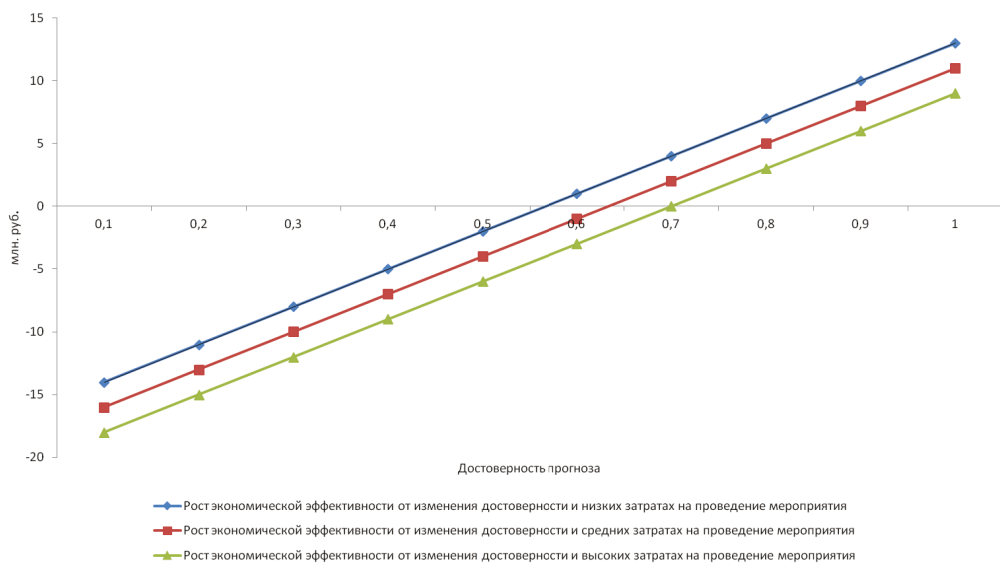


Рис. 2. Изменения экономической эффективности от применения противоударных мероприятий в зависимости от изменения различных факторов [составлено авторами]

Fig. 2. Changes in economic efficiency from the use of shockproof measures depending on changes in various factors [compiled by the authors]

ния затрат на прогноз и проведение мероприятий либо снижая число пропусков геодинамических событий, не ухудшая при этом ни качество мероприятий, ни точность прогноза. На рис. 2 графически приведены примеры изменения экономической эффективности от повышения достоверности прогноза и снижения затрат на проведение мероприятий.

Представленные на рис. 2 графики позволяют лишь представить общую зависимость и не отражают в полной мере взаимосвязь экономической эффективности и достоверности прогноза. Для выполнения точных расчетов и оценки эффективности противоударных мероприятий необходимо анализировать представительные реальные данные по конкретным предприятиям.

Заключение

Мы считаем, что оценка эффективности противоударных мероприятий

должна быть комплексной, в полной мере соответствовать современному понятию эффективности — включать в себя как качественные, так и количественные показатели и учитывать связь с прогнозом наступления геодинамического явления.

Предлагаемый нами подход к оценке эффективности позволит сравнивать, оценивать и стимулировать к разработке менее затратных и более технологически совершенных мероприятий по управлению горным давлением, что в свою очередь позволит повысить безопасность и эффективность разработки месторождений полезных ископаемых.

Изложенные в настоящей статье подходы не являются исчерпывающей методикой оценки эффективности противоударных мероприятий, а представляют собой по сути первые шаги, в общих чертах намечающие направления дальнейшего развития исследований. При этом представлен-

ные в статье подходы могут являться основой для формирования баз данных, отсутствие которых в настоящее время во многом препятствует переходу подобных исследований из чисто теоретических в практическую плоскость. В этом смысле для руководителей организаций, ведущих подземную добычу в условиях удароопасности, может оказаться весьма перспективным решение организовать сбор и хранение сведений, озвученных в настоящем материале — такие данные на рудниках так или иначе используются в оперативной работе. Наличие таких баз данных позволит получать результаты не только для озвученной

в данной статье темы, но также и ряда других — таких как анализ возникновения и митигирование рисков, в том числе с применением искусственных нейронных сетей.

Вклад авторов

Носков В. А. — постановка задачи статьи, написание текста статьи.

Андреев А. А. — выполнение систематизации материалов, написание текста статьи.

