

УДК 622.831.012(083.133)

**В.И. Ляшенко<sup>1</sup>**, канд. техн. наук, ст. научн. сотрудн.,  
**Е.П. Чистяков<sup>2</sup>**, канд. техн. наук,  
**С.А. Кулиш<sup>2</sup>**

1 – Государственное предприятие Украинский научно-исследовательский и проектно-разведовательный институт промышленной технологии, г. Желтые Воды, Украина, e-mail: vi\_lyashenko@mail.ru

2 – Государственное предприятие Научно-исследовательский горнорудный институт, г. Кривой Рог, Украина

## ПОВЫШЕНИЕ ОПЕРАТИВНОСТИ ОЦЕНКИ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНОГО МАССИВА НА УРАНОВЫХ ШАХТАХ

**V.I. Lyashenko<sup>1</sup>**, Cand. Sci. (Tech.),  
**Senior Research Fellow,**  
**Ye.P. Chistyakov<sup>2</sup>**, Cand. Sci. (Tech.),  
**S.A. Kulish<sup>2</sup>**

1 – State Enterprise “Ukrainian R & D Institute for Industrial Technology”, Zheltye Vody, Ukraine, e-mail: vi\_lyashenko@mail.ru

2 – State Enterprise “R & D Mining Institute”, Krivoy Rog, Ukraine

## INCREASE OF ESTIMATION EFFICIENCY OF GEOMECHANICAL CONDITION OF ROCK MASSIVE IN URANIUM MINES

Исследования динамического проявления горного давления и опыт работы шахт показывает, что проблема борьбы с его различными формами может быть успешно решена при условии выполнения рекомендаций по повышению оперативности и надежности оценки геомеханического состояния горного массива, прогнозу, профилактике и предотвращению горных ударов на стадиях проектирования и разработки месторождений. Поэтому повышение оперативности оценки геомеханического состояния горного массива на урановых шахтах на основе визуальных наблюдений за выработками и обнажениями и степени устойчивости подработанного массива – вот те важные, имеющие научное и практическое значение задачи, которые требуют решения. **Методика исследований** – комплексная, включающая анализ работ в области геомеханического мониторинга, шахтные и лабораторные экспериментальные исследования, математическое и физическое моделирование, а также теоретический анализ и обобщение полученных результатов. На основании результатов многолетних исследований, выполненных в 1970–2011 годах, а также с учетом передового опыта применения камерных систем с закладкой:

**построены** зависимости частоты упругих звуков разрушения от величины напряжений с учетом коэффициента запаса прочности, который выражается как отношение предельной (разрушающей) нагрузки, действующей на конструктивный элемент, к расчетному напряжению;

**предложена** эмпирическая зависимость для определения величины напряжений от частоты упругих звуков разрушения – количества импульсов в минуту;

**разработаны** классификация напряженного состояния горного массива в зависимости от ориентации максимальных напряжений относительно выработки, а также состав регламента и периодичность наблюдений за напряженно-деформированным состоянием горного массива;

**составлена** Инструкция по оперативному контролю и прогнозу напряженно-деформированного состояния массивов горных пород и руд на шахтах „Ингульская“ и „Смолинская“ ГП „ВостГОК“ (далее – Инструкция).

В Инструкции изложены методы оперативного контроля и прогноза напряженного состояния массивов горных пород и руд на шахтах ГП „ВостГОК“ до глубины 1000 м при отработке урановых месторождений камерными системами разработки с закладкой выработанного пространства. Даны критерии оценки интенсивности и механизмов проявления горного давления в зависимости от уровня напряженного состояния массива и деформационной характеристики пород. Для предотвращения стреляния горных пород и интенсивного заколообразования горных выработок используется последовательное камуфлетное взрывание во взаимно перпендикулярных рядах коротких шпуров глубиной не более 1 м. Участки рудных залежей, склонные к угрозе динамического проявления горного давления, должны быть приведены в неудороопасное состояние.

**Ключевые слова:** горный массив, горное давление, урановые месторождения, геомеханика, удароопасность, визуальные наблюдения, подработанный массив, эффективность

**Актуальность проблемы.** Урановые месторождения Украины обладают рядом общих особенностей генезиса, приуроченного к разломам, сложной морфологией рудных залежей, что позволяет сформулировать рекомендации по прогнозу и предотвращению проявления горного давления различных форм при их разработке. Увеличение глубины отработки, объ-

емов пустот отработанных камер на вышележащих горизонтах существенно изменяют геодинамический режим геологической среды. Исследования динамического проявления горного давления проводились в институтах АН СССР, Институте горного дела СО АН СССР, Институте физики и механики горных пород АН Кирг.ССР, ГП „НИГРИ“, Институте геотехнической механики НАН Украины, ИПКОН РАН, ВНИМИ, Кольском научном центре РАН и др., а

также в вузах горного профиля – Московском, Санкт-Петербургском, Екатеринбургском, Новочеркасском, Северо-Кавказском, Днепропетровском, Криворожском, Донецком и др. Опыт работы шахт показывает, что проблема борьбы с различными формами динамического проявления горного давления может быть успешно решена при условии выполнения рекомендаций по повышению оперативности и надежности оценки геомеханического состояния горного массива, прогнозу, профилактике и предотвращению горных ударов на стадиях проектирования и разработки месторождений [1–8].

