

УДК 622.838.3

**Балек Александр Евгеньевич**

доктор технических наук,  
ведущий научный сотрудник  
лаборатории геомеханики подземных сооружений,  
Институт горного дела УрО РАН,  
620075 г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58  
e-mail: [balek@igduran.ru](mailto:balek@igduran.ru)

**Сашурин Анатолий Дмитриевич**

доктор технических наук, профессор,  
главный научный сотрудник отдела геомеханики,  
Институт горного дела УрО РАН

**Харисов Тимур Фаритович**

кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник  
лаборатории геомеханики подземных сооружений,  
Институт горного дела УрО РАН

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДЗЕМНОЙ  
РАЗРАБОТКИ СОКОЛОВСКОГО  
МЕСТОРОЖДЕНИЯ СИСТЕМАМИ С  
ОБРУШЕНИЕМ В УСЛОВИЯХ  
ОБВОДНЕННЫХ НАЛЕГАЮЩИХ ПОРОД\****Аннотация:*

Представлено решение актуальной проблемы обеспечения безопасности подземной разработки Соколовского железорудного месторождения от риска аварийных прорывов воды и грязевых масс в подземные выработки при использовании системы этажного принудительного обрушения с донным выпуском руды в условиях наличия покрывающей толщи обводненных рыхлых отложений. С учетом результатов натурных инструментальных исследований напряженно-деформированного состояния массива горных пород, вмещающего рудную залежь, разработана гидро-геомеханическая модель месторождения, отражающая тектоническое строение и геодинамическую активность рудо-породного массива, где были учтены все наиболее значимые факторы и особенности проявления современной геодинамики в рыхлых водонасыщенных отложениях и на земной поверхности. На основе гидро-геомеханической модели составлены технологические решения по совершенствованию подземной разработки Соколовского месторождения, направленные на минимизацию риска аварийных прорывов песчано-глинистых отложений (ПГО) в подземные выработки. Предложена двухстадийная система этажного принудительного обрушения с отбойкой руды на компенсационные камеры с равномерно-последовательным донным выпуском руды в пределах всего блока на площади не менее 4000 м<sup>2</sup> с формированием наклонной границы «отбитая руда – налегающие породы».

*Ключевые слова:* подземная разработка, системы с обрушением, массив горных пород, напряженно-деформированное состояние, современные геодинамические движения, структурное строение, иерархическая блочность, внезапные прорывы водонасыщенных пород, подземные выработки, управление горным давлением

DOI: 10.25635/2313-1586.2019.01.005

**Balek Alexander E.**

Doctor of Science (Engineering),  
Leading Researcher of the Laboratory  
of Geomechanics of Underground Structures,  
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,  
620075, Ekaterinburg, Mamina-Sibiriyaka Str., 58  
email: [balek@igduran.ru](mailto:balek@igduran.ru)

**Sashurin Anatoly D.**

Doctor of Science (Engineering), Professor,  
Chief Researcher of the Department of Geomechanics,  
Institute of Mining, Ural Branch of RAS

**Kharisov Timur F.**

Candidate of Science (Engineering),  
Senior Researcher of the Laboratory of Geomechanics  
of Underground Structures,  
Institute of Mining, Ural Branch of RAS

**IMPROVEMENT OF UNDERGROUND MINING  
OF SOKOLOVSKOE DEPOSIT BY SYSTEMS  
WITH CAVING UNDER CONDITIONS  
OF WATERED OVERLYING ROCKS***Abstract:*

The paper presents the solution of the actual problem of ensuring the safety of the underground mining of Sokolovskoe iron ore deposit from the risk of emergency breakthroughs of water and mud masses into underground mines using the system of induced level caving with bottom ore drawing under the conditions of presence of the overburden of watered unconsolidated deposits. Subject to the results of field instrumental studies of the stress-deformed state of the rock mass containing the ore deposit, we have developed a hydro-geomechanical model of the deposit, representing the tectonic structure and geodynamic activity of ore and rock mass where we have taken into account all the most significant factors and features of current geodynamics in the unconsolidated water-saturated sediments and on the earth surface. On the basis of the hydro-geomechanical model, we have made the technological solutions for the improvement of the underground mining of the Sokolovskoe deposit to minimize the risk of emergency breakthroughs of the argillo-arenaceous deposits into the underground mines. We have proposed a two-stage system of induced level caving with breaking the ore by compensating chambers with uniform-sequential bottom ore drawing within the entire block at the area of not less than 4000 m<sup>2</sup> with the formation of inclined border "broken ore-overlying rocks".