Шабаров А. Н. — формулировка идеи, написание текста статьи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Qiming Zhang, Enyuan Wang, Xiaojun Feng, Yue Niu, Muhammad Ali, Song Lin, Hao Wang. Rockburst risk analysis during high-hard roof breaking in deep mines // *Natural Resources Research*. 2020, vol. 29, no. 6, pp. 4085–4101. DOI: 10.1007/s11053-020-09664-w.

2. Li C. C., Mikula P., Simser B., Hebblewhite B., Joughin W. C. Discussions on rockburst and dynamic ground support in deep mines // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2019, vol. 11(5), pp. 1110–1118. DOI: 10.1016/j.jrmge.2019.06.001.

3. Kozyrev A. A., Panin V. I., Semenova I. E., Zhuravleva O. G. Geodynamic Safety of Mining Operations under Rockburst-Hazardous Conditions in the Khibiny Apatite Deposits // *J Min Sci*. 2018, vol. 54, pp. 734–743. <https://doi.org/10.1134/S1062739118054832>.

4. Ping Cheng, Yanbo Li, Caiwu Lu, Song Jiang, Hanhua Xu. Study on blasting effect optimization to promote sustainable mining under frozen conditions // *Sustainability*. 2022, vol. 14, iss. 24, 16479. DOI: 10.3390/su142416479.

5. Zhimin Xiao, Shitan Gu, Yunzhao Zhang, He Wang. A coal seam-roof-floor coupling destressing control method of fault coal bursts induced by deep coal seam mining // *Energy Sci Eng*. 2022, vol. 10, pp. 2170–2190. DOI: 10.1002/ese3.1124.

6. *Рассказов И. Ю.* Контроль и управление горным давлением на рудниках Дальневосточного региона. — М.: Изд-во Горная книга, 2008. — 329 с.

7. Nordström E., Dineva S., Nordlund E. Back analysis of short-term seismic hazard indicators of larger seismic events in deep underground mines (LKAB, Kiirunavaara Mine, Sweden) // *Pure and Applied Geophysics*. 2020, vol. 177, pp. 763–785. DOI: 10.1007/s00024-019-02352-8.

8. *Батугин А. С.* Геодинамические эффекты предельно напряженного состояния земной коры // *Горная промышленность*. — 2023. — № S1. — С. 14–21. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-S1-14-21>.

9. *Господариков А. П., Киркин А. П., Ковалевский В. Н.* О некоторых локальных методах предупреждения горных ударов // *Известия ТулГУ. Науки о Земле*. — 2021. — Вып. 2. — С. 77–93.

