

УДК 622.274.4

В.И. Ляшенко, канд. техн. наук, ст. научн. сотрудн.,
А.Х. Дудченко

Государственное предприятие „Украинский научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт промышленной технологии“, г. Желтые Воды, Украина, e-mail: vi_lyashenko@mail.ru

СОЗДАНИЕ И ВНЕДРЕНИЕ СЕЙСМОБЕЗОПАСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

V.I. Lyashenko, Cand. Sci. (Tech.),
Senior Research Fellow,
A.Kh. Dudchenko

State Enterprise “Ukrainian R & D Institute for Industrial Technology”, Zheltye Vody, Ukraine, e-mail: vi_lyashenko@mail.ru

CREATION AND IMPLEMENTATION OF SEISMIC SAFE TECHNOLOGY OF URANIUM DEPOSITS UNDERGROUND MINING

Цель. Создание и внедрение сейсмобезопасной технологии подземной разработки урановых месторождений с учетом сохранности жилой застройки и комфортного проживания населения в зоне ведения взрывных работ.

Методика. Комплексная, включающая анализ литературных материалов, теоретических обобщений и натурных измерений современным цифровым сейсмографом Blast Mate Series III (производство Канада), обработке и анализ материалов по специальной компьютерной программе Blast Ware, шахтные и полевые экспериментальные исследования визуальными и сейсмическими методами, математическое и физическое моделирование, а также теоретический анализ и обобщение результатов.

Результаты. На основании результатов 48 натурных измерений скоростей смещения грунтов у фундаментов зданий жилой застройки и социальной инфраструктуры поселка Большая Балка г. Кировограда (Украина) при отработке Центрального уранового месторождения рекомендована технология производства подземных взрывов, которая обеспечила уровень сейсмобезопасной скорости смещения грунта до 0,8 см/с, сохранность ветхих зданий жилой застройки и комфортное проживание населения в зоне ведения взрывных работ. Установлена зависимость скорости смещения горных массивов от количества взрывных веществ (ВВ) на одно замедление и от расстояния между взрываемым и защищаемым объектами при отработке запасов рудных залежей, расположенных ниже гор. 330 м.

Научная новизна. Разработана математическая модель, при которой коэффициент частоты связи между исследуемым фактором и показателем составляет $\gamma=0,86$. С вероятностью 95% можно утверждать, что полученная модель адекватно отражает исходные данные. Предложена эмпирическая зависимость для определения допустимого значения массы заряда ВВ на одно замедление (y) с учетом допустимой скорости смещения грунта 0,4 см/с и расстояния между взрывом и защищаемыми объектами (x), а также сохранности ветхих зданий, вида $y=a \cdot x^2$ (a – коэффициент, зависящий от сейсмоакустических свойств горного массива и условий взрывания) для отработки запасов рудных залежей, расположенных выше гор. 330 м.

Практическая значимость. Введение в действие ДСТУ 4704:2008 позволило урегулировать интересы горнодобывающего предприятия и населения, а также сохранить жилые постройки, возраст которых более 50 лет и учесть социальный фактор. Сейсмомониторинг позволяет обеспечивать необходимой информацией инженерно-технический персонал горнодобывающего предприятия, местные и центральные органы власти и „Госнадзорхрантруда“ для решения социальных проблем населения, проживающего в зоне влияния горных работ.

Ключевые слова: сейсмобезопасная технология, подземная разработка, урановые месторождения, охраняемые объекты, жилищная застройка, комфортное проживание населения

Актуальность проблемы. Месторождения урановых руд сосредоточены в залежах сложного строения (горизонтальные напряжения превышают вертикальную составляющую в 5 раз) с развитой тектоникой и интенсивной трещиноватостью (коэффициент структурного ослабления, определенный по количеству трещин горного массива, приходящихся на 1м, изменяется от 0,1 до 0,4). Встречаются рудные залежи под водными объектами с отложениями подводноползневой структуры, зонами мелкоплитчатого расщепления и под жилой застройкой. Эффективность разработки таких месторождений камерными системами с закладкой выработанного пространства во