*Keywords:* underground mining, systems with caving, rock mass, stress-deformed state, current geodynamic movements, structural framework, hierarchical blocking, sudden breakthroughs of water-saturated rocks, underground mines, rock pressure management

\* Работа выполнена в ходе реализации Госзадания № 075-00581-19-00, тема № 0405-2019-0007

### Введение

Соколовское железорудное месторождение, расположенное на северо-восточной окраине города Рудный (Костанайская область Казахстана), представлено рудовмещающей толщей мощностью 400 – 600 м в комплексе со слоистыми туффитами, в различной степени скаполитизированными, альбитизированными, скарнированными пироксеном, гранатом и эпидотом. Падение рудной зоны восточное – под углом 45 – 70°. Вмещающие породы и руда в основном крепкие ( $f$  от 10 до 16). Породный и рудный массивы имеют различную степень трещиноватости и устойчивости.

Месторождение отрабатывается карьером, а с 1975 г., с вводом в эксплуатацию подземного рудника, – комбинированной открыто-подземной геотехнологией.

По данным натурных исследований ИГД УрО РАН [1 – 2] для напряженно-деформированного состояния (НДС) горного массива в пределах поля шахты «Соколовская» характерна низкая напряженность, которая проявляется в условиях сравнительно низкой геодинамической активности окружающего массива Соколовско-Сарбайского рудного поля в целом. Выявлено, что на глубинах ведения горных работ (300 – 500 м) первоначальные напряжения горного массива со средним модулем упругости  $3 \pm 1$  ГПа определяются суммарным воздействием собственного веса налегающей породной толщи (при коэффициенте бокового давления 0,4) и практически равнокомпонентным полем горизонтальных тектонических напряжений  $3 \pm 1$  МПа.

Основная сложность ведения подземных горных работ системами с обрушением на шахте «Соколовская» связана с внезапными аварийными прорывами в горные выработки водонасыщенных песчано-глинистых отложений (ПГО) из обводненной рыхлой толщи, покрывающей месторождение. Обводненная толща налегающих пород представлена двумя водоносными горизонтами и глинистыми водоупорами суммарной мощностью порядка 115 – 120 м [3].

Работы, проводимые ИГД УрО РАН на шахте «Соколовская», были направлены на минимизацию опасности непрогнозируемых и неконтролируемых катастрофических геомеханических процессов и затопления горных выработок при разработке Соколовского месторождения подземным способом системами с обрушением в условиях обводненной толщи. Для реализации этой цели необходимо было разработать гидрогеомеханическую модель массива горных пород в пределах шахтного поля, отражающую тектоническое строение, геодинамическую активность и особенности ее проявления в рыхлых водонасыщенных отложениях и на земной поверхности.

#### *Гидро-геомеханическая модель массива налегающих горных пород Соколовского месторождения*

В соответствии с выявленными закономерностями формирования НДС рудо-породного массива шахты «Соколовская» [4] механизм формирования выходов ПГО в горные выработки под воздействием процессов сдвижения от подземных разработок складывается из следующих факторов и процессов:

1) В пределах шахтного поля в массиве горных пород проявляется депрессионный вид НДС, при котором в широтном направлении преобладают растягивающие деформации. Это подтверждено данными инструментальных замеров, используемыми в компьютерных моделях в качестве граничных условий, повышенными вертикальными оседаниями на всей территории шахтного поля, слабой устойчивостью незакрепленных обнажений горных пород (в том числе очистных камер), а также многочисленными трещинами с раскрытием от сантиметров до нескольких дециметров, зафиксированными разведочным бурением.

2) Растягивающие деформации в депрессионной зоне создают благоприятные условия для образования опережающих магистральных водо- и пульпопроводящих трещин, по которым по мере их развития формируются воронки обрушения специфичной

трубообразной формы (рис. 1). Этот феномен наблюдался практически с самого начала подземной разработки месторождения [3].

3) Развитие магистральных водопроводящих трещин создает благоприятные условия для того, чтобы ПГО разной степени увлажнения достигали различных глубин. С образованием очередной воронки обрушения песчано-глинистые массы смешиваются с обломочным скальным материалом, смесь дополнительно увлажняется и в процессе выпуска отбитой руды еще более интенсивно перемещается к выработкам выпуска.

Таким образом смесь обломочного скального материала и ПГО оказывается на разных глубинах, и в процессе выпуска руды достигает выпускных воронок рабочих горизонтов, не «просачиваясь» при этом через всю 300-метровую толщу обрушенных скальных пород. И это также неоднократно подтверждалось натурными наблюдениями. Так, в частности, при отработке блока № 8/14 в этаже –190/–260 м к дучкам проникала даже почти сухая глина.

