

ОЦЕНКА ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РАЗРАБОТКИ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ ЗАПАСОВ РУД В ЭНЕРГОНАРУШЕННЫХ МАССИВАХ КОМПЛЕКСНЫМИ МЕТОДАМИ

ASSESSMENT OF GEOMECHANICAL AND ENVIRONMENTAL SAFETY OF THE DEVELOPMENT OF NEAR- SURFACE ORE RESERVES IN ENERGY DISTURBED MASSIFS USING COMPLEX METHODS

V. Lyashenko,

*candidate of engineering sciences,
senior researcher,*

head of research department,

*Ukrainian Research and Design Institute for Industrial
Technology,*

Zhovti Vody, Ukraine;

A. Vorobyev,

doctor of engineering sciences, professor,

Atyrau University of Oil and Gas,

Atyrau, Kazakhstan;

O. Khomenko,

doctor of engineering sciences, professor,

National Technical University «Dniprovsk Polytechnic»,

Dnepr, Ukraine.

T. Dudar,

doctor of engineering sciences,

senior researcher, associate professor,

National Aviation University,

Kiev, Ukraine.

The paper presents the main scientific and practical results of research in the field of assessing the geomechanical and environmental safety of the development of near-surface ore reserves in energy-disturbed massifs using complex methods and geomechanical and hydrogeological monitoring of underground geotechnical systems of deposits of complex structure under water bodies. A comprehensive research method is described, including analysis of work, mine and laboratory experimental research, mathematical and physical modeling, as well as theoretical analysis and generalization of research results using standard and new methods.

Keywords: near-surface ore reserves, geomechanical and environmental safety, geotechnical systems, integrated assessment methods, water bodies, mineralization of mine water.

В.И. Ляшенко,

кандидат технических наук,

старший научный сотрудник,

*«Украинский научно-исследовательский и проектно-
изыскательский институт промышленной технологии»,*

г. Желтые Воды, Украина;

А.Е. Воробьев,

доктор технических наук,

профессор,

Атырауский университет нефти и газа,

г. Атырау, Республика Казахстан;

О.Е. Хоменко,

доктор технических наук,

профессор,

*Национальный технический университет «Днепро-
вская политехника»,*

г. Днепр, Украина;

Т.В. Дудар,

доктор технических наук,

старший научный сотрудник,

доцент,

Национальный авиационный университет,

г. Киев, Украина.

Ключевые слова: приповерхностные запасы руд, геомеханическая и экологическая безопасность, геотехнические системы, комплексные методы оценки, водные объекты, минерализация шахтной воды.

ных пород, его взаимодействием с выработками, крепями и охранными конструкциями и т. д. [1, 2]. Особенно остро эти вопросы встают в связи с интенсификацией и концентрацией производства, что требует привлечения новых прогрессивных методов постоянного геомеханического, сейсмического и экологического контроля с его трансформацией в системный мониторинг [3, 4]. Горнодобывающие предприятия оказывают негативное влияние на промышленные зоны, жилые агломерации, естественные объекты, в том числе и на водные и сельскохозяйственные угодья [5, 6]. Подземные горные работы под объектами при небольшой глубине относятся к технологически сложными, опасными и в научно-технической литературе освещены недостаточно. При разработке таких месторождений необходимо не только сохранить поверхность с сооружениями и зданиями, но и минимизировать возможный выход вредных элементов в окружающую среду и, как следствие, снизить их негативное влияние на население. Поэтому развитие приборно-методического обеспечения геомеханической и экологической безопасности горных работ на базе принципиально новых начал для повышения технико-экономических показателей, создания безопасных и комфортных условий труда,

Эффективность работы горнодобывающих предприятий во многом определяется стабильностью и безопасностью функционирования подземной геомеханической системы. Это достигается информированностью о состоянии производственной среды, контролем и прогнозом этих процессов, определяемых свойствами массива гор-

представляет важную научную и практическую задачу, требующую неотлагательного решения [7, 8]. Данная работа является продолжением исследований с участием авторов, основные научные и практические результаты которых наиболее полно приведены в работах [9-11].

Объект исследования — конструктивные элементы камерных систем с твердеющей закладкой различного состава и прочности для разработки приповерхностных запасов руд в энергонарушенных массивах под водными объектами (подрусловый поток р. Ингул, Украина).

Цель исследования — оценка геомеханической и экологической безопасности разработки приповерхностных запасов руд в энергонарушенных массивах комплексными методами под водными объектами (подрусловый поток р. Ингул, Украина). Это обеспечит охрану и рациональное использование недр, повышение экономической эффективности, горнотехнической и экологической безопасности добычи руд.

Метод исследований — комплексный, включающий анализ работ в области геомеханического мониторинга, шахтные и лабораторные экспериментальные исследования, математическое и физическое моделирование, а также теоретический анализ и обобщение результатов исследований по стандартным и новым методикам.

Обсуждение и оценка полученных результатов.

Геомеханический мониторинг — это комплексная система наблюдений за состоянием массива горных пород, оценки и прогноза техногенных изменений в литосферной среде с целью выявления негативных последствий и разработки рекомендаций по их устранению при разработке месторождений полезных ископаемых. Под контроль, диагностику и прогноз геомеханического состояния подземных геотехнических систем подпадают следующие явления, процессы и характеристики: свойства пород и горного массива, его напряженно-деформированное состояние (НДС); векторно-силовые параметры взаимодействия массива с выработками, креплением и охранными конструкциями; характеристики исходного состояния массива и его поведение в процессе подготовки и разработки месторождения; динамика и газодинамика среды. Достоверность мониторинга определяется количеством и информативностью используемых методов диагностики, а также уровнем приборного обеспечения. Рассмотрим новые элементы геомеханического и сейсмического мониторингов.

Оценка геомеханического состояния горного массива звукометрическими методами.

За состоянием горного массива сложного строения осуществлялся звукометрический контроль при помощи стационарного дистанционного геофона и датчиков с пьезо-кристаллом (рис. 1) [12].

Дистанционные системы звукометрического контроля за камерами и массивом в целом показали, что перераспределение напряжений в массиве происходит в течении 15 минут после массового взрыва и в дальнейшем не превышает 0-10 имп./мин. Звукометрические наблюдения в 14 из 23 камер блоков, подтвердили устойчивое состояние массива (интенсивность импульсов 0-17 имп./мин.). Установлено, что при устойчивых обнажениях камер в течении 2-2,5 лет, их дальнейшее состояние остается стабильным. Эти камеры возможно исключить из перечня подлежащих звукометрическому контролю.

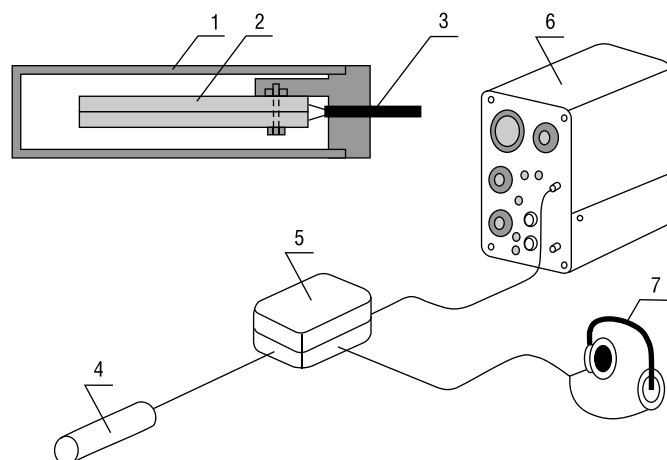


Рис. 1. Схема звукометрического метода зондирования массива горных пород:

а - конструкция датчика; б - рабочая схема: 1 - корпус датчика; 2 - кристалл сегнетовой соли; 3 - кабель; 4 - датчик; 5 - усилитель; 6 - осциллограф; 7 - наушники.