многом зависит от параметров буровзрывных работ с учетом сейсмического действия взрыва на охраняемые объекты и механических характеристик вмещающих пород. Поэтому, создание и внедрение сейсмобезопасной технологии подземной разработки урановых месторождений с учетом сохранности жилой застройки и социального фактора – вот те важные, имеющие научное и практическое значение, задачи, которые требуют решения [1–6]. Ниже приводятся новые научные и практические результаты исследований интенсивности сейсмоколебаний зданий жилой застройки поселка Большая Балка г. Кировограда (Украина), полученные в ходе выполнения научно-исследовательских работ (научный руководитель – В.И. Ляшенко): „Сейсмический мони-

торинг действия взрывных работ в границах горного отвода шахт ГП „ВостГОК“ (ГР №0109U002127) и „Исследование и разработка сейсмобезопасной технологии отработки запасов Западной зоны Центрального месторождения“ (ГР № 0109U002125)[7–10].

Цель исследований – создание и внедрение сейсмобезопасной технологии подземной разработки урановых месторождений на основе результатов инструментальных замеров сейсмического действия взрывов на охраняемые объекты, обоснования безопасных параметров буровзрывных работ с учетом сохранности жилой застройки и социального фактора.

Задачи исследований:

1. Дать оценку сейсмического действия взрыва на охраняемые объекты с применением современного цифрового сейсмографа Blast Mate Series III (производство Канада) (рис.1) и специальной компьютерной программы Blast Ware.



Рис. 1. Сейсмограф Blast Mate Series III (общий вид)

2. Установить зависимость скорости смещения горных массивов от количества взрывных веществ (ВВ) на одно замедление и от расстояния между взрываемым и защищаемыми объектами при отработке запасов рудных залежей камерной системой с твердеющей закладкой.

3. Разработать математическую модель на основании результатов натурных измерений у фундаментов защищаемых объектов с учетом допустимого значения скорости смещения грунтов 0,4 см/с при отработке запасов рудных залежей уранового месторождения.

Метод исследований – комплексный, включающий анализ литературных материалов, теоретических обобщений и натурных измерений, шахтные и полевые экспериментальные исследования визуальными и сейсмическими методами, математическое и физиче-

ское моделирование, а также теоретический анализ и обобщение результатов.

Результаты и их обсуждение. Оценка сейсмического действия взрыва на поверхностные объекты. Сейсмическая активность взрывов и их разрушающее воздействие на жилую и социальную городскую застройку при отработке верхних горизонтов залежей (выше 330м) Центрального месторождения (Украина) усложняет процесс отработки эксплуатационных блоков [1,2]. Физико-механические свойства горных массивов, их текстура и трещиноватость являются важнейшими факторами, определяющими характер распространения сейсмических колебаний в различных направлениях от места взрыва. Большинство массивов горных пород и рудных тел являются анизотропными, при которых упругие сейсмические волны по простиранию и вкрест простирания не одинаковы. Различные виды структурной неоднородности массивов в верхней части месторождения определяют закономерность распространения упругих волн. Многолетними наблюдениями сейсмических колебаний установлено, что все грунты имеют неодинаковую сейсмичность и, в связи с этим, делятся на 7 категорий по нисходящей [3,4]: граниты, известняки, песчаники, полускальные крупноблочные грунты, песчаные, глинистые и насыпные. На глинистых грунтах наблюдается приращение сейсмичности, по сравнению с гранитами, на 2 балла.

Анизотропия слоистости горных пород (текстура, трещиноватость, тектонические зоны, контакты пород) и их влияние на прохождение сейсмических волн через горные массивы существенно изменяет характер распространения и затухания сейсмических колебаний при производстве взрывных работ. Более интенсивные колебания наблюдаются в местах выхода массива на дневную поверхность или под рыхлыми отложениями малой мощности. Сейсмические колебания, распространяющиеся вкрест простирания и по простиранию, часто отличаются в 1,4–2,0 раза, а в ряде случаев – в 4,0 и более раз. Это необходимо учитывать при анализе и расчетах проектных показателей взрывных работ вблизи охраняемых объектов. Примерами неоднородности породных массивов, через которые сейсмические колебания распространяются с увеличенной скоростью смещения до поверхности, являются пространства между блоками 1а–2–7т (регистрация взрыва 20.05.09), 1а–2–1т (регистрация взрыва 02.11.09) и поверхностью, что подтверждается замерами скорости смещения, которые превышают допустимые в 2 и более раза (рис. 2).