Ниже приведены основные научные и практические результаты, полученные в ходе выполнения научно-исследовательских работ (научный руководитель В.И. Ляшенко): „Исследование напряженного состояния горного массива, склонного к проявлениям горного давления, оценка устойчивости камер и обоснование их безопасных параметров на шахтах ГП „ВостГОК“ (номер государственной регистрации 0105U001957). В работе также принимали участие Азимов Р.Ш., Слепцов М.Н., Ахвердиев И.А., Крук П.Т., Трифонов Ю.В., Савельев Ю.Я., Литвинов А.П., Картавый В.П., Ткаченко А.А., Подопригора А.И. и др.

**Цель исследований** – повышение оперативности оценки геомеханического состояния горного массива на урановых шахтах на основе визуальных наблюдений за выработками и обнажениями и степени устойчивости подработанного массива.

**Задачи исследований:**

**дать оценку** геомеханического состояния горного массива;

**выполнить** визуальные наблюдения за состоянием выработок и обнажений;

**исследовать и оценить** степень устойчивости подработанного массива;

**разработать** классификацию напряженного состояния горного массива в зависимости от ориентации максимальных напряжений относительно выработки;

**предложить** состав регламента и периодичность наблюдений за напряженно-деформированным состоянием горного массива.

**Методика исследований** – комплексная, включающая анализ работ в области геомеханического мониторинга, шахтные и лабораторные экспериментальные исследования, математическое и физическое моделирование, а также теоретический анализ и обобщение полученных результатов.

**Результаты и их обсуждение. Оценка геомеханического состояния горного массива.** За состоянием горного массива урановой шахты осуществлялся звукометрический контроль при помощи стационарного дистанционного геофона и датчиков с пьезокристаллом [6] согласно Инструкции по безопасному ведению горных работ на рудных и нерудных месторождениях (объектах строительства подземных сооружений), склонных к горным ударам (Л.: ВНИМИ, 1989. – 57с). Дистанционные системы звукометрического контроля за камерами и массивом в

целом показали, что перераспределение напряжений в массиве происходит в течение 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 течение 2–2,5 лет, их дальнейшее состояние остается стабильным. Эти камеры возможно исключить из перечня подлежащих звукометрическому контролю. 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 урановой шахты. Обследованные камеры и горный массив в целом находятся в устойчивом состоянии, опасности обрушения горных пород нет. Согласно Указаний по безопасному ведению горных работ на рудниках организации п/я Р-6214, подверженных горным ударам (Л.: ВНИМИ, 1985. – 57 с.), рассматриваемые месторождения отнесены к категории подверженным горным ударам [8]. Это предопределяет возможность проявления двух форм горного давления – заколообразование и вывалы по естественным поверхностям ослабления в пределах свода естественного равновесия и динамические формы от заколообразования и стреляния пород до горных ударов. На этапе предварительного районирования площадь одного из урановых месторождений разделена на три структурно-обособленные зоны, отличающиеся удароопасным состоянием. **Первая** – участок повышенной удароопасности. **Вторая** – участок возможных проявлений горных ударов. **Третья** – неудароопасный участок. Вскрытием, подготовкой и очистной выемкой подтверждено предположение о локальности проявления динамических форм горного давления, включая первую зону. За период эксплуатации месторождения не произошло ни одного собственно горного удара. Учитывая, что инструментальные методы оценки категории удароопасности требуют много времени и, главное, измерения могут осуществляться только на вскрытых участках массива и поэтому недостаточно оперативны, а внешние отличительные признаки удароопасности определяются нечетко, представляется надежная возможность использования визуальных методов. Динамические формы проявления горного давления от шелушения и интенсивного заколообразования до горно-тектонических ударов, по мере нарастания интенсивности и местоположению очага разрушения, подразделяются на: шелушение; интенсивное (динамическое) заколообразование; стреляние; микроудар; собственно горный удар; тол-

чок; горно-тектонический удар. Степень удароопасности участков угрожаемого месторождения определяется интенсивностью динамического проявления горного давления и подразделяется на три категории удароопасности.

**Первая.** Участок массива представляет опасность по проявлению собственно горных ударов и микроударов.

**Вторая.** Участок массива представляет опасность по проявлению микроударов, динамического заколообразования и стреляния пород.

**Третья.** Участок массива не представляет непосредственной опасности по проявлению горных ударов.

**К неопасным**, кроме естественно неопасных, относятся участки подверженных горным ударам пород (массивов), в которых, в результате производства горных работ или специальных профилактических мероприятий, возможность проявления горных ударов исключена.