Многолетние исследования параметров акустических волн, распространяющихся вокруг очистного пространства, позволили установить закономерность ослабления акустических волн разрушения сплошности среды массива в горных породах и на их основе определить устойчивые параметры обнажений. Инструментальными измерениями звукометрическими приборами установлено также состояние устойчивости горных массивов при интенсивности импульсов — 0-3 имп./мин. Это подтверждается визуальным осмотром обнажений камер 10-ти эксплуатационных блоков в этажах 280-520 м рудной шахты. Обследованные камеры и горный массив в целом находятся в устойчивом состоянии, опасности обрушения горных пород нет.

Опыт косвенной оценки устойчивости предохранительного целика под водными объектами.

«Мичуринское» сложноструктурное месторождение Восточного ГОКа (Украина), значительная часть которого залегает под рекой, промышленными и гражданскими зданиями и сооружениями, представлено крутопадающими рудными телами различной мощности (рис. 2) [13].

Длина рудных тел составляет по простиранию от 600 до 700 м (преимущественно 100-250 м), по падению от 150 до 400 м. Руды и вмещающие их породы крепкие (коэффициент крепости по шкале проф. М.М. Протодьяконова $f=14-18$), массивные, имеют неслоистое строение. В направлении к поверхности происходит существенное ухудшение количественных и качественных характеристик трещиноватости как по отдельным залежам так и по месторождению в целом. На верхних горизонтах породы выветренные, коэффициент крепости снижается до $f=6$. Месторождение разрабатывается камерной системой с закладкой выработанного пространства твердеющей смесью различного состава и прочности с оставлением предохранительного (подречного) целика мощностью 70-90 м (рис. 3). Кристаллические породы в пределах поймы и подречного целика реки «Ингул» представлены гранитами, гнейсами, рудными и безрудными альбититами, и на всей площади перекрыты чехлом песчано-глинистых отложений.

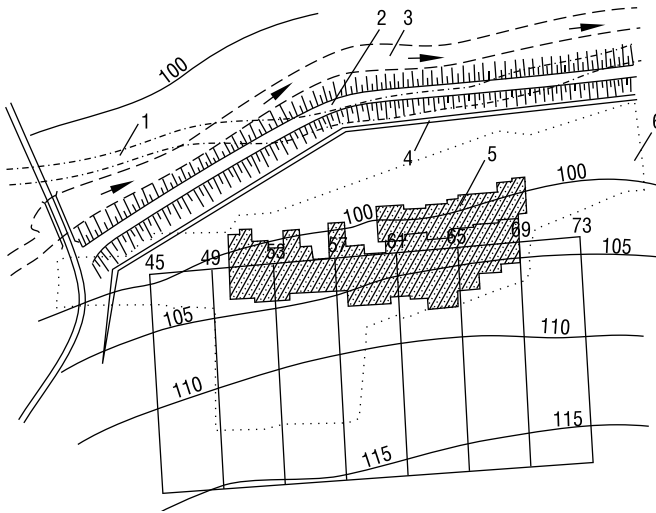


Рис. 2. Совмещенный план поверхности и подземного участка «Мичуринского» месторождения:

1-главный Мичуринский разлом; 2-дамба; 3-река; 4- противодиффузионная завеса; 5 - кровля камеры на горизонте 60 м; 6 - кровля камер на горизонте 90 м.

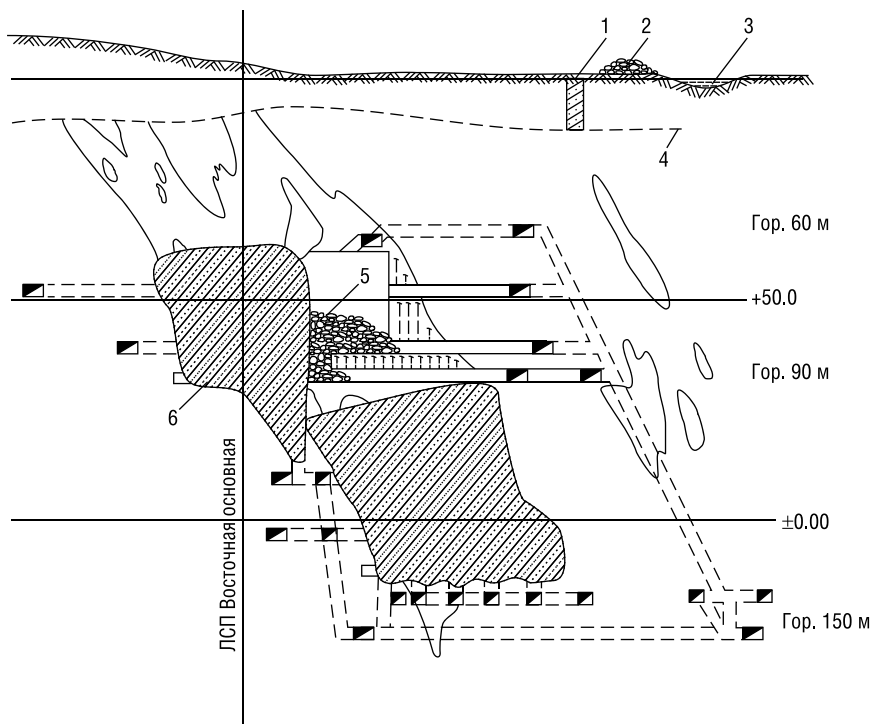


Рис. 3. Камерная система разработки с закладкой твердеющей смесью и торцовым выпуском руды:

1 - противодиффузионная завеса; 2 - дамба; 3 - река; 4 - нижняя граница коры выветривания; 5 - отбитая руда; 6 - камеры отработанные и погашенные твердеющей закладкой; ЛСП- линия совмещенной проекции.

Общая мощность рыхлых отложений колеблется от 4-6 м на севере до 15-20 м — на юге. Ниже рыхлых отложений повсеместно распространяется зона выветренных кристаллических пород. Мощность зоны не постоянна и колеблется от 2 до 20 м. Увеличение мощности зоны выветренных пород от 20 до 40 м происходит с севера на юг и с востока на запад. В гидрогеологическом отношении участок месторождения характеризуется тремя водоносными горизонтами, которые

гидравлически связаны между собой. Общее направление потока с севера на юг согласуется с направлением течения реки. Наиболее интенсивно влияние вод реки сказывается на залежи I и 20 и породах их висячего бока. Это объясняется тем, что русло реки проходит на севере непосредственно над залежами, а южнее 49-й оси — вдоль висячего бока залежи I в полосе сильнотрещиноватых пород. В процессе более чем 30-летней отработки месторождения камерная система разработки с отбойкой руды из подэтажных штреков (ортов) и закладкой твердеющими смесями хорошо освоена, имеет высокую производительность труда, сравнительно низкую себестоимость продукции и самое главное — высокую интенсивность, что очень важно при вовлечении в эксплуатацию залежей подречного целика. Камеры в этаже 90-150 м и ниже, шириной 15 м, располагались вкрест простирания. Отбойку руды вели скважинными зарядами диаметром 57 и 65 мм, которые бурили станками НТ-2 «Норит» и ПК-75. Параллельные нисходящие скважины диаметром 85 мм для образования отрезной щели бурили станками НКР-100М. Отбитая руда через вибропитатели ПВГ-1,2/3,1 и ПВГ-1,3/7,0 поступала в вагоны ВГ-4М. Применяется также самоходное буровое оборудование отечественного производства

для проходческих и очистных работ: установка буровая БУ-85С; колонка для бурения шпуров ручным перфоратором ЛКР-МН; установка бурильная шахтная УБШ-201; установка бурильная шахтная УБШ-203; малогабаритная буровая установка УБШ-1ГЛ и погрузочно-доставочное оборудование: погрузочно-доставочная машина МПДН-1А; электрогидравлическая погрузочно-транспортная машина ПТ-2ЭШ-М, а также зарубежных фирм «Atlas Copco» (буровые установки Boomer 281, Boomer S1D; погрузочно-доставочная машина Wagner ST-3,5; шахтные самосвалы MT 2010, SANY LC 20E), «Tamrock» и др. [14, 15].