Проблемность производства взрывных работ под жилой застройкой осложняется сейсмическим действием взрыва на различные объекты, целостность которых должна быть сохранена в течение всего периода отработки месторождения.

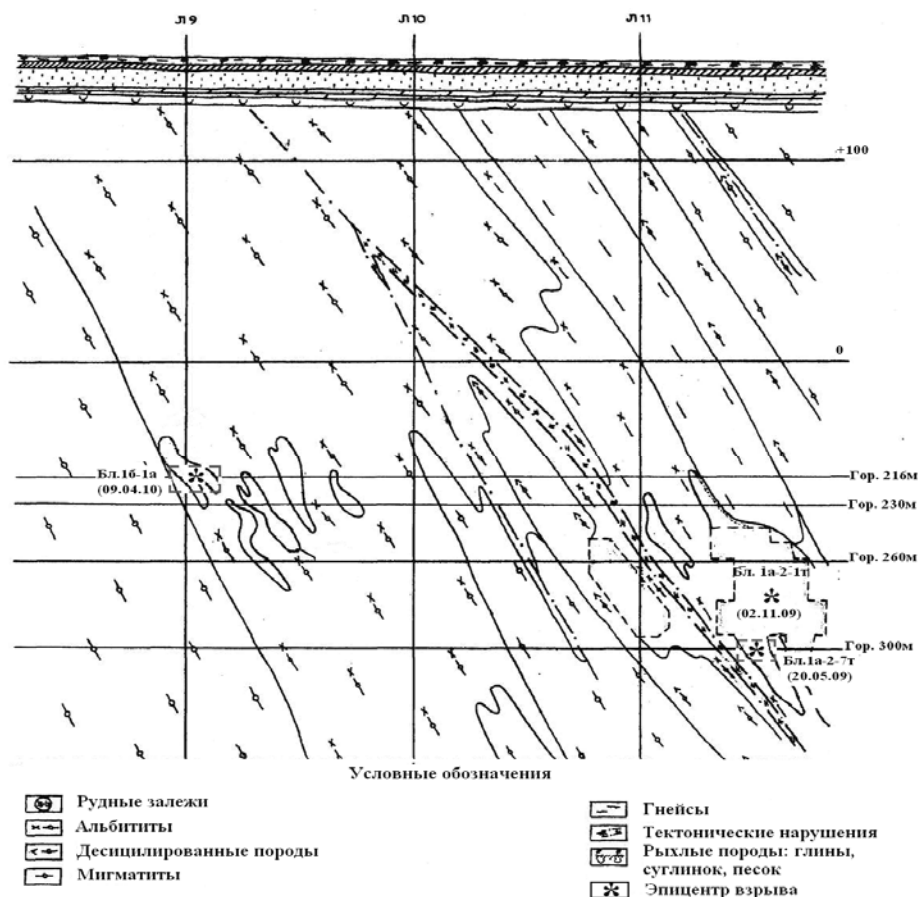


Рис. 2. Геологический разрез Восточной зоны Центрального месторождения

Технология добычи урановых руд требует больших объемов отбойки горной массы и улучшения качества взрывных работ (масса заряда на взрыв изменяется от 250 до 1050 кг, а на интервал замедления – от 90 до 370 кг). Снижение сейсмических воздействий взрывов до допустимых уровней для различных охраняемых объектов достигается ограничением массы одновременно взрываемого заряда ВВ. Большое разнообразие жилых и промышленных застроек, расположенных в зоне сейсмического действия взрывов, а также условий проведения взрывов не позволяет выполнить достоверную оценку степени их опасности с помощью действующих „Единых правил безопасности при взрывных работах“. В них даются зависимости для определения сейсмобезопасных зарядов и расстояний для относительно простых условий взрывания зарядов и конструктивных особенностей зданий, построенных с нормативным запасом прочности. При повторяющихся взрывах в камерах определение безопасных объемов зарядов и расстояний для сохранения жилых зданий, особенно возведенных без необходимого запаса прочности, возможно только при проведении специальных исследований. Их результатом является создание условий для производства горных работ при гарантированной сохранности объектов на время отработки месторождения камерными системами с твердеющей закладкой и отбойкой горнорудной массы веерами взрывных

скважин диаметром 67 мм (рис.3). При подземной разработке уранового месторождения Украины, сейсмобезопасная масса заряда вееров и рядов скважин, при различных расстояниях от взрыва до зданий жилой застройки, представлена на рис. 3, д.