**Оценка удароопасности.** Связь интенсивности и механизма проявления горного давления представлена на рис.1 [3]. Районирование шахтных полей по степени удароопасности следует осуществлять согласно формуле

$$\eta = \frac{K\gamma H + \sigma_m}{R_{сж}}, \quad (1)$$

где  $\eta$  – интенсивность проявления горного давления в зависимости от уровня напряжённого состояния массива;  $K$  – коэффициент концентрации напряжений (наведенный очистными работами, вне зоны их влияния равен 1,0, в зонах влияния, в зависимости от положения относительно выработанного пространства, изменяется от 0,3 в защищенных зонах и до 1,6 – в зонах стационарного опорного давления);  $\gamma$  – приведенная плотность налегающих пород, т./м<sup>3</sup>;  $H$  – глубина контролируемого обнажения, м;  $R_{сж}$  – прочность пород на одноосное сжатие, т./м<sup>2</sup>;  $\sigma_m$  – интенсивность тектонических напряжений, определяемая непосредственно по местам локальных проявлений горных ударов. При отсутствии этих признаков  $\sigma_m = 0$ . При  $\eta \leq 0,2$  участок месторождения относится к неудароопасным. При  $0,2 < \eta \leq 0,3$  устанавливается III категория, при  $0,3 < \eta \leq 0,5$  – II категория, при  $\eta > 0,5$  – I категория удароопасности. Породы (руды) прочностью  $R_{сж} < 1000 \text{ кг/см}^2 = 10000 \text{ т./м}^2$  имеют деформационную характеристику  $K_d < 1,0$  и не относятся к подверженным горным ударам. Уровень напряженного состояния массива определяется решением обратной задачи по установленным обследованию выработок интенсивности и механизму проявления горного давления с использованием схемы (рис. 1).

**Визуальные наблюдения за состоянием выработок и обнажений.** Наиболее простой формой визуального обследования является осмотр с ведением записей в случае наличия нарушений. Применяется для объектов большой длины с периодической структурой, причем структурные единицы имеют номер, позволяющий однозначно фиксировать их положение. Характер записей состоит из трех частей:

- указания номера структурной единицы;
- уточнения положения аномалии в пределах структурной единицы;
- характера обнаруженной аномалии в сжатой описательной или формализованной форме.

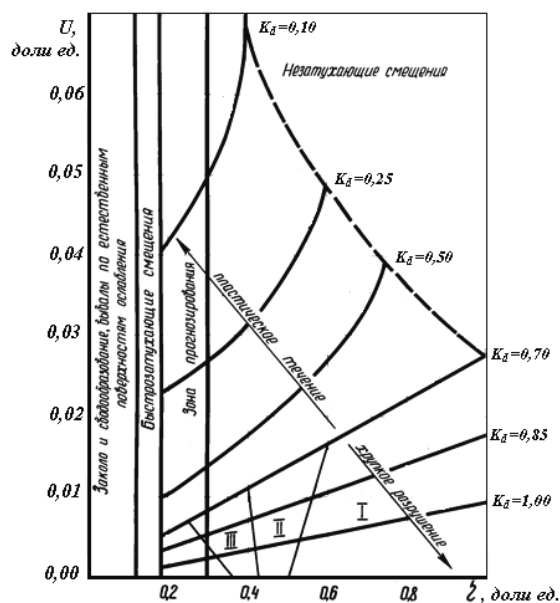


Рис. 1. Схема к прогнозу механизмов и интенсивности проявления горного давления в зависимости от уровня напряженного состояния массива  $\eta$ , деформативной характеристики пород  $K_d$  и удельной конвергенции выработки  $U$ : I, II, III – категории удароопасности

Более тщательный визуальный осмотр предполагает фотографирование аномалий (если это позволяют условия внешней среды), а также определение линейных размеров аномалий и их положения с использованием технических средств. Для фотографирования аномалий в подземных условиях рекомендуется использование цифровой фотокамеры, снабженной специальным боксом для защиты от действия влаги и пыли. Для определения линейных размеров и положения нарушений, при возможности непосредственного доступа к ним, используются мерные ленты типа P2, P5, P10 или их импортные аналоги. Раскрытие трещин измеряется металлической линейкой длиной от 100 мм либо штангенциркулем. В отдельных случаях необходимо выполнение сопутствующей геодезической съемки. К вспомогательным техническим средствам при выполнении визуальных наблюдений относятся мощные фонари для освещения участка, а также помосты, лестницы и специальные подъемники для работы на высоте. Разрушения на контуре выработок, согласно [1], предопределяются напряжениями, действующими в массиве пород и их прочностью (формы проявления: отслоения и вывалы по естественным поверхностям ослабления; ползучесть пород; динамические проявления горного давления – деформационной характе-

ристикой  $K_0$ ). Это позволяет по данным визуальных наблюдений в выработках установить уровень напряжённого состояния массива и решением обратной задачи рассчитать величины и определить направление действия главных напряжений по месту проявления разрушений (рис. 2). Оценка направления действия напряжений производится на основе анализа пространственной ориентации трещин и отслоений, возникающих на контуре выработки.