Отличительной особенностью разработки указанных приповерхностных запасов является сооружение противодиффузионной завесы до нижней границы коры выветривания по технологии «стена в грунте» (для предотвращения попадания в горные выработки вод подруслового потока) и предохранительной дамбы из отбитых горных пород вдоль русла реки Ингул (для предотвращения попадания в горные выработки талых и ливневых вод) в зоне влияния горных работ.

На протяжении всего периода ведения горных работ под предохранительным под-

речным целиком проводили комплексные наблюдения за подрабатываемым массивом, которые включали исследование сдвижений поверхности совместно со специалистами АО «ВНИИ» (г. Санкт-Петербург, Россия), звукометрические наблюдения из горных выработок с помощью переносных приборов и дистанционно — с поверхности. Осуществляли сейсмические, инструментальные и визуальные наблюдения, а также давалась косвенная оценка устойчивос-

ти предохранительного целика по изменению минерализации шахтной воды. Для количественной оценки напряженного состояния массива выше горизонта 90 м использовали звукометрический метод, состоящий в регистрации количества звуковых сигналов, возникающих в подрабатываемом массиве вследствие микроразрушений по мере ведения горных работ в интервале 90–150 м (рис. 4).

При увеличении напряжений в предохранительном целике интенсивность микроразрушений возрастает, что фиксировалось системой центрального звукометрического контроля (СЦЗК-2М). Количество микроразрушений в единицу времени характеризует состояние изучаемого массива. Сейсмические наблюдения включали регистрацию скорости прохождения сейсмических колебаний, а инструментальные — поведение глубинных реперов, установленных в скважинах, пробуренных с поверхности, и открытых маркшейдерских реперов. Косвенная оценка устойчивости предохранительного целика базируется на уменьшении минерализации шахтных вод. Интенсивность проникновения поверхностных вод определяет нарушенность целика раскрытием трещин. Наблюдения показывают, когда работы в подречном целике не проводили, минерализация шахтных вод не снизилась, а даже несколько возросла, что подтверждает отсутствие существенных изменений в подрабатываемом массиве (рис. 5).

В начале определяют содержание минеральных веществ в притоках воды в горные выработки до ведения горных работ. По отношению полученных исходных ($\bar{x}_1$) и текущих ($\bar{x}_2$) определяют геомеханическое состояние подработанного массива с учетом критерия Стьюдента согласно формуле

$$K_g = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S \cdot \sqrt{n_1 \cdot n_2 / (n_1 + n_2)}}, \quad (1)$$

где K_g — критерий водоопасности; $\bar{x}_1$ и $\bar{x}_2$ — исходная и текущая удельная минерализация в пробе подземной воды, отобранная до и после подработки водного объекта, мг/л; n_1 и n_2 — количество проб подземной воды в исходной и текущей группах наблюдений для исходного и текущего моментов времени (изменяется в пределах 1...20); S — среднее квадратическое отклонение разности $\bar{x}_1 - \bar{x}_2$, мг/л.

Показатели, характеризующие изменение критерия водоопасности K_g , в зависимости от горно-геологических условий исследуемых участков, приведены в табл. 1.

Полученные данные по шахтным водам до ведения горных работ в очистных камерах рассматриваются как исходные для последующего сравнения. Значение критерия K_g , соответствующее водобезопасному, угрожающему и водоопасному геомеханическим состояниям охранного целика под водным объектом, определяется на основании проведенных экспериментальных работ при подработке горного массива.

На первом этапе на каждом контролируемом участке охранного целика под водным объектом проводились постоянные наблюдения за признаками водоопасности и за удельной минерализацией шахтной воды по наблюдательным скважинам. На этой стадии проводится накопление информации.

На втором — по результатам комплексных наблюдений за признаками водоопасности и удельной минерализации

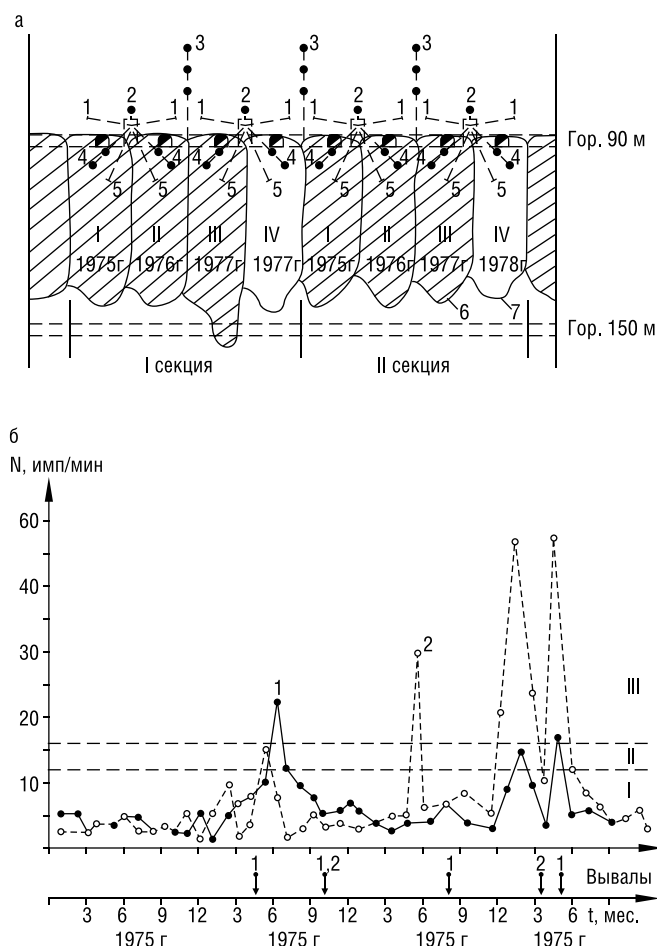


Рис. 4. Контроль за безопасностью разработки рудных залежей под водными объектами (река Ингул, Украина):

а — вертикальная проекция рудной залежи: 1, 2 — скважины, соответственно, для проведения звукометрических наблюдений и глубинными реперами за состоянием кровли камер; 3 — скважины с глубинными реперами для проведения наблюдений за состоянием потолочины; 4, 5 — скважины для глубинных реперов; 6 — заложенные блоки; 7 — выработанное пространство; б — графики звукометрических наблюдений за устойчивостью обнажений камер в секциях: 1, 2 — кривые, соответственно, первой и второй секций; I, II, III — соответственно устойчивое, переходное и неустойчивое состояние массива горных пород (другие обозначения в тексте).