10. Протосеня А. Г., Беляков Н. А., Буслова М. А. Моделирование напряженно-деформированного состояния блочного горного массива рудных месторождений при отработке системами разработки с обрушением // Записки Горного института. — 2023. — Т. 262. — С. 619–627.
11. Zhimin Xiao, Shitan Gu, Yunzhao Zhang, He Wang. A coal seam-roof-floor coupling destressing control method of fault coal bursts induced by deep coal seam mining // Energy Sci Eng. 2022, vol. 10, pp. 2170–2190. DOI: 10.1002/ese3.1124.
12. Sainoki A., Zaka M., Mitri H. Study on the efficiency of destressblasting in deep mine drift development // Canadian Geotechnical Journal. 2017, vol. 54, no. 4, pp. 518–528. DOI: 10.1139/cgj-2016-0260.
13. Ловчиков А., Земцовский А. В. Профилактика горных ударов в низких рудных целиках посредством образования разгрузочных щелей (для условий Ловозерского редкометалльного месторождения) // Вестник МГТУ. — 2019. — № 1. — С. 158–166. DOI: 10.21443/1560-9278-2019-22-1-158-166.
14. Simpler B. P. Rockburst management in Canadian hard rock mines // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2019, vol. 11, pp. 1036–1043. DOI: 10.1016/j.jrmge.2019.07.005.
15. Орехова Е. А., Коровникова Г. В., Коровникова И. В. Совершенствование методологии оценки эффективности деятельности хозяйствующих субъектов в современных условиях // Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Политические, социологические и экономические науки. — 2021. — Т. 6. — № 4. — С. 560–567. <https://doi.org/10.21603/2500-3372-2021-6-4-560-567>.
16. Штелле Е. А., Вечерковская О. Б. К вопросу о понятии «эффективность» // Экономический анализ: теория и практика. — 2017. — Т. 16. — Вып. 5. — С. 935–947. doi.org/10.24891/ea.16.5.935.
17. Господариков А. П., Ревин И. Е., Морозов К. В. Композитная модель анализа данных сейсмического мониторинга при ведении горных работ на примере Кукисвумчорского месторождения АО «Апатит» // Записки Горного института. — 2023. — Т. 262. — С. 571–580. DOI: 10.31897/PMI .2023.9.
18. Марысюк В. П., Дарбинян Т. П., Андреев А. А., Носков В. А. Оценка эффективности изменения системы разработки при выемке сульфидных медно-никелевых руд на руднике «Октябрьский» // Горный журнал. — 2019. — № 11. — С. 19–23. DOI: 10.17580/gzh.2019.11.02.
19. Vanneschi C., Mastrorocco G., Salvini R. Assessment of a Rock Pillar Failure by Using Change Detection Analysis and FEM Modelling // International Journal of Geo-Information. 2021, vol. 10, iss. 11, 774. DOI: 10.3390/ijgi10110774.
20. Rasskazov M., Tereshkin A., Tsoi D., Konstantinov A., Miroshnikov V., Bagautdinov I., Kozhogulov K. Research of the formation of zones of stress concentration and dynamic manifestations based on seismoacoustic monitoring data in the fields of the Kola Peninsula // E3S Web Conf. 2020, vol. 192, 01009. DOI: 10.1051/e3sconf/202019201009.
21. Котилов Д. А., Шабаров А. Н., Цирель С. В. Установление связи между распределением сейсмособытий в массиве горных пород и его тектоническим строением // Горный журнал. — 2020. — № 1. DOI: 10.17580/gzh.2020.01.05.
22. Shuren W., Chunyang L., Wenfa Y., Zhengshen Z., Wenxue C. Multiple indicators prediction method of rock burst based on microseismic monitoring technology // Arabian Journal of Geosciences. 2017, vol. 10(6), pp. 132–140. DOI: 10.1007/s12517-017-2946-8.

23. Карасев М. А., Сотников Р. О. Прогноз напряженного состояния набрызг-бетонной крепи при многократном сейсмическом воздействии // Записки Горного института. — 2021. — Т. 251. — С. 626–638. DOI: 10.31897/PMI.2021.5.2.

24. Кутенов Ю. Ю., Карасев М. А. Изучение и прогноз уплотнения фосфогипса в отвалах для обоснования их вместимости // Горный журнал. — 2023. — № 5. — С. 61–67. DOI: 10.17580/gzh.2023.05.09.

25. Jin-Shuai Zhao, Bing-Rui Chen, Quan Jiang, Jian-Fei Lu, Xian-Jie Hao et al. Microseismic monitoring of rock mass fracture response to blasting excavation of large underground caverns under high geostress // *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2022, vol. 55, iss. 2, pp. 733–750. DOI: 10.1007/s00603-021-02709-3.

26. Ilyinov M. D., Petrov D. N., Karmanskiy D. A., Selikhov A. A. Physical simulation aspects of structural changes in rock samples under thermobaric conditions at great depths // *Mining Science and Technology (Russia)*. 2023, vol. 8(4), pp. 290–302. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2023-09-150>.

27. Shabarov A. N., Kuranov A. D., Kiselev V. A. Assessing the zones of tectonic fault influence on dynamic rock pressure manifestation at khibiny deposits of apatite-nepheline ores // *Eurasian Mining*. 2021, no. 2 (36), pp. 3–7. <https://doi.org/10.17580/em.2021.02.01>. **PLoS**

REFERENCES

1. Qiming Zhang, Enyuan Wang, Xiaojun Feng, Yue Niu, Muhammad Ali, Song Lin, Hao Wang. Rockburst risk analysis during high-hard roof breaking in deep mines. *Natural Resources Research*. 2020, vol. 29, no. 6, pp. 4085–4101. DOI: 10.1007/s11053-020-09664-w.

2. Li C. C., Mikula P., Simser B., Hebblewhite B., Joughin W. C. Discussions on rockburst and dynamic ground support in deep mines. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2019, vol. 11(5), pp. 1110–1118. DOI: 10.1016/j.jrmge.2019.06.001.

3. Kozyrev A. A., Panin V. I., Semenova I. E., Zhuravleva O. G. Geodynamic Safety of Mining Operations under Rockburst-Hazardous Conditions in the Khibiny Apatite Deposits. *J Min Sci*. 2018, vol. 54, pp. 734–743. <https://doi.org/10.1134/S1062739118054832>.