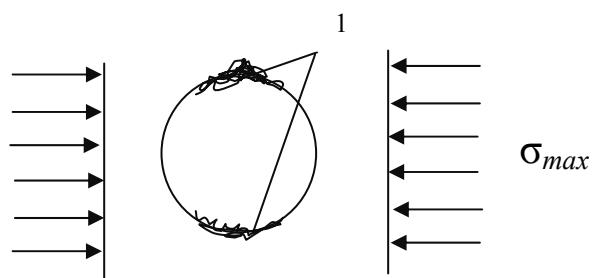


Рис 2. Ориентировка участков разрушения пород 1 в сечении выработки относительно наибольших сжимающих напряжений ( $\sigma_{max}$ )

Известно, что участки разрушений на контуре выработок всегда параллельны направлению действия

наибольших сжимающих напряжений. Интенсивность напряжений в массиве  $\sigma_m$  оценивается по известным значениям предела прочности пород на одноосное сжатие по установленному уровню напряженного состояния массива

$$\sigma_m = K\gamma H + \sigma_T = \eta R_{сж}, \quad (2)$$

где  $R_{сж}$  – временное сопротивление сжатию, МПа (изменяется от 23 до 250 МПа).

По визуальным наблюдениям можно сравнивать степень напряженности отдельных конструктивных элементов системы разработки и определять величину и направление действия наибольших напряжений в нетронутым массиве пород. Визуальную оценку напряжений выполняет геолого-маркшейдерская служба шахты. Обследуют все забои и действующие выработки, различно ориентированные в пространстве. При этом фиксируют места разрушений на контуре выработок согласно *Форме* (табл. 1).

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.).

Таблица 1

Книга визуальных наблюдений за выработками

Дата наблюдений: число, месяц, год, смена	Наименование выработки	Координаты места (расстояние от маркшейдерской точки или пикета)	Форма проявления горного давления (вывалы по естественным трещинам, шелушение, динамическое заколообразование, стреляние, 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

Места разрушений наносят на планы горных работ. Если в нетронутым массиве наибольшее напряжение направлено вертикально и по величине достаточно для разрушения пород на контуре выработки, то наибольшие разрушения будут происходить в стенках горизонтальных выработок любого направления, возможны интенсивные разрушения в стенках наклонных выработок и отсутствие разрушений – в вертикальных. При горизонтальных наибольших сжимающих напряжениях разрушения будут происходить в кровле и почве горизонтальных, а также в стенках вертикальных выработок – в плоскости, перпендикулярной направлению максимальных напряжений. Примеры оценки уровня напряжённого состояния массива и механизма проявления горного давления по визуальным признакам приведены на рис. 3, а визуальные признаки уровня напряженного

состояния массива и ориентация максимальных напряжений относительно выработки – на рис. 4.

По результатам оценки уровня напряжённого состояния массива и механизма проявления горного давления по визуальным признакам, авторами разработаны: классификация напряженного состояния горного массива в зависимости от ориентации максимальных напряжений относительно выработки (табл. 2); состав регламента и периодичность наблюдений за напряженно-деформированным состоянием горного массива (табл. 3).

Приведение горных выработок и участков массива горных пород в зонах, склонных к динамическому проявлению горного давления, в неудароопасное состояние достигается созданием защитной зоны, в пределах которой породы теряют склонность к накоплению больших запасов упругой энергии, согласно специального проекта, утвержденного главным ин-

женером шахты. Защитная зона осуществляется одним из следующих способов: камуфлетным взрыванием; бурением разгрузочных скважин; сочетанием бурения разгрузочных скважин (шпуров) с камуфлетным взрыванием; созданием разгрузочных (предохранительных) экранирующих зон. При динамическом проявлении горного давления в форме

стреляния и заколообразования, для приведения выработок в неудароопасное состояние применяют контурное взрывание, для придания сечению выработки наиболее устойчивой формы, и крепление облегченными видами крепей (штанговая, набрызгбетон), при микроударах используют специальные виды крепей (распорные податливые, комбинированные).