шахтной воды геомеханическое состояние контролируемого участка охранного подречного целика оценивается как водонеопасное, угрожающее и водоопасное.

Критерий водоопасности связан с надежностью определения геомеханического состояния подработанного массива. При $K_g < 0,20$ с доверительной вероятностью (надежностью) не менее 0,84, геомеханическое состояние охранного целика на контролируемом участке водонеопасное; при $0,20 < K_g < 0,50$ с надежностью не менее 0,62, геомеханическое состояние водонеопасное, но надежность такой оценки является низкой, поэтому такое геомеханическое состояние по водоопасности является угрожающим (предупредительным) и предшествует водоопасному; при $K_g > 0,50$ надежность водоопасного геомеханического состояния становится менее 0,62, то есть с вероятностью более 0,38 можно утверждать о возможности прорыва вод из водного объекта в горные выработки.

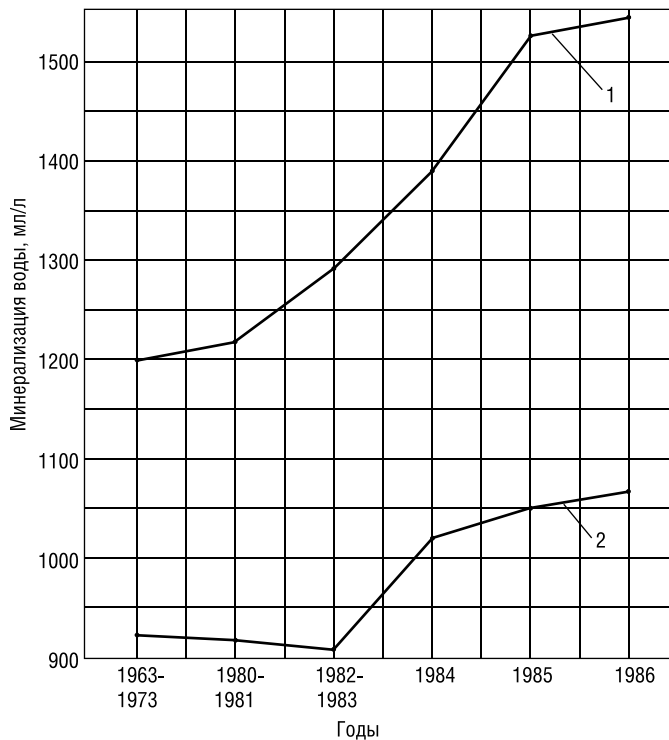


Рис. 5. Графики измерения минерализации шахтных вод во времени: 1, 2 — соответственно при устойчивости и при нарушении целика раскрытием трещин (данные из протокола).

Таблица 1

Характеристика горного массива в зависимости от критерия водоопасности.

Наименование показателей	Геомеханическое состояние подработанного массива пород и руд		
	водобезопасное	угрожаемые	водоопасное
Критерий водоопасности (K_B): минимальный; максимальный; надежность определения	0,002 0,2 >0,84	0,2 0,5 >0,62	0,5 >0,9 <0,62
Коэффициент структурного ослабления массива горных пород*	>0,4	0,4-0,2	0,2-0,1
Среднее расстояние между трещинами в массиве P , см	>35	35-15	15-5
Удельная тещиноватость массива, тр/м ²	0-8	8-15	15-30
Состояние подработанного массива	Устойчивое	Среднеустойчивое	Неустойчивое

Примечание. Коэффициент структурного ослабления определяется по количеству трещин горного массива, приходящихся на 1 м² (по данным скважин или горных выработок).

Пределы изменения значений критерия водоопасности K_B в зависимости от геомеханического состояния охранного целика приведены в табл. 2.

Таблица 2

Классификация геомеханического состояния горного массива под водными объектами по критерию водоопасности.

Критерий водоопасности, K_B	Геомеханическое состояние охранного целика	Проявление геомеханического состояния в очистных выработках	Мероприятия по повышению безопасности ведения горных работ
$K_B < 0,20$	Водобезопасные	Заметного водопроявления и самообрушения пород кровли не наблюдается	Проводятся с определенной частотой наблюдения за удельной минерализацией шахтной воды и, при возможности, за водопроявлением и проявлением горного давления
$0,20 \leq K_B \leq 0,50$	Угрожающее	Наблюдается изменение водопроявления и незначительное самообрушение пород кровли	Наблюдения проводятся чаще, производят подготовительные работы к изоляции и закладке выработанного пространства искусственными материалами на случай резкого увеличения водопроявления и объемов самообрушения
$K_B > 0,50$	Водоопасное	Наблюдается резкое изменение водопроявления и значительное самообрушение пород кровли	Наблюдения проводятся с максимально возможной частотой, подготовительные работы срочно изолируют от поступления в них воды из очистного пространства и при необходимости закладывают очистное пространство искусственными материалами

Каждому значению критерия водоопасности соответствуют: определенное по водоопасности геомеханическое состояние охранного целика; характерные для этого геомеханического состояния водопроявление горного давления в очистной выработке на контролируемом участке; необходимые для проведения мероприятия по повышению безопасности горных работ и эффективности мер охраны водного объекта, своевременного предотвращения интенсивного затопления подземных горных выработок.

Оценку водоопасности геомеханического состояния охранного целика производят по удельной минерализации — удельному содержанию солей (катионов: Na^+ , K^+ , Mg^+ и анионов: HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) в мг/л в притоках подземной воды наблюдательных скважин. Для чего, по каждой наблюдательной скважине отбирают пробы подземной воды и определяют удельное содержание солей (табл. 3).

По величине разности удельных минерализаций по двум пробам (исходной и текущей) подземной воды судят о геомеханическом состоянии и водоопасности охранного целика под водным объектом в различный период времени. Снижение удельного содержания солей в подземных водах характеризует ухудшение геомеханической устойчивости горного массива. На основании результатов геомеханического контроля за состоянием горного массива звукометрическими переносными приборами, улавли-

Таблица 3

Гидрогеологическая и геомеханическая характеристики горного массива под водным объектом.

Данные по обработке	Исследуемый участок	Весна				Лето			
		л, шт	х, мг/л	S, ед.	K _в , %	л, шт	х, мг/л	S, ед.	K _в , %
Исходные	Водный объект	6	834	427	48,8	19	965	263	27,2
	Подземные выработки	34	1159	223	19,2	161	1200	206	17,2
Текущие	Водный объект	4	918	478	52,1	16	1087	318	29,2
	Подземные выработки	14	1650	405	24,6	48	1545	392	25,3
		Осень				Зима			
		л, шт	х, мг/л	S, ед.	K _в , %	л, шт	х, мг/л	S, ед.	K _в , %
		6	987	221	22,4	3	982	212	21,6
		31	1203	156	13,0	34	1213	188	15,5
		5	1155	211	18,2	4	1138	287	25,2
		19	1653	444	26,8	7	1630	512	31,4

Таблица 4

Показатели изменения коэффициента запаса прочности от величины действующих напряжений и частоты импульсов разрушения.