Таким образом, основными источниками, откуда ПГО проникают в зону очистных работ и выходят через дучки в горные выработки, являются воронки обрушения, карстовые полости, заполненные мелкодисперсными обводненными породами, а также полости, образовавшиеся в массиве горных пород самообрушения в очистных выработках и не реализовавшиеся выходом воронок обрушения на поверхность. Сочетание вышеизложенных условий накопления водных масс и возникновения магистральных водопроводящих трещин обуславливает опасность внезапных прорывов ПГО в горные выработки.

К дополнительным внешним негативным факторам, способствующим возрастанию потенциальной опасности прорывов ПГО, отнесены:

- многократные повторные выходы воронок обрушения в существующие воронки обрушения от ранее отработанных блоков рабочего или вышележащих этажей;
- наличие многочисленных самообрушений над ранее отработанными очистными блоками, локализовавшимися в налегающем массиве горных пород на неизвестных уровнях, и в том числе в рыхлых отложениях;
- формирование консолей в висячем боку рудоносной толщи вследствие отставания границы зоны обрушения от границы горных работ по висячему боку, вследствие чего образуется обратный (более 90°) угол обрушения.

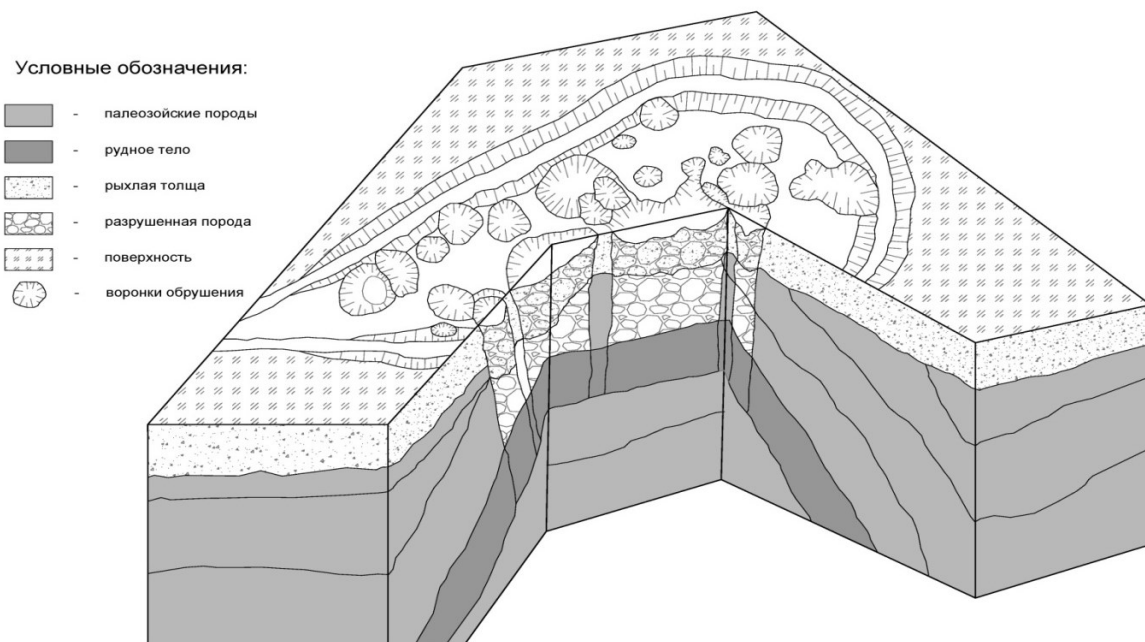


Рис. 1 – Схематичная модель зоны обрушения шахты «Соколовская»

К внутриблочным факторам, определяющим механизм формирования прорывов песчано-глинистых отложений в очистное пространство и инициирующим риски прорывов ПГО в выпускные выработки, относятся присутствие в воронках глинистых пород, свободной воды и наличие геодинамических подвижек, связанных с непрерывным процессом формирования зоны обрушения и периодическим вибровоздействием от промышленных взрывов.

К непосредственному технологическому фактору, инициирующему возрастание рисков и частоты выходов ПГО в горные выработки, относится неплановый выпуск отбитой руды в блоке, нарушающий контакт отбитой руды с обрушенными породами.

На основании вышеизложенного был сделан вывод, что основной причиной проникновения ПГО в очистные выработки шахты является нетипичный механизм развития процесса сдвижения, связанный с образованием трубообразных воронок обрушения в условиях неоднородного напряженно-деформированного состояния, формирующего во вмещающем породном массиве депрессионные зоны с пониженными горизонтальными напряжениями. Аварийные же прорывы водонасыщенных ПГО в шахтные выработки обусловлены возможностями накопления воды в открытых воронках обрушения и в пустотах, остающихся в толще рыхлых перекрывающих пород вследствие ненарушенности ее водоупорных свойств.