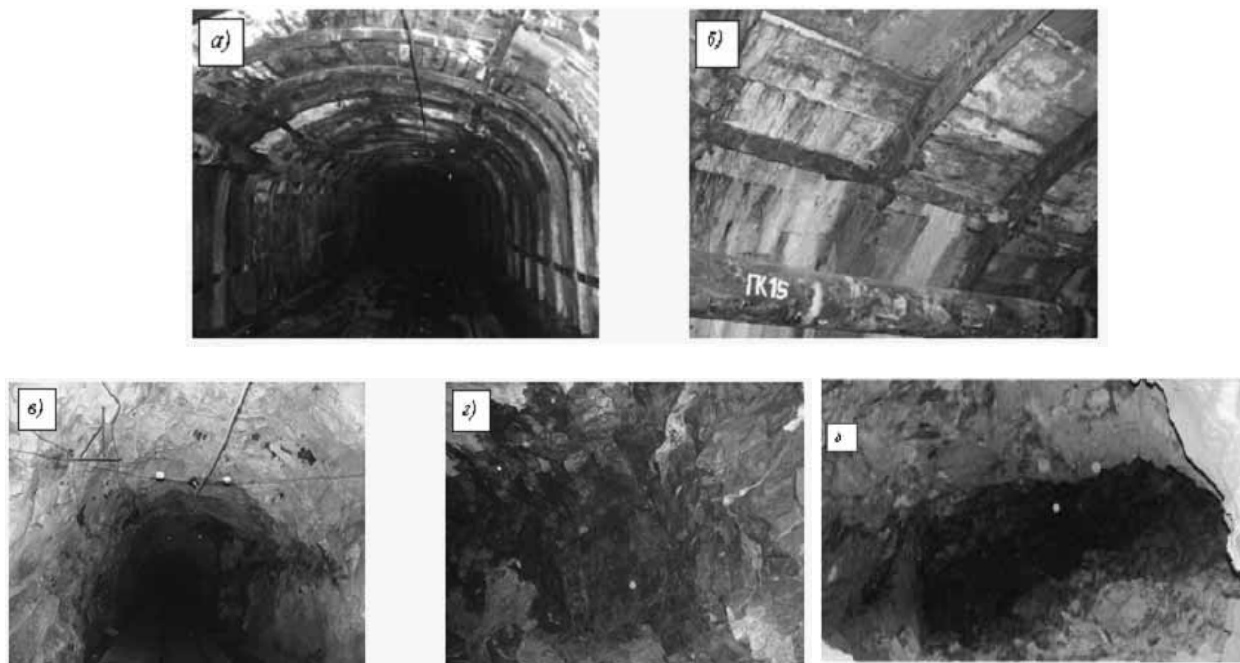


Рис. 3. Визуальные признаки интенсивности и механизмов проявления горного давления: а, б– главный квершлаг горизонта 210 м и узел податливости рамной металлической крепи (деформации элементов крепи и срабатывание узлов податливости отсутствуют,  $\eta < 0.3$ ); в, г– восточный штрек гор. 210 м и район орта 59, закрепленный анкерами и набрызгбетоном (имеет место нарушения набрызгбетона, обнажение представлено трещинами расслоения и кливажа,  $0.2 < \eta < 0.3$ ); д– кровля камеры 10–92 гор. 184 м (обнажения представлены блоками средне- и крупноблочной отдельности,  $\eta < 0.3$ )

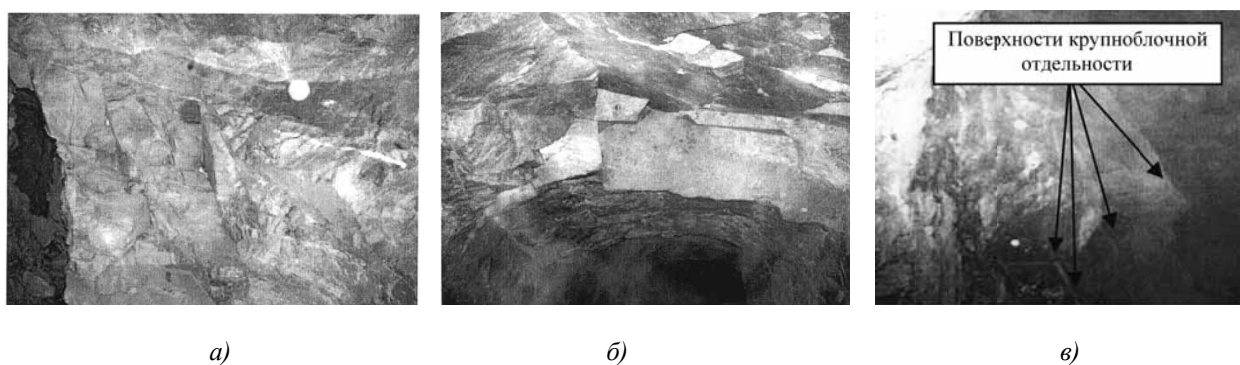


Рис. 4. Неудароопасные массивы горных пород ( $K_v < 0.7$ ): а– сопряжение выемочного штрека с ортом 42 + 10 м гор. 460 м, северная стенка. Зона главного разлома в микрогранитах крепостью  $f = 14...16$ . Обнажения массива представлены чередованием поверхностей трещин; б–наклонный съезд 19 оси, глубина 485 м. Мигматиты крепостью  $f = 14...16$  слаботрециноватые. Типичное оконтуривание выработки по трещинам блочной отдельности; в–блок 504 – 3.4, подэтаж 475 м, западная стенка камеры представлена зеркалами скольжения. Альбититы апомигматитовые крепостью  $f = 14...16$ , слаботрециноватые

Таблица 2

## Классификация напряженного состояния горного массива

Место проявления нарушения	Форма и интенсивность нарушения	Ориентация $\sigma_{\max}$	Уровень напряженного состояния массива	Категория удароопасности	
Нарушений нет по всему периметру	Оконтуривание выработки по естественным поверхностям ослабления	Вертикально	$\eta \leq 0,12$	Неудароопасная	
В пятах свода и стенах 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“ выработка. 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“ выработка. 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“ выработка. Динамическое заколообразование, выпучивание неудароопасных пород		$0,3 < \eta \leq 0,5$	II	
	Горные удары		$\eta > 0,5$	I	