4. Ping Cheng, Yanbo Li, Caiwu Lu, Song Jiang, Hanhua Xu. Study on blasting effect optimization to promote sustainable mining under frozen conditions. *Sustainability*. 2022, vol. 14, iss. 24, 16479. DOI: 10.3390/su142416479.

5. Zhimin Xiao, Shitan Gu, Yunzhao Zhang, He Wang. A coal seam-roof-floor coupling destressing control method of fault coal bursts induced by deep coal seam mining. *Energy Sci Eng*. 2022, vol. 10, pp. 2170–2190. DOI: 10.1002/ese3.1124.

6. Rasskazov I. Y. Control and management of mining pressure in the mines of the Far Eastern region. Moscow, Publishing house “Gornaya kniga”, 2008, 329 p. [In Russ].

7. Nordström E., Dineva S., Nordlund E. Back analysis of short-term seismic hazard indicators of larger seismic events in deep underground mines (LKAB, Kiirunavaara Mine, Sweden). *Pure and Applied Geophysics*. 2020, vol. 177, pp. 763–785. DOI: 10.1007/s00024-019-02352-8.

8. Batugin A. S. Geodynamic effects of the critically stressed state of the Earth’s crust. *Russian mining industry. Gornaya promyshlennost*. 2023, no. S1, pp. 14–21. [In Russ]. DOI: 10.30686/1609-9192-2023-S1-14-21.

9. Gospodarikov A. P., Kirkin A. P., Kovalevskiy V. N. On some local rock burst prevention methods. *Bulletin of TUSU. Earth Sciences*. 2021, issue 2, pp. 77–93. [In Russ].

10. Protosenya A. G., Belyakov N. A., Bouslova M. A. Modelling of the stress-strain state of block rock mass of ore deposits during development by caving mining systems. *Journal of Mining Institute*. 2023, vol. 262, pp. 619–627. [In Russ].
11. Zhimin Xiao, Shitan Gu, Yunzhao Zhang, He Wang. A coal seam-roof-floor coupling destressing control method of fault coal bursts induced by deep coal seam mining. *Energy Sci Eng*. 2022, vol. 10, pp. 2170–2190. DOI: 10.1002/ese3.1124.
12. Sainoki A., Zaka M., Mitri H. Study on the efficiency of destressblasting in deep mine drift development. *Canadian Geotechnical Journal*. 2017, vol. 54, no. 4, pp. 518–528. DOI: 10.1139/cgj-2016–0260.
13. Lovchikov A. V., Zemtsovsky A. V. Rockburst prevention in deep ore pillars by forming relieve slots (for the Lovozero raremetal deposit). *Bulletin of the Moscow State Technical University*. 2019, no. 1, pp. 158–166. [In Russ]. DOI: 10.21443/1560–9278–2019–22–1-158–166.
14. Simpler B. P. Rockburst management in Canadian hard rock mines. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2019, vol. 11, pp. 1036–1043. DOI: 10.1016/j.jrmge.2019.07.005.
15. Orekhova E. A., Korovnikova G. V., Korovnikova I. V. Improving the Methodology for Assessing the Effectiveness of Economic Entities in Modern Conditions. *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Politicheskie, sotsiologicheskie i ekonomicheskie nauki*. 2021, vol. 6(4), pp. 560–567. [In Russ]. <https://doi.org/10.21603/2500–3372–2021–6–4–560–567>.
16. Shtele E. A., Vecherkovskaya O. B. On the concept of efficiency. *Economic Analysis: Theory and Practice*. 2017, vol. 16, iss. 5, pp. 935–947. [In Russ]. doi.org/10.24891/ea.16.5.935.
17. Gospodarikov A. P., Revin I. E., Morozov K. V. Composite model of seismic monitoring data analysis during mining operations on the example of the Kukisvumchorrskoye deposit of AO Apatit. *Journal of Mining Institute*. 2023, vol. 262, pp. 571–580. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2023.9.
18. Marysyuk V. P., Darbinyan T. P., Andreev A. A., Noskov V. A. Efficiency of modification of the copper–nickel sulfide ore mining system in the Oktyabrsky mine. *Mining Journal*. 2019, no. 11, pp. 19–23. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2019.11.02.
19. Vanneschi C., Mastrorocco G., Salvini R. Assessment of a Rock Pillar Failure by Using Change Detection Analysis and FEM Modelling. *International Journal of Geo-Information*. 2021, vol. 10, iss. 11, 774. DOI: 10.3390/ijgi10110774.
20. Rasskazov M., Tereshkin A., Tsoi D., Konstantinov A., Miroshnikov V., Bagautdinov I., Kozhogulov K. Research of the formation of zones of stress concentration and dynamic manifestations based on seismoacoustic monitoring data in the fields of the Kola Peninsula. *E3S Web Conf*. 2020, vol. 192, 01009. DOI: 10.1051/e3sconf/202019201009.
21. Kotikov D. A., Shabarov A. N., Tsirel S. V. Connecting seismic event distribution and tectonic structure of rock mass. *Mining Journal*. 2020, no. 1. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2020.01.05.
22. Shuren W., Chunyang L., Wenfa Y., Zhengshen Z., Wenxue C. Multiple indicators prediction method of rock burst based on microseismic monitoring technology. *Arabian Journal of Geosciences*. 2017, vol. 10(6), pp. 132–140. DOI: 10.1007/s12517–017–2946–8.
23. Karasev M. A., Sotnikov R. O. Prediction of the stress state of the shotcreting support under repeated seismic load. *Journal of Mining Institute*. 2021, vol. 251, pp. 626–638. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2021.5.2.
24. Kutepov Yu. Yu., Karasev M. A. Analysis and prediction of phosphogypsum compaction in dumps for dump capacity substantiation. *Gornyi zhurnal*. 2023, no. 5, pp. 61–67. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2023.05.09.