Вместе с тем есть все основания полагать, что после отработки горизонтов –330 и –400 м и объединения разрозненных воронок в крупномасштабную зону обрушения глубиной до 100 – 120 м (так называемую «большую дрена») водоупорные свойства налегающей породной толщи будут нарушены. Это позволит исключить условия для накопления воды и, соответственно, аварийные прорывы ПГО в шахту.

#### *Технологические решения по совершенствованию подземной разработки Соколовского месторождения*

Исходя из выявленных особенностей гидро-геомеханической модели подземную разработку Соколовского месторождения следует производить в такой последовательности, чтобы «большая дрена» сформировалась как можно раньше. Для этого рекомендуются следующие технологические решения:

1) При отработке горизонтов –330 и –400 м придерживаться равномерно-последовательного порядка отработки рудной залежи. Рекомендуемая направленность: от висячего бока к лежащему и от северного фланга к южному.

2) Внести коррективы в технологию ведения очистных работ, для чего организовать опытно-промышленный блок и провести испытания новых технологических решений, включающих

– равномерно-последовательный выпуск руды с формированием единой зоны обрушения в пределах всего блока с наклоном границы «отбитая руда – обрушенная порода» в сторону ненарушенного массива на площади не менее 4 тыс. м<sup>2</sup> (обязательное условие);

– двухстадийный порядок отработки блока с выемкой части руды открытыми камерами (желательное условие).

В основу опытно-промышленного блока положены параметры системы одностадийной разработки, принятые в соответствии с действующим проектом «Вскрытие и отработка горизонтов -190 м, -260 м и -330 м с годовой производительностью 5,0 млн т. руды» (ОАО «Казгипроцветмет», г. Усть-Каменогорск, 2004 г.).

Применяемая в настоящее время на руднике система этажного принудительного обрушения с донным выпуском руды через выпускные дучки не предусматривает образования компенсационных камер. Отбойка руды осуществляется на зажатую среду вертикальными слоями с использованием в качестве горизонтальной подсечки развороненные дучки. Очистные блоки при этом имеют следующие типовые параметры:

– высота блока – около 60 – 70 м (определяется высотой этажа);

- ширина по простиранию – около 50 м (определяется требуемой производительностью блока и в меньшей степени – конфигурацией рудной залежи);
- длина вкрест простирания – порядка 90 – 100 м и более (определяется мощностью и конфигурацией рудной залежи и в меньшей степени – требуемой производительностью блока).

В целях снижения рисков внезапных прорывов ПГО и ущерба от их последствий при сохранении существующих параметров очистных блоков предложено разместить в них компенсационные камеры и производить отработку запасов блока в две стадии. На первой стадии – вынимать запасы камер, на второй – обрушать на открытые камеры целики, потолочину и все прочие рудные запасы блока.

Для установления оптимальных параметров компенсационных камер (КК) по простиранию и вкрест простирания, а также целиков, междукамерных (МКЦ) и междублочных (МБЦ) выполнено компьютерное моделирование методом конечных элементов в программном комплексе *Rocscience* [5 – 7]. Модель представляла собой упруго-пластичный массив, в котором поочередно образовались две камеры, разделенные между собой целиком. В качестве модели поведения массива использовалась модель Хоека – Брауна (*Hoek – Brown*), позволяющая учитывать структурные характеристики массива горных пород [8 – 10].

Граничные условия модели приняты из анализа результатов натурных исследований:

$\gamma = 0,026 \text{ МН/ м}^3$  – удельный вес налегающей породной толщи);

$\lambda = \mu / (1 - \mu) = 0,3 / (1 - 0,3) = 0,4$  – коэффициент бокового давления;

$\mu = 0,3$  – коэффициент Пуассона;

$H = 500 \text{ м}$  – глубина от земной поверхности;

$\sigma_{\text{сж}} = 45 \text{ МПа}$  – предел прочности вмещающих пород на сжатие в образце;

$E = 5300 \text{ МПа}$  – модуль упругости вмещающего породного массива.

Физико-механические характеристики и свойства горных пород, магнетитовой руды и их массивов приняты по данным действующего проекта. Вследствие неоднородности прочностных свойств и напряженно-деформированного состояния в расчетной модели был предусмотрен вероятностный анализ, учитывающий изменение заданных граничных условий в интервалах, представленных в табл. 1.