Массив							
среднетрещиноватый				сильнотрещиноватый			
Напряжение, σ , МПа (кгс/м ²)	Частота импульсов, $N_{имп}$, имп/мин	Коэффициент запаса прочности, л, ед	Напряжение в % от разрушающего	Напряжение, σ , МПа (кгс/м ²)	Частота импульсов, $N_{имп}$, имп/мин	Коэффициент запаса прочности, л, ед	Напряжение в % от разрушающего
4,4 (44)	4	9,5	24,0	2,2 (22)	1	19,10	9,2
6,6 (66)	5	6,4	36,1	4,4 (44)	1	9,50	18,3
8,8 (88)	10	4,7	48,1	6,6 (66)	1	6,40	27,5
11,0 (110)	13	3,8	60,1	8,8 (88)	2	4,70	36,6
13,2 (132)	19	3,2	72,1	11,0 (110)	4	3,80	45,8
15,4 (154)	24	2,7	84,2	13,2 (132)	10	3,20	55,0
18,3 (183)	32	2,3	100,0	17,6 (176)	12	2,40	73,3
-	-	-	-	24,0 (240)	24	1,75	100,0

Таблица 5

Вероятностная шкала устойчивости для категорий охраняемых объектов.

Охраняемые объекты ¹	Коэффициент безопасности ¹ , ед.	Надежность, Р, доли ед.	Вероятность разрушения, V, доли ед.	Предельно допустимый запас прочности, л, ед.
I категории	150	0,9970	0,0030	$76,88 \cdot 10^{-3} t^{1,07}$
II категории	100	0,9940	0,0040	$47,99 \cdot 10^{-3} t^{1,07}$
III категории	50	0,9831	0,0169	$23,73 \cdot 10^{-3} t^{1,07}$
Водные: II группы I группы	75 50	0,9880 0,9831	0,0120 0,0169	$29,95 \cdot 10^{-3} t^{1,07}$ $23,73 \cdot 10^{-3} t^{1,07}$

вающими звуковые импульсы разрушения (горные шумы), возникающие в момент нарушения целостности внутренних связей его отдельностей [16, 17], авторами установлено изменение коэффициента запаса прочности n от частоты импульсов разрушения $N_{имп}$ (табл. 4).

Предложена также вероятностная шкала устойчивости для разных категорий охраняемых объектов (табл. 5). Для условий Мичуринского месторождения, Украина предложена формула для определения коэффициента запаса прочности вида [18, 19]:

$$n = 23,73 \cdot 10^{-3} t^{1,07}, \quad (2)$$

где n – коэффициент запаса прочности, ед.; t – время существования обнажения потолочины, сут.;

для среднетрещиноватого массива

$$n = 20,1 N_{имп}^{-0,64}, \quad (3)$$

для сильнотрещиноватого массива

$$n = 13,9 N_{имп}^{-0,55}, \quad (4)$$

Визуальные наблюдения. Метод оценки напряженного состояния породного массива по данным визуальных на-

¹⁾ Категории охраняемых объектов и коэффициент безопасности приведены в соответствии с [20, 21].

блюдений имеет ряд преимуществ. Отпадает необходимость в определении упругих свойств пород. Дает представление об устойчивости обнажений по всему видимому периметру выработок. Как по непосредственным шахтным наблюдениям, так и по вычислениям напряжений, он менее трудоёмок [22, 23].

Ориентация максимальных компонент напряжений определяется по месту проявления нарушений на контуре выработки прямоугольно-сводчатой или овальной формы с отношением габаритных размеров λ_g близких 1,0. При соотношениях ширины выработки к высоте $\lambda_g = 0,9 \dots 1,1$, ошибка в определении направления максимальных компонент не превышает 20° . Для количественной оценки напряжений, необходимой при определении устойчивых параметров очистных камер, применено понятие уровня напряженного состояния породного массива, характеризующееся отношением максимальной компоненты напряжений к прочности пересекаемых выработкой пород:

$$\eta = \frac{\sigma_{max}}{R_0}, \quad (6)$$

где η — уровень напряженного состояния породного массива; R_0 — прочность образцов пород на одноосное сжатие, МПа; σ_{max} — максимальное напряжение пород, МПа.

На шахтах ЧАО «Криворожского железорудного бассейна» и ЧАО «Запорожского железорудного комбината» (Украина) критерии прогноза механизма и интенсивности проявления горного давления $\eta = 0,12$, $\eta = 0,2$, $\eta = 0,3$ и $\eta \geq 0,5$ подтверждены более чем тридцатилетней практикой проектирования [24, 25]. По визуальным признакам исследованы интенсивность и механизм проявления горного давления (рис. 6). В частности, при деформации элементов крепи и отсутствии срабатывания узлов податливости, $\eta < 0,3$ (см. рис. 6, а, б); при нарушении набрызг-бетона, наличия трещин расслоения и кливажа, $0,2 < \eta < 0,3$ (см. рис. 6, в, г); при обнажениях представленных блоками средне- и крупноблочной отдельности, $\eta < 0,3$ (см. рис. 6, д). Применительно к геомеханическим условиям сложноструктурных месторождений Украины, для которых характерна низкая степень анизотропии, при которой практически не нарушается симметрия распределения напряжений и деформаций по контуру выработки, количественная оценка ориентации и интенсивности максимальных напряжений приведена в табл. 6.

По уровню напряженного состояния η при известной прочности пересекаемых выработкой пород вычисляется σ_{max} , по месту проявления горного давления определяется направление её действия. С целью установления тенденции изменения механизма и интенсивности проявлений горного давления по глубине выполнено обследование горных выработок шахты в интервале глубин 340–550 м. Для установления влияния горизонтальной и вертикальной компонент напряжений на формирование поля напряжений в нарушенном очистной выемкой пространстве выполнен анализ распределения напряжений по периметру выработанного пространства с учетом развития очистных работ в этаже [26, 27].

Визуальную оценку напряжений выполняет геологомаркшейдерская служба шахты. Обследуют все забои и действующие выработки, различно ориентированные в пространстве. При этом фиксируют места разрушений

на контуре выработок и информацию о них заносят в Книгу визуальных наблюдений за выработками (табл. 7).

Следует обращать внимание на характер разрушения пород на контуре, насколько параллельны отслаиваемые плитки контуру выработки и как согласуются поверхности отслоений с естественными поверхностями ослаблений (трещинами, слоистостью и т. п.).

Таким образом, геомеханический мониторинг горного массива и целиков различного назначения осуществляется посредством звукометрических и маркшейдерских приборов, струнных тензометров, глубинных и грунтовых реперов, оптических приборов, электрических цепей, визуально и косвенных методов по изменению минерализации шахтных вод. Это дает возможность прогнозировать устойчивость массива, конструктивные элементы систем разработки и безопасные условия ведения работ под водными объектами и в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях месторождений полезных ископаемых [28, 29].

Оценка полученных результатов исследований. При подземной разработке рудных месторождений в зоне охраняемых объектов, определения устойчивых параметров осуществляется на основании метода аналогий, что может привести к недостаточной их обоснованности для сложноструктурных месторождений в энергонарушенных массивах. Авторами экспериментально установлено, что при разработке таких месторождений камерной системой с твердеющей закладкой различного состава и прочности на глубине менее 150–200 м от поверхности, устойчив эквивалентный пролет горизонтального обнажения потолочины камеры находится в прямой зависимости от глубины ее расположения [30, 31].

Это обуславливает необходимость в определении предельно допустимых устойчивых отложений в конкретных горно-геологических и горнотехнических условиях. Доказано, что для условий разработки сложноструктурных месторождений подземным способом достоверную информацию о состоянии горного массива дает метод акустической эмиссии — звукометрический метод. Установлено, что устойчивость конструктивных элементов системы разработки возможно прогнозировать по показателю коэффициента запаса прочности, который находится в обратной степенной зависимости от количества звукометрических импульсов разрушения горного массива. Для различных категорий охраняемых объектов, предложено вероятностную шкалу устойчивости, которая дает возможность, задаваясь надежностью конструктивных элементов камерной системы разработки, определять необходимый запас прочности, обеспечивает в течение соответствующего времени сохранения предохранительной потолочины камеры, тем самым создаются безопасные условия ведения горных работ [32, 33].