25. Jin-Shuai Zhao, Bing-Rui Chen, Quan Jiang, Jian-Fei Lu, Xian-Jie Hao et al. Microseismic monitoring of rock mass fracture response to blasting excavation of large underground caverns under high geostress. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2022, vol. 55, iss. 2, pp. 733–750. DOI: 10.1007/s00603-021-02709-3.

26. Ilyin M. D., Petrov D. N., Karmanskiy D. A., Selikhov A. A. Physical simulation aspects of structural changes in rock samples under thermobaric conditions at great depths. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2023, vol. 8(4), pp. 290–302. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2023-09-150>.

27. Shabarov A. N., Kuranov A. D., Kiselev V. A. Assessing the zones of tectonic fault influence on dynamic rock pressure manifestation at khibiny deposits of apatite-nepheline ores. *Eurasian Mining*. 2021, no. 2 (36), pp. 3–7. <https://doi.org/10.17580/em.2021.02.01>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Носков Владимир Александрович*¹ — канд. экон. наук, заместитель директора по науке и инновационной деятельности Научного центра геомеханики и проблем горного производства, <https://orcid.org/0009-0006-6971-541X>, e-mail: noskov_va@pers.spmi.ru;

*Андреев Александр Александрович*¹ — руководитель проектов аппарата управления Научного центра геомеханики и проблем горного производства;

*Шабаров Аркадий Николаевич*¹ — докт. техн. наук, директор Научного центра геомеханики и проблем горного производства, <http://orcid.org/0000-0001-7925-3163>;

¹ Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, 199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 2¹ линия д.2, Россия.

Для контактов: *Носков Владимир Александрович*, e-mail: noskov_va@pers.spmi.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Noskov V. A.*¹, Cand. Sci. (Economic), Deputy Director for Science and Innovation of the Scientific Center for Geomechanics and Mining Issues, <https://orcid.org/0009-0006-6971-541X>, e-mail: noskov_va@pers.spmi.ru;

*Andreev A. A.*¹, Project Manager of the Management Staff of the Scientific Center for Geomechanics and Mining Issues;

*Shabarov A. N.*¹, Dr. Sci. (Eng.), Director of the Scientific Center for Geomechanics and Mining Issues, <http://orcid.org/0000-0001-7925-3163>;

¹ St. Petersburg Mining University, 199106, St. Petersburg, Vasilyevsky Island, 21 line, 2, Russia.

Corresponding author: *Noskov V. A.*¹, e-mail: noskov_va@pers.spmi.ru.

Получена редакцией 17.06.2024; получена после рецензии 16.07.2024; принята к печати 10.10.2024.

Received by the editors 17.06.2024; received after the review 16.07.2024; accepted for printing 10.10.2024.