Оптимальные параметры камер и целиков, которые были рекомендованы для рабочего проекта опытно-промышленного блока и которые обеспечивали устойчивость окружающего массива в процессе отработки этажа -260 м / -330 м, определены на основании многовариантного конечноэлементного моделирования, подробно описанного в статье [14]. Типовые параметры блока представлены на рис. 2 – 4.

Таблица 1

**Интервалы изменения граничных условий**

№ п/п	Свойства массива	Среднее значение	Стандартное отклонение
1	$\sigma_{\text{сж}}$ , прочность на одноосное сжатие образца горной породы в ненарушенном состоянии	45 МПа	15 МПа
2	GSI, геологический индекс прочности	55	10
3	m, параметр ненарушенной породы	20	5
4	D, коэффициент нарушения	0,8	0,1
5	$\sigma_{\text{верт}}$ , вертикальные напряжения	13 МПа	2 МПа
6	$\sigma_{\text{шир}}$ , горизонтальные широтные напряжения	16 МПа	2 МПа
7	$\sigma_{\text{мер}}$ , горизонтальные меридиональные напряжения	18 МПа	2 МПа

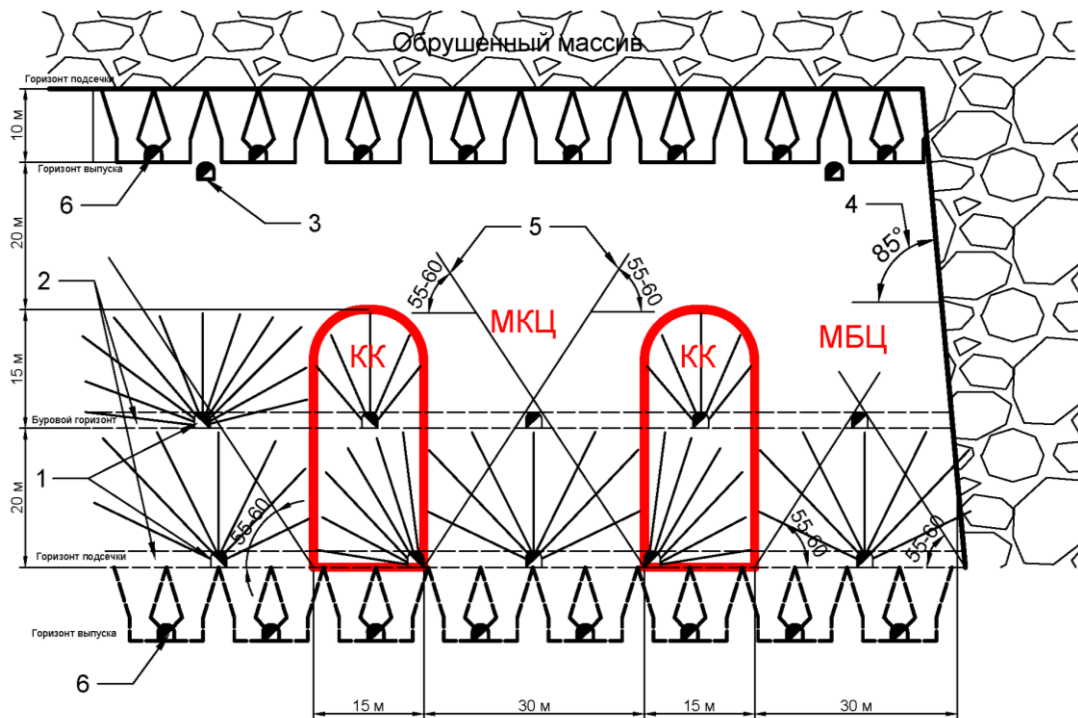


Рис. 2 – Разрез опытно-промышленного блока через компенсационные камеры  
вкрест простирания рудной залежи:

1 – буровые штреки; 2 – буровые орты; 3 – откаточный штрек; 4 – угол воронкообразования;  
5 – угол сдвижения; 6 – скреперный штрек