Перспективные направления исследований. Полученные результаты не исчерпывают проблему природо- и ресурсосбережения, охраны окружающей среды и человека. Развитие методических основ оптимизации горной технологии должно привести к созданию соответствующей подсистемы автоматизации проектирования и планирования горных работ, повышению технологической и экологической безопасности окружающей среды, рациональному использованию и охране недр, а также безопасности жизнедеятельности человека в зоне влияния горных работ [34, 35].

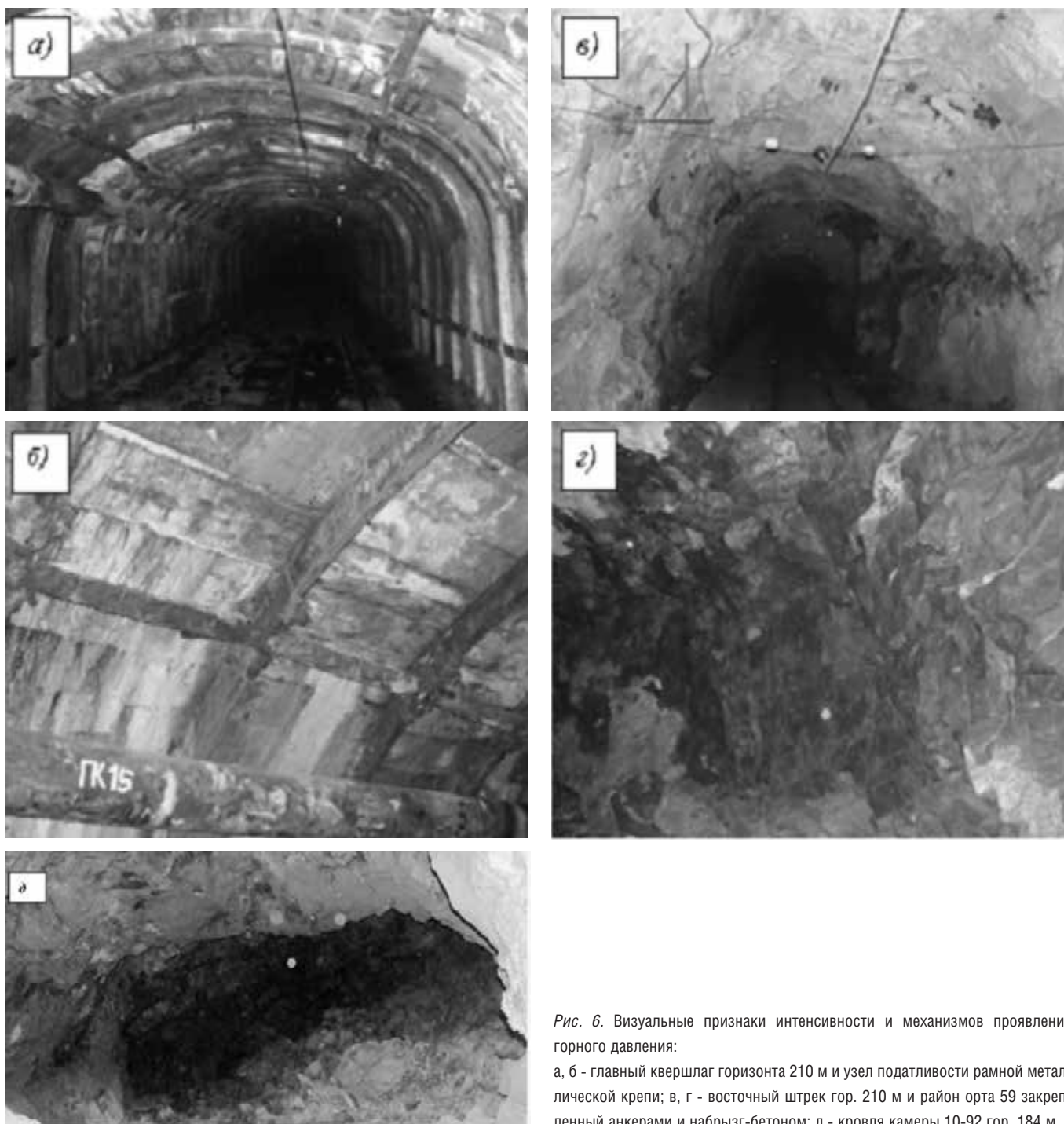


Рис. 6. Визуальные признаки интенсивности и механизмов проявления горного давления:

а, б - главный квершлаг горизонта 210 м и узел податливости рамной металлической крепи; в, г - восточный штрек гор. 210 м и район орта 59 закрепленный анкерами и набрызг-бетоном; д - кровля камеры 10-92 гор. 184 м.

Закключение. В результате проведенных исследований основанных на результатах геомеханического и сейсмического мониторингов горного массива и целиков различного назначения сделаны следующие выводы:

1. Установлена зависимость коэффициента запаса прочности от вероятности разрушения предохранительной потолочины при устойчивом и неустойчивом состояниях, которые отвечают условиям безопасности горных работ на Мичуринском месторождении и надежности, равной 0,983, при времени существования обнажений горных пород до 240 сут. с учетом обеспечения устойчивости конструктивных элементов камерных систем под охраняемыми объектами.

2. Определено, что устойчивость массива и целиков зависит от интенсивности импульсов (частоты) звуков разруше-

ния в минуту. Устойчивому состоянию соответствуют значения в пределах 0-13, переходному — 13-17, неустойчивому — более 17 имп/мин. Для сильнотрещиноватых горных массивов приходится до 20 м² обнажения на 1 м скважины, среднетрещиноватых — 30 и слаботрещиноватых — 50.

3. Доказано, что геомеханическое состояние горного массива под водными объектами классифицируют по критерию водоопасности (K_g): при значениях $K_g < 0,20$ — геомеханическое состояние охраняемого целика водобезопасное; $0,20 \leq K_g \leq 0,50$ — угрожающее; $K_g > 0,50$ — водоопасное.

4. Предложена классификация напряженного состояния горного массива по степени удароопасности (неудароопасный, при $\eta \leq 0,2$; первая, вторая и третья категории удароопасности, соответственно, при $\eta > 0,5$; $0,3 < \eta \leq 0,5$

Таблица 6

Классификация состояния горного массива по уровню напряжений.