Таблица 3

## Состав регламента и периодичность наблюдений

Состав регламента	Содержание и задачи	Мероприятия по реализации	Периодичность наблюдений
Диагностика состояния массива горных пород	1.1 Определение характера сдвижения пород на месторождении, прогноз величин сдвижений и деформаций горного массива, предупреждение внезапных обрушений.	Оборудование подземных наблюдательных станций.	Ежемесячно.
	1.2 Определение предельного состояния массива горных пород при отработке рудных залежей, предупреждение внезапных обрушений.	Проведение звукометрических (акустических) наблюдений в контрольных скважинах.	Ежемесячно.
	1.3 Определение напряженно-деформированного состояния массива горных пород на рабочих и подготавливаемых горизонтах.	Проведение сейсмоакустических и сейсмических исследований.	Ежегодно и по мере надобности.
Контроль за состоянием и свойствами массива горных пород	2.1 Определение зон обрушения стенок камер, изменений формы обнажений.	Проведение визуальных наблюдений.	Еженедельно
	2.2 Определение фактических контуров очистной отработки.	Инструментальные маркшейдерские съемочные работы.	Ежемесячно и по мере развития очистных работ.
	2.3 Определение предельного состояния массивов горных пород, окружающих выработанное пространство камер, процесса развития разрушений, устойчивого состояния стенок камер	Инструментальные маркшейдерские съемочные работы.	Еженедельно

**Оценка степени устойчивости подработанного массива.** Основной характеристикой является зависимость его акустической эмиссии от величины напряжений и деформаций, полученная при различных ступенях нагружения образцов пород и руд в лабораторных или натурных условиях. Многочисленные опыты и эксперименты исследований напряженного состояния горного массива звукометрическим методом на горных предприятиях Урала и результаты

ВНИМИ показывают, что при напряжениях 60–80% от разрушающих значений акустическая эмиссия массива горных пород резко увеличивается. Это служит показателем неустойчивого состояния подработанного горного массива. По составленной для каждого месторождения шкале акустической эмиссии пород и руд, в зависимости от состояния подработанного массива, можно фиксировать и управлять процессами, предшествующими обрушениям (табл. 4).

Таблица 4

Характеристика рудных месторождений по устойчивости массивов

Наименование горных предприятий и месторождений	Породы и руды	Число импульсов в минуту, характеризующих состояние подработанных массивов, мин <sup>-1</sup>		
		Стадия устойчивости		
		устойчивая	переходная	неустойчивая
<i>Предприятия:</i>				
Урала	порфириты	0-25	25-40	более 40
	туфы	0-30	30-40	более 40
	магнетиты, скарны	0-40	40-60	более 60
Кривбасса	слабые руды	0-5	5-10	более 10
	средние руды	0-10	10-25	более 25
	крепкие руды	0-20	20-40	более 40
Горной Шории	диориты	0-15	15-30	более 30
	роговики, известняки	0-30	30-60	более 60
	скарны	0-40	40-60	более 60
Хакасии	роговики, скарны	0-15	15-30	более 30
	сланцы, туфы	0-30	30-60	более 60
<i>Месторождения:</i>				
Хайдарканское	известняки, сланцы	0-10	10-20	более 20
Джезказганское	песчаники, алевриты	0-10	10-25	более 25
Миргалимсайское	известняки, доломиты	0-16	16-25	более 25
СУБРа	сланцы, известняки	0-10	10-20	более 20

На основе результатов натурных испытаний элементов горного массива, проведенных на урановых месторождениях Украины, построены зависимости частоты упругих звуков разрушения от величины напряжений  $\sigma$  с учетом коэффициента запаса прочности (Кз), который выражается как отношение предельной (разрушающей) нагрузки  $[\sigma]$ , действующей на конструктивный элемент  $\sigma$ , к расчетному напряжению, согласно формулам

$$\sigma = a \cdot N_u^b; \quad (3)$$

$$Kz = [\sigma] / \sigma, \quad (4)$$

где  $N_u$  – количество импульсов в минуту;  $a$  и  $b$  – соответственно, коэффициенты, характеризующие структурные и прочностные свойства горного массива.

Наблюдения с использованием звукометрических приборов проводятся в скважинах (или шпурах), пробуренных в горном массиве. Наблюдательная станция располагается вне зоны обрушения. Количество скважин определяется в зависимости от площади обнажений, приходящейся на 1 м. Контроль звукометрическим методом состояния массивов горных пород в Кривбассе показывает, что расстояние в плане между скважинами может быть в пределах 5–10 м, но не более порога возможного приема звуковых импульсов разрушения, а наблюдение ведется в течение 5 мин.