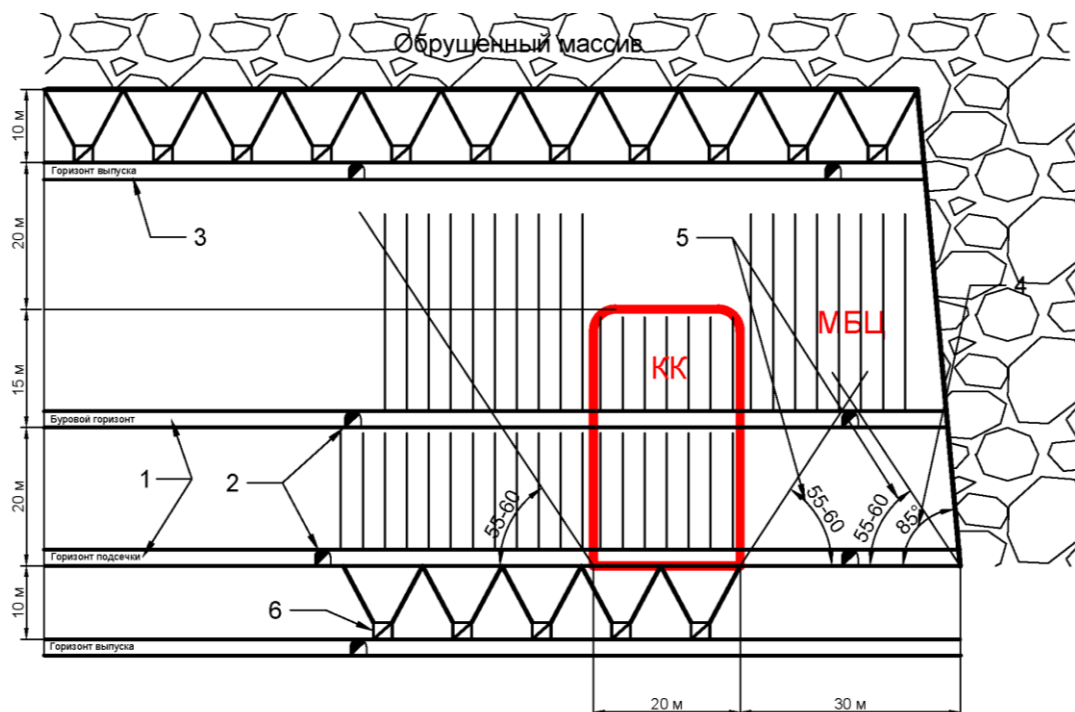


Рис. 3 – Проекция опытно-промышленного блока на вертикальную плоскость  
по простиранию рудной залежи:

1 – буровые штреки; 2 – буровые орты; 3 – откаточный штрек; 4 – угол воронкообразования;  
5 – угол сдвижения; 6 – скреперный штрек

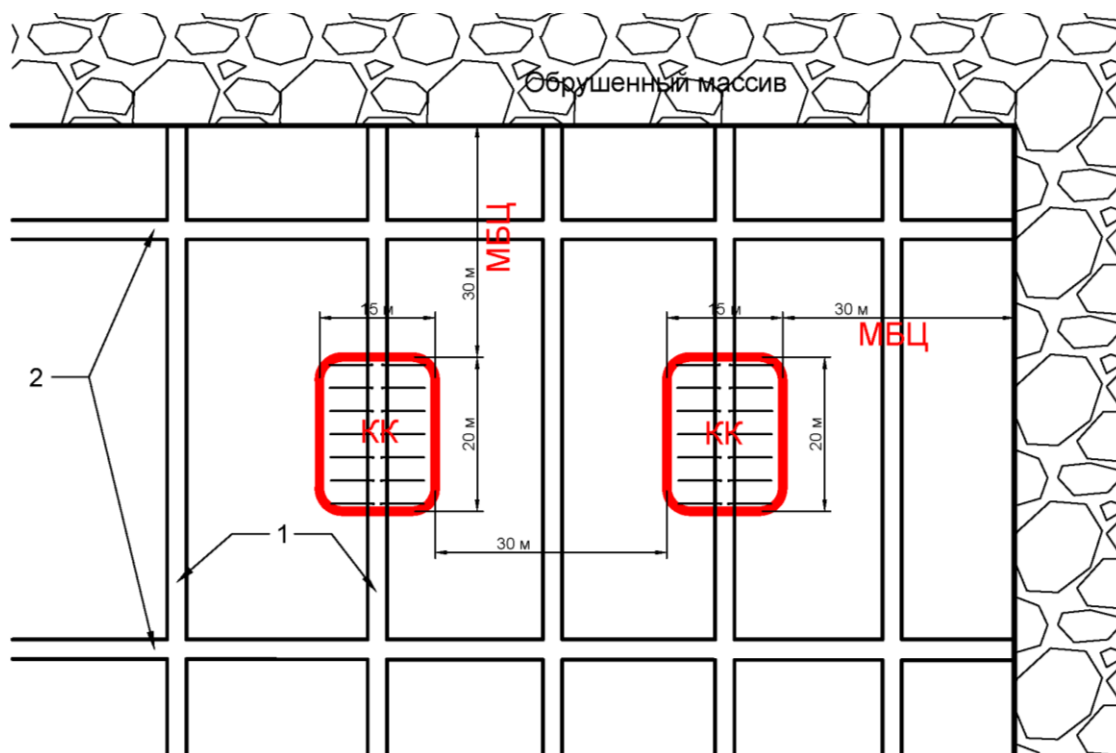


Рис. 4 – План опытно-промышленного блока по отметке бурового горизонта:  
1 – буровые штреки; 2 – буровые орты; 3 – откаточный штрек; 4 – угол воронкообразования;  
5 – угол сдвига; 6 – скреперный штрек