Пример. Исходные данные. Расстояние от взрыва до охраняемых зданий 242 м.

Решение. Сейсмобезопасная масса заряда составит 256 кг (см. ключ по ломанной пунктирной линии А–Б–В на рис. 3, д). Взрывание зарядов короткозамедленное с использованием электродетонаторов типа ЭДКЗ и минимальным интервалом замедления 25 м·с в скважинах, расположенных параллельно рядам при проходке отрезной щели или в виде веера – при отбойке горнорудной массы в камере. Применяемое ВВ – граммонит 79/21. Диаметр вееров скважин 67 мм, параллельных – 85 мм. Количество скважин в веере от 5 до 13, в ряду – до 4. За исследуемый период зарегистрировано 15 массовых взрывов. Эффективной является технология выпуска горной массы из камер самоходными погрузочно-доставочными машинами нового поколения зарубежных фирм „Atlas Copco“, „Tamrock“ и др.

Первоначально при отбойке на надштрековом (надортовом) целике остается навал руды, имеющий в продольном сечении вид треугольника (рис. 3, з). При дальнейшей отбойке навал увеличивается в длину и в продольном сечении принимает форму трапе-

ции. Критическая длина камеры, при которой пре-
 щается увеличение высоты навала, оставшейся в
 камере руды, определяется формулой

$$L_{кр} = 2\sqrt{W^2 + 2H_aWK_p\text{ctg}\alpha - W}, \quad (1)$$

где W – толщина отбиваемого слоя, м; H_a – активная
 высота камеры (равная высоте подэтажа), м; K_p – ко-
 эффициент разрыхления; α – угол естественного от-
 коса руды, град.