Среднее значение частоты (интенсивности) звуковых упругих импульсов разрушения в одну минуту получается делением общего количества за период наблюдения в данной точке скважины на интервал времени ( $t$ ). Наблюдения следует проводить не реже одного раза в неделю. При появлении первых импульсов наблюдения проводятся чаще, а в особых случаях – непрерывно. По результатам оценки уровня напряжённого состояния массива и механизма проявления горного давления по визуальным признакам установлено, что при  $\eta \leq 0,12$  – нарушений нет по всему периметру выработки, а при  $\eta > 0,5$  – возможны горные удары. Для предотвращения стреляния горных пород и интенсивного заколообразования горных выработок используется последовательное камуфлетное взрывание во взаимно перпендикулярных рядах коротких шпуров глубиной не более 1 м. Участки рудных залежей, склонные к угрозе динамического проявления горного давления ( $Kv=1$ ), должны быть приведены в неудороопасное состояние.

**Эффективность результатов внедрения.** По результатам многолетних исследований ГП „УкрНИПИИПромтехнологии“ (г. Желтые Воды), ГП „Научно-исследовательский горнорудный институт“ (ГП „НИГРИ“, г. Кривой Рог), Всесоюзного научно-исследовательского института горной геомеханики и маркшейдерского дела (ВНИМИ, г. Санкт-Петербург), выполненных в 1970–2011 годах, а также с учетом передового опыта применения камерных систем с закладкой на Криворожском и Запорожском железорудных комбинатах и за рубежом в рамках научно-исследовательской темы (номер государственной регистрации 0109U007013), авторами составлена „Инструкция по оперативному контролю и прогнозу напряженно-деформированного состояния массивов горных пород и руд на шахтах „Ингульская“ и „Смолинская“ ГП „ВостГОК“ (далее – Инструкция). В Инструкции изложены методы оперативного контроля и прогноза напряжённого состояния массивов горных пород и руд на шахтах ГП „ВостГОК“ до глубины 1000 м при отработке урановых месторождений камерными системами разработки с закладкой выработанного пространства. Даны критерии оценки интенсивности и механизмов проявления горного давления в зависимости от уровня напряжённого состояния массива и деформационной характеристики пород.

#### Список литературы / References

1. Ляшенко В.И. Геомеханическое обоснование безопасности подземной разработки рудных месторождений / В.И. Ляшенко, Ю.Я. Савельев, А.А. Ткаченко // Науковий вісник НГУ.– Днепропетровск: 2005. – №12. – С. 8–15.
2. Ляшенко В.И. Научно-технические основы определения геомеханических характеристик породных массивов при подземной разработке урановых место-

рождений / В.И. Ляшенко, А.А. Ткаченко, Е.П. Чистяков // *Металлургическая и горнорудная промышленность*.– Днепропетровск: 2006.– №1.– р.85–89.

Lyashenko, V.I., Tkachenko, A.A. and Chistyakov, Ye.P. (2006), “Scientific and technical bases of determination of geomechanical characteristics of massifs during uranium deposits underground mining”, *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost*, no.1, p. 85–89.

3. Чистяков Е.П. Совершенствование способов поддержания подземных горных выработок шахт Криворожского бассейна / Чистяков Е.П. // Вісник Криворізького технічного університету. – Кривий Ріг: 2006.– №13.– р. 16–20.

Chistyakov, Ye.P. (2006), “Development of ways of maintenance of underground mine workings of Krivorozhsky basin”, *Visnyk Krivorizkoho tehničnogo universitetu*, no.13, p. 16–20.

4. Ляшенко В.И. Определение параметров технологии подземной разработки урановых месторождений / В.И. Ляшенко, Н.И. Дядечкин // Горный журнал.– М.: 2009.– №10 – р. 55–58.

Lyashenko, V.I. and Dyadechkin, N.I. (2009), “Determination of parameters of uranium deposits underground mining technology”, *Gornyy zhurnal*, no.10, p. 55–58.

5. Ляшенко В.И. Научные основы повышения безопасности жизнедеятельности в уранодобывающих регионах / Ляшенко В.И. // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. –К.: 2004. – №3. – р. 56–70.

Lyashenko, V.I. (2004), “Scientific bases of increase of human safety in uranium mining region”, *Ekologiya dovkillia ta bezpeka zhyttdiialnosti*, no.3, p. 56–70.

6. Ляшенко В.И. Геомеханический мониторинг состояния горного массива при подземной разработке меторождений сложной структуры / В.И. Ляшенко, Ю.Я. Савельев, А.А. Ткаченко // Цветная металлургия.– М.: 2008. – №12.–р. 10–19.

Lyashenko, V.I., Savelyev, Ju.Ja. and Tkachenko, A.A. (2008), “Geomechanical monitoring of the condition of rock massif during underground mining of deposits of difficult structure”, *Tsvetnaya metallurgiya*, no.12, p. 10–19.

7. Ляшенко В.И. Научно-технические основы природоохранных технологий подземной разработки урановых месторождений / В.И. Ляшенко, А.Х. Дудченко, А.А. Ткаченко // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – К.: 2008. – №4. – С. 34–42.

Lyashenko, V.I., Dudchenko, A.Kh. and Tkachenko, A.A. (2008), “Scientific and technical bases of environment friendly technologies of uranium deposits underground mining”, *Ekologiya dovkillia ta bezpeka zhyttdiialnosti*, no.4, pp. 34–42.