Место проявления нарушения	Форма и интенсивность нарушения	Ориентация σ_{max}	Уровень напряженного состояния массива	Категория удароопасности
Нарушений нет по всему периметру	Оконтуривание выработки по естественным поверхностям ослабления	Вертикально	$\leq 0,12$	Неудароопасная
В пятах свода и стенках с обеих сторон	Шелушение в углублениях в вершинах сочленений трещин естественной отдельности	Вертикально	$0,12 < \eta \leq 0,2$	
	Локальные расслоения структурных блоков по «живому»		$0,2 < \eta \leq 0,3$	III
	Отслоения по «живому», «бочкование» выработок. Динамическое заколообразование, выпучивание неудароопасных пород		$0,3 < \eta \leq 0,5$	II
	Горные удары		$\eta > 0,5$	I
Посередине свода	Шелушение в углублениях в вершинах сочленений трещин естественной отдельности	Горизонтально	$0,12 < \eta \leq 0,2$	Неудароопасная
	Локальные расслоения структурных блоков по «живому»		$0,2 < \eta \leq 0,3$	III
	Отслоения по «живому», «бочкование» выработок. Динамическое заколообразование, выпучивание неудароопасных пород		$0,3 < \eta \leq 0,5$	II
	Горные удары		$\eta > 0,5$	I
Смещение очага нарушения от замка свода	Шелушение в углублениях в вершинах сочленений трещин естественной отдельности	По касательной к поверхности нарушения	$0,12 < \eta \leq 0,2$	Неудароопасная
	Локальные расслоения структурных блоков по «живому»		$0,2 < \eta \leq 0,3$	III
	Отслоения по «живому», «бочкование» выработок. Динамическое заколообразование, выпучивание неудароопасных пород		$0,3 < \eta \leq 0,5$	II
	Горные удары		$\eta > 0,5$	I

Таблица 7

Книга визуальных наблюдений за выработками.

Дата наблюдений, число, месяц, год, смена	Наименование выработки	Координаты места (расстояние от маркшейдерской точки или пикета)	Форма проявлений горного давления (вывалы по естественным трещинам, шелушение, динамическое заколообразование, стрельание, горный удар)	Размеры и форма разрушений пород в местах проявления	Зарисовка места проявления (эскиз или фото) с привязкой к горно-технической обстановке и геологическая характеристика участка (литологический состав, параметры трещиноватости, тектонические нарушения)	Подписи наблюдателей
1	2	3	4	5	6	7

и $0,2 < \eta \leq 0,3$) в зависимости от формы и интенсивности нарушения, ориентации максимальных напряжений σ_{max} (вертикально, горизонтально или по касательной к поверхности нарушения) относительно выработки. ■

Благодарности. В организации создания, совершенствования и внедрения научных разработок принимали участие и оказывали содействие специалисты:

- Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт промышленной технологии» (ГП «УкрНИПИИпромтехнологии») и Государственное предприятие «Восточный горно-обогатительный комбинат» (ГП «ВостГОК»), г. Желтые Воды, Украина;
- Акционерные общества «ВНИПИпромтехнологии» и «ВНИМИ», г. Санкт-Петербург, Россия;
- Национальный технический университет «Днепропетровская политехника» и Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), г. Днепр, Украина;
- Государственное высшее учебное заведение «Криворожский национальный университет», г. Кривой Рог, Украина.

В проведении экспериментальных исследований принимали участие Ю.Я. Савельев, А.Х. Дудченко, А.А. Ткаченко, А.Г. Скотаренко, А.И. Подпригора (ГП «УкрНИПИИпромтехнологии»), С.И. Скипочка, А.А. Яланский, Т.А. Паламарчук, В.Н. Сергиенко (Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины) и др.

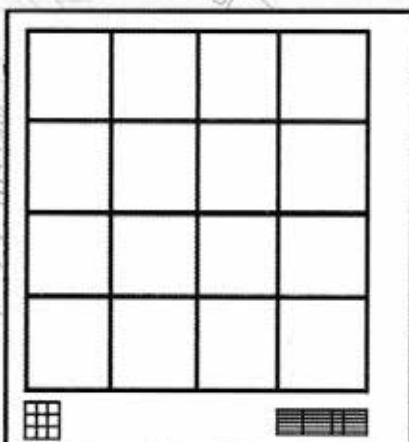
ЛИТЕРАТУРА

1. Борисов А.А. Механика горных пород. - М.: Недра, 1980. - 359 с.
2. Фисенко Г.Л. Предельное состояние горных пород вокруг выработок. - М.: Недра, 1976. - 272 с.
3. Слепцов М.Н., Азимов Р.Ш., Мосинец В.Н. Подземная разработка месторождений цветных и редких металлов. -М.: Недра, 1986. - 206 с.
4. Глушко В.Т., Ямщиков В.С., Яланский А.А. Геофизический контроль в шахтах и тоннелях. - М.: Недра, 1987. - 278 с.
5. Скипочка С.И. Механоэлектрические эффекты в породах и их использование в горной геофизике. - Днепропетровск: НГАУ, 2002. - 178 с.
6. Паламарчук Т.А., Кириченко В.Я., Усаченко Б.М. Элементы механосинергетики породного массива. - Днепропетровск: Лира ЛТД, 2006. - 307 с.
7. Ghorbani Y., Franzidis J.-P., Petersen J. Heap Leaching Technology - Current State, Innovations, and Future Directions: A review. Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. 2016;37(2):73-119.
8. Oxley A., Smith M. E., Saceres O. Why heap leach nickel laterites? Minerals Engineering. 2016;88:53-60.
9. Добыча и переработка урановых руд в Украине/ М.И. Бабак, Ю.И. Кошик, В.Н. Пухальский и др.; под общ. ред. А.П. Чернова. - Киев: АДЕФ-Украина, 2001. - 238 с.
10. Ляшенко В. И., Голик В. И. Научное и конструкторско-технологическое сопровождение развития уранового производства. Достижения и задачи // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2017. - № 7. - С. 137-152. DOI: 10.25018/0236-14932017-7-0-137-152.
11. Lyashenko V., Khomenko O., Chekushina T., Topolnij F., Dudar T. (2020). Assessment of environmental and resource-saving technologies and technical means for processing and disposal of man-made formations and waste. Technology Audit and Production Reserves, 4/3(54), 21-28. DOI: 10.15587/2312-8372.2020.210666. <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/210666/210944>.
12. Ляшенко В.И., Пухальский В.Н. Обоснование безопасных параметров камер при подземной разработке приповерхностных запасов руд в энергонарушенных массивах//Маркшейдерия и Недропользование. -2021. -№ 1 (111). -С. 20-32.
13. Ляшенко В.И., Воробьев А.Е., Хоменко О.Е., Дудар Т.В. Экологическая и горнотехническая безопасность разработки месторождений в энергонарушенных горных массивах: проблемы и перспективы//Маркшейдерия и Недропользование. -2021. -№ 3 (113). -С. 43-55.
14. Vrancken C., Longhurst P. J., Wagland S. T. Critical review of real-time methods for solid waste characterisation: Informing material recovery and fuel production // Waste Management. 2017. Vol. 61. P. 40-57.
15. Li J., Li D., Xu Z., Liao C., Liu Y., Zhong B. Selective leaching of valuable metals from laterite nickel ore with ammonium chloridehydrochloric acid solution // Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 179. P. 24-30.
16. Aben, E., Markenbayev, Zh., Khairullaev, N., Myrzakhmetov, S., & Aben, Kh. (2019). Study of change in the leaching solution activity after treatment with a cavitator. Mining of Mineral Deposits, 13(4), 114-120. <https://doi.org/10.33271/mining13.04.114>
17. Malanchuk, Z., Korniienko, V., Malanchuk, Ye., Soroka, V., & Vasylchuk, O. (2018). Modeling the formation of high metal concentration zones in man-made deposits. Mining of Mineral Deposits, 12(2), 76-84. <https://doi.org/10.15407/mining12.02.076>
18. Stupnik, M., Kalinichenko, O., Kalinichenko, V., Pysmennyi, S., & Morhun, O. (2018). Choice and substantiation of stable crown shapes in deep-level iron ore mining. Mining of Mineral Deposits, 12(4), 56-62. <https://doi.org/10.15407/mining12.04.056>
19. Мосинец В.Н., Абрамов А.В. Разрушение трещиноватых и нарушенных пород. - М.: Недра, 1982. - 248 с.
20. Временные правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок месторождений руд цветных металлов с неизученным процессом сдвижения горных пород. -Л. - 1986. - 74 с.
21. Инструкция по безопасному ведению горных работ на рудных и нерудных месторождениях (объектах строительства подземных сооружений), склонных к горным ударам. -Л. ВНИМИ. -1989. -58 с.
22. Садовский М. А. Геофизика и физика взрыва. - М.: Недра, 1997. - 334 с.
23. Ляшенко В.И. Природоохранные технологии освоения месторождений полезных ископаемых // Маркшейдерский вестник. -2015. -№ 1. - С.10-15.
24. Ляшенко В.И., Пухальский В.Н. Обоснование безопасных параметров камер при подземной разработке приповерхностных запасов месторождения под охраняемыми объектами//Известия вузов. Горный журнал. -2015. -№ 3 -С. 37-49.
25. Ляшенко В.И. Развитие геомеханического мониторинга свойств и состояния массива горных пород при подземной разработке месторождений сложной структуры// Маркшейдерский вестник. -2016. -№ 1. -С. 35-43.
26. Ляшенко В.И., Пухальский В.Н. Повышение безопасности подземной разработки приповерхностных запасов месторождений сложной структуры//Безопасность труда в промышленности. - 2016. - № 2. - С. 36-41.
27. Крупномасштабное взрывное разрушение массивов горных пород: состояние и перспективы применения/ К.Н. Трубецкой, С.Д. Виктор, В.М. Закалинский, А.А. Осокин// Горный журнал. - 2016. - № 10. - С. 64-69. DOI: 10.17580/gzh.2016.10.13.
28. Каплунов Д. Р., Радченко Д. Н. Принципы проектирования и выбор технологий освоения недр, обеспечивающих устойчивое развитие подземных рудников// Горный журнал. - 2017. - №11. - С.121-125.
29. Зыков В.С., Иванов В.В., Соболев В.В. Исследование влияния массовых промышленных взрывов на устойчивость подземных горных выработок при открыто-подземной разработке угольных месторождений// Безопасность труда в промышленности. - 2018. - № 11. - С. 19-23. DOI: 10.24000/0409-2961-2018-11-19-23.
30. Ляшенко В. И., Хоменко О. Е., Голик В. И. Развитие природоохранных и ресурсосберегающих технологий подземной добычи руд в энергонарушенных массивах. Горные науки и технологии. 2020;5(2):104-118. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-104-118.
31. Kovalchuk I. et al. Purification of mineralized waters from U (VI) compounds using bentonite/iron oxide composites. Kovalchuk I., Tobilko V., Kholodko Yu., Zahorodniuk N., Kornilovych B. //Technology audit and production reserves. - 2020. - Т. 3. - №. 3 (53). - С. 12-18.
32. Антонинова Н.Ю., Собенин А.В., Шубина Л.А. Оценка возможности использования промышленных отходов при формировании геохимических барьеров // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2020. - № 12. - С. 78-88. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-12-0-78-88.