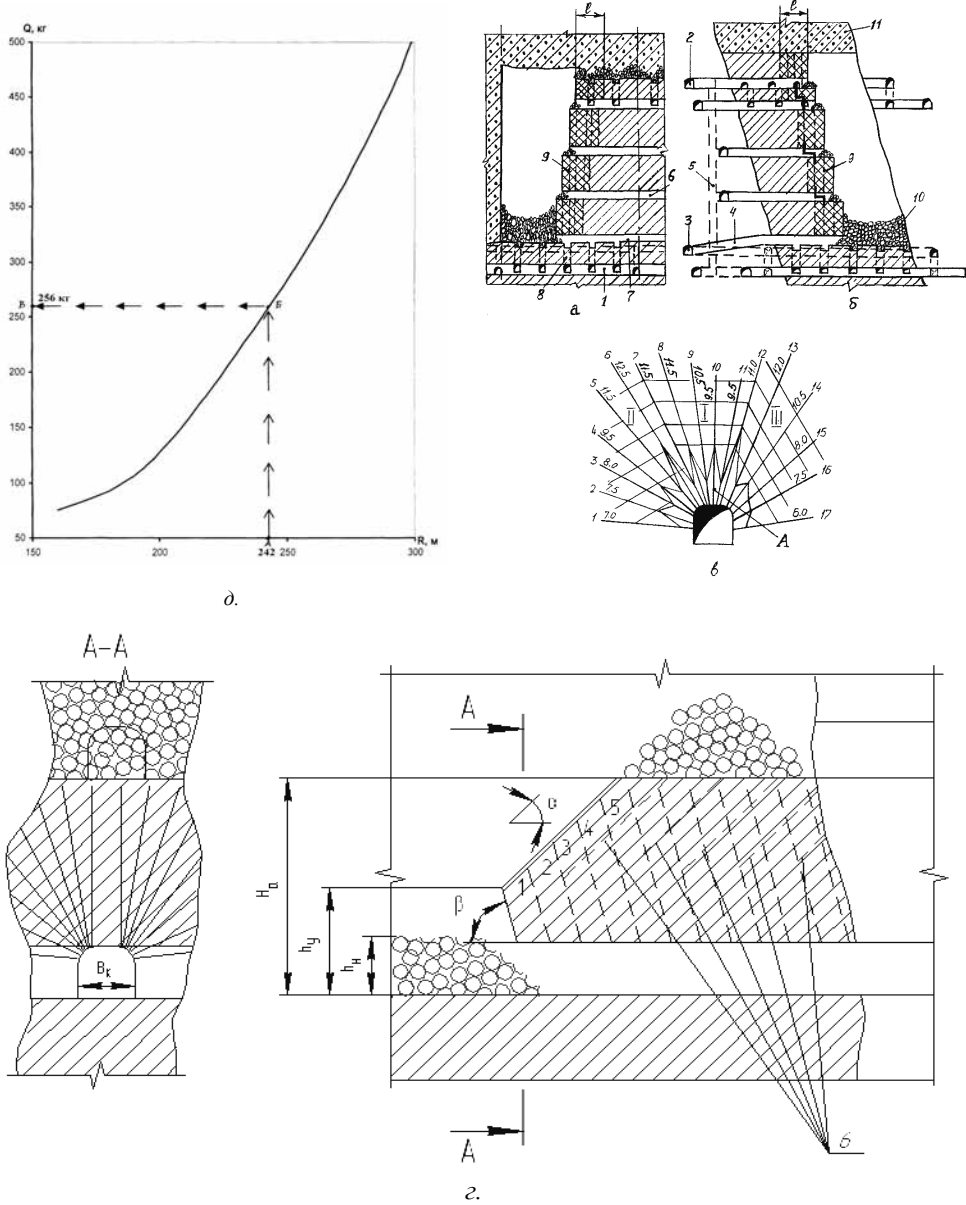


Рис. 3. Система разработки подэтажными штреками (а) ортами (б) с закладкой выработанного пространства твердеющей смесью: 1 – штрек откаточный; 2 – штрек вентиляционный; 3 – коллектор; 4 – съезд; 5 – восстающий блоковый; 6 – штрек подэтажный; 7 – штрек подсечной; 8 – дучка; 9 – взрывная скважина; 10 – отбитая руда; 11 – твердеющая закладка; в – веер взрывных скважин: 1...17 – номера взрывных скважин; 6,0...12,5 – глубина взрывных скважин, м; I, II, III – очередность взрывания секций в веере; l – размер экранирующей зоны, м; А – зона недозаряда скважин; г – технология погашения нижнего подэтажа камеры при торцовом выпуске руды; H_a – активная высота, h_y – высота навала, h_n – высота необрушенного навала, α – угол естественного откоса, β – угол бурения скважин, 1,2,3,4,5 – замедления взрывания зарядов скважин, б – контур отбойки (линия забоя), B_k – ширина панели; д – номограмма для определения сейсмобезопасной массы заряда на интервал замедления: ключ А–Б–В

Короткозамедленное взрывание расширяет воз-
 можности сейсмобезопасного ведения взрывных ра-

бот. При большом интервале замедлений общая вели-
 чина последовательно взрывааемых зарядов ВВ должна

обеспечивать одновременную отбойку горной массы. При подземной разработке уранового месторождения, на горизонтах 192–160 м, интервал замедления между взрывами зарядов должен быть не менее 50 мс, а на гор. 204–300 м и ниже – не менее 75 мс.

Регламент и порядок ведения взрывных работ.

На основании накопленного опыта по регистрации сейсмозврывных волн и закономерностей их распространения, с целью снижения сейсмического воздействия на жилые дома, учета социального фактора и влияния сейсмозврывных колебаний на человека, предлагается следующий регламент ведения взрывных работ. Сейсмобезопасная масса заряда на один взрыв в одном эксплуатационном блоке не должна превышать 1500 кг, а их количество – не более двух. Время задержки между взрывами в эксплуатационных блоках определяется продолжительностью сейсмозврывных сотрясений и, во избежание наложения колебаний, рекомендуется не менее 3 сек. Интервал замедления между группами взрывааемых зарядов принимать не менее 50 м-с, при меньшем времени замедления число взрывааемых групп зарядов должно быть ограничено пятью-шестью. Количество взрывов в год не должно превышать 100–150. Для снижения действия взрывов на человека их необходимо проводить в светлое время суток, не чаще двух-трех в неделю. Эффективным методом управления сейсмическим действием взрыва и снижения уровня его действия на поверхностные объекты является экранирование сейсмозврывных волн за счет образования опережающей экранирующей зоны на верхних подэтажах при отбойке нижерасположенных. Ослабление интенсивности сейсмозврывных колебаний при локализации волн происходит вследствие их интенсивного затухания в экранирующей зоне.