8. Ляшенко В.И. Повышение безопасности подземной разработки урановых месторождений / В.И. Ляшенко, А.А. Ткаченко, Е.П. Чистяков // Цветная металлургия.– М.: 2010. – №4.–С. 3–13.

Lyashenko, V.I., Tkachenko, A.A. and Chistyakov, Ye.P. (2010), “Increase of safety of uranium deposits underground mining”, *Tsvetnaya metallurgiya*, no.4, p. 3–13.

Дослідження динамічного прояву гірничого тиску та практика роботи шахт показує, що проблема боротьби з різними його формами може бути з успіхом ви-



рішена за умови виконання рекомендацій щодо підвищення оперативності і надійності оцінки геомеханічного стану гірського масиву, прогнозу, профілактики та запобігання гірничих ударів на стадіях проектування і розробки родовищ. Тому підвищення оперативності оцінки геомеханічного стану гірського масиву на уранових шахтах, на основі візуальних спостережень за виробками та оголеннями, і показників стійкості підробленого масиву – це ті важливі, що мають наукове та практичне значення, задачі, які потребують вирішення. **Методика дослідження** – комплексна, включала аналіз робіт в області геомеханічного моніторингу, шахтні та лабораторні експериментальні дослідження, математичне і фізичне моделювання, а також теоретичний аналіз та узагальнення отриманих результатів. На основі результатів багаторічних досліджень, виконаних у 1970–2011 роках, а також з урахуванням передового досвіду використання камерних систем із закладкою:

**побудовано** залежності частоти пружних звуків руйнування від величини напруги з урахуванням коефіцієнта запасу міцності, що обчислюється як відношення граничного (руйнівного) навантаження, діючого на конструктивний елемент, або як відношення граничної міцності матеріалу до розрахункової напруги;

**запропоновано** емпіричну залежність для обчислення величини напруги від частоти пружних звуків руйнування – кількості імпульсів за хвилину;

**розроблено** класифікацію напруженого стану гірничого масиву в залежності від орієнтації максимальних напруг відносно виробок, а також склад регламенту і періодичність спостережень за напружено-деформованим станом гірничого масиву;

**складено** „Інструкцію з оперативного контролю і прогнозу напружено-деформованого стану масивів гірських порід і руд на шахтах „Інгульська“ та „Смолинська“ ДП „СхідГЗК“ (надалі – Інструкція).

В Інструкції викладено методи оперативного контролю та прогнозу напруженого стану масивів гірських порід та руд на шахтах ДП „СхідГЗК“ до глибини 1000м під час відпрацювання уранових родовищ камерними системами розробки із закладкою виробленого простору. Надані критерії оцінки інтенсивності та механізмів прояву гірничого тиску в залежності від рівня напруженого стану гірського масиву та деформаційної характеристики порід. Для запобігання стріляння гірських порід і інтенсивного заколоутворення гірничих виробок використовується послідовне камуфлетне підривання у взаємно перпендикулярних рядах коротких шпурів глибиною, не більше 1м. Ділянки рудних покладів, що мають загрозу динамічно-

го прояву гірничого тиску, повинні бути приведені до ударонебезпечного стану.

**Ключові слова:** *гірський масив, гірничий тиск, уранові родовища, геомеханіка, ударонебезпека, візуальні спостереження, підроблений масив, ефективність*

Experience received during work in mines and studies of dynamic behavior of rock pressure shows that the problem of resistance to various forms of rock pressure can be successfully solved under the condition of implementation of recommendations on improvement of efficiency and reliability of rock massif geomechanical state estimation, rock bursts prognosis and prevention at the stages of planning and development of deposits. Therefore, improvement of rock massif geomechanical state and its stability degree estimation efficiency in uranium mines is important and required. Applied **method** of the research included geomechanical monitoring results analysis, experimental investigations held mines and laboratories, mathematical and physical modeling, and theoretical analysis and generalization of the results.

On the basis of data collected in research carried out since 1970 to 2011 and taking into account advanced heading-and-stall methods following results were achieved. Charts of dependency of elastic impact sounds frequency on stress rates taking into account strength margin expressed by ratio of the critical (breaking) load affecting structural element to working stress were designed. It was suggested an empirical dependence of stress value on the frequency of elastic impact sounds – the number of pulses per minute.

It was suggested the classification of rock massif stressed state depending on the orientation of maximum stress in relation to mine working and composition of rules and the frequency of observation of the stressed-deformed state of rock massif.

The “Regulation of the operational monitoring and prediction of stress-strain state of rocks and ore in the mines “Ingulskaya” and “Smolinskaya” of GP “VostGOK” was created. The Regulation concerns methods of operative control and the prognosis of stress-strain state of rocks in mines of GP “VostGOK” up to 1000 m depth for development of uranium deposits by heading-and-stall methods. Criteria of estimation of intensity and mechanisms of mountain pressure behavior depending on the level of stressed state of rocks and their deformation characteristic.

**Keywords:** *mountain, confining pressure, uranium deposits, geomechanics, udaropasnost, visual observations, an array of odd jobs, efficiency*

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В.В. Царіковським. Дата надходження рукопису 29.04.11*