33. Тюпин В.Н., Хаустов В.В. Зависимость геомеханического состояния трещиноватого массива от интервала замедления в зоне сейсмического действия массовых взрывов// Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2021. - № 2. - С. 45-54. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-2-0-45-54.
34. Ляшенко В.И., Хоменко О.Е. Повышение эффективности и экологической безопасности комбинированных геотехнологий разработки рудных месторождений//Маркшейдерский вестник. -2021. - № 3. - С. 51 - 56.
35. Тюпин В.Н. Прогнозирование скорости колебаний грунтов при массовых взрывах в подземных условиях// Безопасность труда в промышленности. - 2021. - № 6. - С. 41-45. DOI: 10.24000/0409-2961-2021-6-41-45.



ПЛАНШЕТЫ ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ



**540×560, 600×600, 570×840
И ДРУГИХ ФОРМАТОВ**

**Для маркшейдерских, геодезических,
геологических, землеустроительных,
архитектурно-строительных предприятий**

*** Планшеты армированы дюралевым листом,
лавсановой пленкой или пластиком**

**ООО “Геомар Недра”, 127521, Москва, 17-й проезд Марьиной рощи, д.9
Тел./факс (495) 618-7001, 618-0510, e-mail: geomarnedra@mail.ru**



SOKKIA SHC336

ПОЛЕВОЙ КОНТРОЛЛЕР

НОВЫЙ КОНТРОЛЛЕР ОСНАЩЕН МОЩНЫМ ПРОЦЕССОРОМ С ТАКТОВОЙ ЧАСТОТОЙ 1ГГц, ЧТО ДЕЛАЕТ ЕГО ОДНИМ ИЗ САМЫХ БЫСТРЫХ ПОЛЕВЫХ КОНТРОЛЛЕРОВ SOKKIA. ЯРКИЙ ДИСПЛЕЙ SHC336 ПОЗВОЛЯЕТ РАБОТАТЬ С НИМ ПРАКТИЧЕСКИ ПРИ ЛЮБОМ ОСВЕЩЕНИИ. ОБЪЕМ ОПЕРАТИВНОЙ ПАМЯТИ СОСТАВЛЯЕТ 512 МБ. С ВОЗМОЖНОСТЬЮ УВЕЛИЧЕНИЯ ДО 32 Гб С ПОМОЩЬЮ КАРТ ПАМЯТИ. ВВОД ДАННЫХ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ ПОСРЕДСТВОМ ЦИФРОВОЙ КЛАВИАТУРЫ, ПОМИМО КОТОРОЙ SHC336 ПОДДЕРЖИВАЕТ РАСПОЗНАВАНИЕ РУКОПИСНОГО ВВОДА. КАМЕРА КОНТРОЛЛЕРА ИМЕЕТ МАТРИЦУ 5 МП, АВТОМАТИЧЕСКУЮ ФОКУСИРОВКУ И LED ВСПЫШКУ. SHC336 ОСНАЩЕН МОДУЛЕМ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ BLUETOOTH, WIFI МОДУЛЕМ И 3,5G МОДЕМОМ, А ТАКЖЕ ТЕХНОЛОГИЯМИ FLEXICONN™ И LIFESUPPORT. СТЕПЕНЬ ЗАЩИТЫ SHC336 - IP68. КОНТРОЛЛЕР СООТВЕТСТВУЕТ СТАНДАРТУ MIL-STD-810G И МОЖЕТ РАБОТАТЬ В ТЕМПЕРАТУРНОМ ДИАПАЗОНЕ ОТ -30°С ДО 60 °С. SHC336 УСТОЙЧИВ К ВИБРАЦИИ И МОЖЕТ ВЫДЕРЖАТЬ ПАДЕНИЕ С ВЫСОТЫ 1,8 М.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ MAGNET FIELD

**SHC336 - МОЩНЫЙ И СВЕРХЗАЩИЩЕННЫЙ, ИДЕАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ
ДЛЯ РАБОТЫ ДАЖЕ В САМЫХ ТЯЖЕЛЫХ УСЛОВИЯХ!**




**ООО “Геомар Недра”, 127521, Москва, 17-й проезд Марьиной рощи, д.9
Тел./факс (495) 618-7001, 618-0510, e-mail: geomarnedra@mail.ru**

Маркшейдерия и недропользование №5(115), сентябрь-октябрь 2021 г.

47