Для образования экранирующей зоны предусматривается следующий порядок ведения взрывных работ в блоке: взрывание скважинных зарядов на верхних подэтажах производится с опережением от последнего веера в отбиваемом слое нижерасположенного подэтажа на расстоянии, равном длине волны, возбужденной зарядами последнего веера скважин (а.с. СССР №1250002). При производстве взрывных работ и образовании экранирующей зоны, скважины в веере разбивают на сектора I; II; III (рис.3, в). В первую очередь взрывается сектор I, где количество взрывных скважин ограничивается сейсмобезопасной массой заряда, далее взрываются одновременно или через интервал замедления (очередность взрывания также зависит от сейсмобезопасной массы заряда) сектора II–III. При наличии достаточного количества ступеней замедлений экранирующую зону можно формировать в одну стадию при производстве массовых взрывов. Длина экранирующей зоны должна быть не менее пяти величин линии наименьшего сопротивления между веерами скважин. Исследованиями установлено, что скорость колебаний за экраном снижается в 2–4 раза, что дает возможность повышения величины сейсмобезопасной массы заряда в 4–9 раз.

Условия взрывания. При веерном расположении скважин на уровень сейсмозврывных сотрясений оказывают влияние природные факторы (мощность наносов, выход скальных пород, наличие разломов и т.д.) и организационно-технические, которые подлежат контролю для обеспечения сейсмобезопасного производства подземных взрывов. При определении уровня сейсмического действия взрыва на окружающую среду, кроме сохранности зданий в жилом районе, необходимо учитывать также влияние колебаний на человека, так как его чувствительность к вибрации очень велика. При изменении фронта горных работ и различном расположении охраняемых объектов, производства подземных взрывов, вводе новых блоков в эксплуатацию необходимо не только выполнять требования сейсмобезопасной технологии взрывной отбойки, но и снижать до минимума уровень сейсмозврывных сотрясений. За период отработки Восточной зоны Центрального месторождения по результатам выполненных измерений скорости смещения массивов от промышленных взрывов установлена ее зависимость от количества ВВ на одно замедление и расстояния между защищаемыми и взрывааемыми объектами вида [5, 6]

$$U = K \frac{\sqrt[3]{Q^n}}{R^n}, \quad (2)$$

где U – скорость смещения грунта, см/с; K – коэффициент пропорциональности, зависящий от условий взрывания, равен 575; R – расстояние между взрывааемым и защищаемым объектами, м; Q – количество взрывааемого ВВ на одно замедление, кг; n – показатель степени, равен 2.

Методика и техника внедрения. Согласно действующим до 2009 г. нормативным документам, допустимая скорость смещения для сохранения жилой и социальной застройки в границах горного отвода составляла 1 см/с (по человеческому фактору $U_{доп.} = 0,8$ см/с). Исходя из этого показателя, объем взрывааемого ВВ на одно замедление при отбойке камерных запасов блоков, обрабатываемых выше гор. 330м, редко превышал допустимые значения. Установленная зависимость (2) принята общей для Центрального месторождения и рекомендована для расчета сейсмической активности взрывов, при понижении отработки запасов залежей на глубину ниже гор.330м, в условиях, где уменьшается влияние поверхностных рыхлых отложений на результаты сейсмических параметров.