Опытно-промышленные испытания рекомендовано провести в наиболее сложных горно-технических условиях: когда опытный блок имеет контакт с обрушенным массивом (и, соответственно, с ПГО) не только сверху, но и с обоих флангов. В такой ситуации при сохранении типовых размеров очистного блока, вытянутого вкрест простирания залежи, в нем размещаются две компенсационные камеры (КК) с размерами в плане 20 м × 15 м и высотой 35 м, вытянутые по простиранию залежи, разделенные междукамерным целиком (МКЦ) и отделенные от выработанного пространства междублоковыми целиками (МБЦ) и потолочиной – каждые шириной по 30 м (см. рис. 4).

Итоговые параметры опытно-промышленного блока в плане:

- ширина по простиранию – 50 м;
  - длина вкрест простирания – 90 м;
  - высота – 65 м;
  - общий объем блока – 146250 м<sup>3</sup>;
  - объем камерных запасов – 21000 м<sup>3</sup> (т.е. 14 %);
  - объем целиковых запасов – 125250 м<sup>3</sup>;
- (при объемном весе руды  $\gamma = 3 \text{ т/м}^3$  – 375750 т).

Расчетная доза выпуска подразумевает минимальную дозу, при которой выполняются идеальные условия равномерно-последовательного выпуска, что обеспечивает равномерную границу «руда – порода». Максимальная доза выпуска из дучки принята на основании рекомендаций по выпуску, приведенных в технологическом регламенте [11], согласно которым разовое опускание границы контакта «порода – руда» не должно превышать 2,5 – 3 м. Исходя из этого максимальная доза выпуска  $q_{\max}$  достигает  $8q_{\text{опт}}$ , где  $q_{\text{опт}}$  – оптимальная доза выпуска.

Результаты расчетов оптимальных доз выпуска руды для различных значений параметров коэффициента разрыхления и сыпучести представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Оптимальная расчетная доза выпуска ( $q_{\text{опт}}$ ) из одной дучки  
в зависимости от коэффициента разрыхления ( $K_p$ ) и сыпучести ( $p$ )**

Параметры	Значения параметров					
$K_p$	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
$p$ , м	0,8	0,95	1,1	1,15	1,4	1,55
$q_{\text{опт}}$ , м <sup>3</sup>	33	28	24	21	19	17

При этом было учтено, что при выпуске руды со стороны висячего бока залежи эллипсоиды выпуска отклоняются в сторону висячего бока обрушенного массива, увеличивая вероятность проникновения в отбитую руду песчано-глинистых отложений. Для уменьшения этой вероятности рекомендован равномерно-последовательный выпуск руды с обеспечением наклона граничной зоны между отбитой рудой и обрушенными породами в сторону лежачего бока. Формирование наклона границы «руда – порода» достигается регулированием оптимальных доз выпуска руды из каждой дучки таким образом, что объем выпускаемой из дучек породы постепенно уменьшается по мере приближения к обрушенным породам висячего бока. В этом случае, согласно исследованиям [12, 13], эллипсоиды выпуска будут отклоняться в сторону наибольшей скорости выпускаемого потока, уменьшая разубоживание руды породами обрушенного массива со стороны висячего бока.

Для внедрения вышеописанных технологических решений ИГД УрО РАН разработаны «Методические указания по проведению мониторинга опасности катастрофических прорывов ПГО в подземные выработки и нарушения охраняемых объектов процессом сдвижения на шахте «Соколовская»», регламентирующие проведение мониторинга деформационных процессов, развития и изменения гидродинамических и геодинамических условий. Указания основываются на результатах комплексных исследований и предназначены для использования в качестве внутреннего нормативного документа по обеспечению безопасности подземной разработки Соколовского месторождения системами с обрушением. Данные методические указания представляют собой нормативный материал, который войдет в качестве составной части в обобщенный технологический регламент ведения очистных работ в сложных горно-геологических и гидро-геомеханических условиях шахты «Соколовская».

*Заключение*

Таким образом, по результатам натурных инструментальных исследований напряженно-деформированного состояния массива горных пород, вмещающего рудную залежь, решена актуальная проблема обеспечения безопасности подземной разработки Соколовского железорудного месторождения от риска аварийных прорывов воды и грязевых масс в подземные выработки при использовании системы этажного принудительного обрушения с донным выпуском руды в условиях наличия покрывающей толщи обводненных рыхлых отложений. Разработана гидро-геомеханическая модель месторождения, отражающая тектоническое строение и геодинамическую активность рудо-породного массива, с учетом всех наиболее значимых факторов и особенностей проявления современных геодинамических движений в рыхлых водонасыщенных отложениях и на земной поверхности. На основе гидро-геомеханической модели составлены технологические решения по совершенствованию подземной разработки Соколовского месторождения, направленные на минимизацию риска аварийных прорывов ПГО в подземные выработки, в основу которых положена двухстадийная система этажного принудительного обрушения с отбойкой руды на компенсационные камеры с равномерно-последовательным донным выпуском руды в пределах всего блока на площади не менее 4000 м<sup>2</sup> с формированием наклонной границы «отбитая руда – налегающие породы».



## Литература

1. Панжин А.А. Природное и техногенно измененное напряженно-деформированное состояние породного массива на ССГПО / А.А. Панжин, Н.А. Панжина // Маркшейдерия и недропользование. – 2014. – № 5 (73). – С. 44 – 51.
2. Инновационная технология диагностики геодинамической активности геологической среды и оценки безопасности объектов недропользования / А.Д. Сашурин, А.Е. Балец, А.А. Панжин, С.В. Усанов // Горный журнал. - 2017. - № 12. - С. 16 – 20.
3. Урдубаев Р.А. Подземные горные работы в АО «ССГПО» / Р.А. Урдубаев, С.В. Верин, Р.В. Шихаметов // Горный журнал. – 2014. – № 6. – С. 32 – 37.
4. Особенности напряженного состояния горного массива Соколовского железорудного месторождения / А.Е. Балец, А.А. Панжин, Ю.П. Коновалова, Д.Е. Мельник // «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений», г. Екатеринбург, 18-19 апреля 2017: 7-я Международная научно-техническая конференция: сборник докладов / УрГУ. - Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2018. - С. 256 - 265.
5. Rocscience RS2. URL: <https://www.rocscience.com/software/rs2> (дата обращения 07.08.2018).
6. Steady analysis of gob-side entry retaining formed by roof fracturing and control techniques by optimizing mine pressure / Y. Gao, Z. Guo, J. Yang, J. Wang, Y. Wang // J. China Coal Soc. – 2017. – Vol. 42. – P. 1672–1681.
7. Sepehri M. Stope stability assessment and effect of horizontal to vertical stress ratio on the yielding and relaxation zones around underground open stopes using empirical and finite element methods / M. Sepehri, D. Apel, W. Liu // Arch. Min. Sci. – 2017. – Vol. 62. – № 3. – P. 653–669. DOI: 10.1515/amsc-2017-0047.
8. Hoek E. A modified Hoek-Brown failure criterion for jointed rock masses / E. Hoek, D. Wood, S. Shah // Eurock 1992: Proceedings of the International ISRM Symposium on Rock Characterization. – London, 1992. – P. 209–213.
9. Hoek E. Hoek-Brown failure criterion – 2002 Edition / E. Hoek C. Carranza-Torres, B. Corkum // NARMS-TAC 2002: Proceedings of the Conference. – Toronto, 2002. – P. 267– 73.
10. Сас И.Е. Об особенностях модели поведения скального грунта Хоека - Брауна и задании ее исходных параметров / И.Е. Сас, А.В. Бершов // Инженерные изыскания. – 2015. – № 13. – С. 42 – 47.
11. Технологический регламент по защите подземных горных выработок Соколовского подземного рудника от возможных прорывов воды: отчет о НИР / РГП «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья»: рук. Букейханов Д. Г. – Алматы, 2005. – 129 с.
12. Неверов С.А. Особенности влияния глубины горных работ на параметры выпуска руды под обрушенными породами / С.А. Неверов, С.Ю. Васичев // Форум гірників - 2012 : матеріали міжнар. конф., 3-6 жовтня 2012 р.- Дніпропетровськ, 2012. - Т. 1. - С. 98-103.
13. Лаптев В.В. Анализ исследований в области компьютерного моделирования процесса выпуска руды для систем разработки с обрушением руды и вмещающих пород / В.В. Лаптев // Проблемы недропользования. - 2018. - № 2. - С. 107 – 112. DOI:10.25635/2313-1586.2018.02.107
14. Харисов Т.Ф. Геомеханическое обоснование параметров устойчивых камер и целиков в сложных горно-геологических условиях / Т.Ф. Харисов, О.Д. Харисова // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. – Т. 330. – № 7.- С. 42–47.