Введение в действие Госстандарта Украины („Проведення промислових вибухів. Норми сейсмічної безпеки. ДСТУ 4704:2008“) потребовало снизить допустимое значение скорости смещения грунтов от промышленных взрывов в 2 раза, что составило 0,4 см/с и привело к снижению объемов взрывааемых ВВ на одно замедление, а соответственно, и производительности взрывных работ в целом [7]. При переходе на новые нормативы по сейсмическим параметрам, обеспечивающим сейсмобезопасность строительных жилых и социальных объектов, необходимо уменьшить объем ВВ в одном замедле-

нии путем увеличения количества замедлений в веере. Для реализации обеспечения допустимых скоростей возникла необходимость в разработке новой модели производственной функции, которая позволит учитывать влияние поверхностных рыхлых отложений на изменение скорости смещения. **Математическое моделирование.** Для нахождения параметров модели (2) $U = K \left(\frac{\sqrt{Q}}{R} \right)^2$ выполнена замена

$$\left(\frac{\sqrt{Q}}{R} \right)^2 = Z^2 \rightarrow X = Z^2;$$

$$U = Y;$$

$$K = a.$$

После замены получен новый вид функции: $Y = a \cdot X$. Параметры данного уравнения определены с помощью метода наименьших квадратов (МНК). Поскольку $b = 0$, то, соответственно, $a = \frac{\bar{Y}}{\bar{X}}$,

где

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^m Y_i}{m}$$

это среднее значение ряда Y_1, Y_2, Y_m ;

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^m X_i}{m}$$

это среднее значение ряда X_1, X_2, \dots, X_m ; m – объем выборки ($m=48$).

Результаты численного моделирования. Рассчитан коэффициент тесноты связи (r) между фактором X и показателем Y

$$r[X, Y] = \frac{\sum_{i=1}^m ((X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}))}{\sum_{i=1}^m \sqrt{(X_i - \bar{X})^2} \sum_{i=1}^m \sqrt{(Y_i - \bar{Y})^2}} = 0,86.$$

Установлено, что существует прямая связь между фактором и показателем. Результаты расчета параметра

$$a = \frac{\bar{Y}}{\bar{X}} = \frac{0,310179}{0,001965} \approx 158,$$

где

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2}$$

это выборочный коэффициент детерминации; l – количество факторов в модели ($l=1$). Для определения адекватности принятой производственной модели экспериментальным данным использовался F -критерий Фишера.

$$F = \frac{R^2}{1-R^2} \cdot \frac{m-l-1}{l} = 193,7.$$

Поскольку $F > F_{таб}$ ($F_{таб} = 4,06$) более, чем в 4 раза, то, с вероятностью 95%, можно утверждать, что полученная модель адекватно отражает исходные данные. Это дает право принять $K = 158$. Производственная функция для залежей Центрального месторождения выше горизонта 330 м будет иметь вид

$$\hat{U} = 158 \frac{Q}{R^2}. \tag{3}$$

Исходя из допустимого значения скорости смещения 0,4 см/с, допустимое значение массы ВВ на одно замедление рассчитывается по формуле

$$Q_{дон.} = 25,3 \cdot 10^{-4} \cdot R^2. \tag{4}$$

Оценка полученных результатов. Уравнение (4) позволяет определить допустимое количество ВВ на одно замедление в зависимости от расстояния между защищаемыми и взрывааемыми объектами при скорости смещения, не превышающей 0,4 см/с в любой точке горного отвода. Массовые взрывы на Ингульской шахте ГП „ВостГОК“ производятся в период с 15 ч 15 мин до 15 ч 30 мин, когда население занимается активной деятельностью. Введение в действие ДСТУ 4704:2008 [6] позволило урегулировать интересы горнодобывающего предприятия и населения, а также сохранить жилые постройки, возраст которых более 50 лет, и учесть социальный фактор.

Скорость смещения поверхности в 0,8 см/с, в качестве критической по психологическому воздействию, является оптимальной, а у населения не вызывает отрицательных реакций [7]. Регистрация малых значений сейсмических колебаний с высокой точностью обеспечивалась с применением сейсмографа BlastMate (SeriesIII). Протоколы измерений, получаемые через несколько секунд, позволяли в полевых условиях делать экспресс-анализ промышленных взрывов (рис. 4). Ведение сейсмомониторинга позволяет обеспечивать необходимой информацией инженерно-технический персонал горнодобывающего предприятия, местные и центральные органы власти и „Госнадзорохрантруда“ для решения социальных вопросов населения, проживающего в зоне влияния горных работ [8–10].

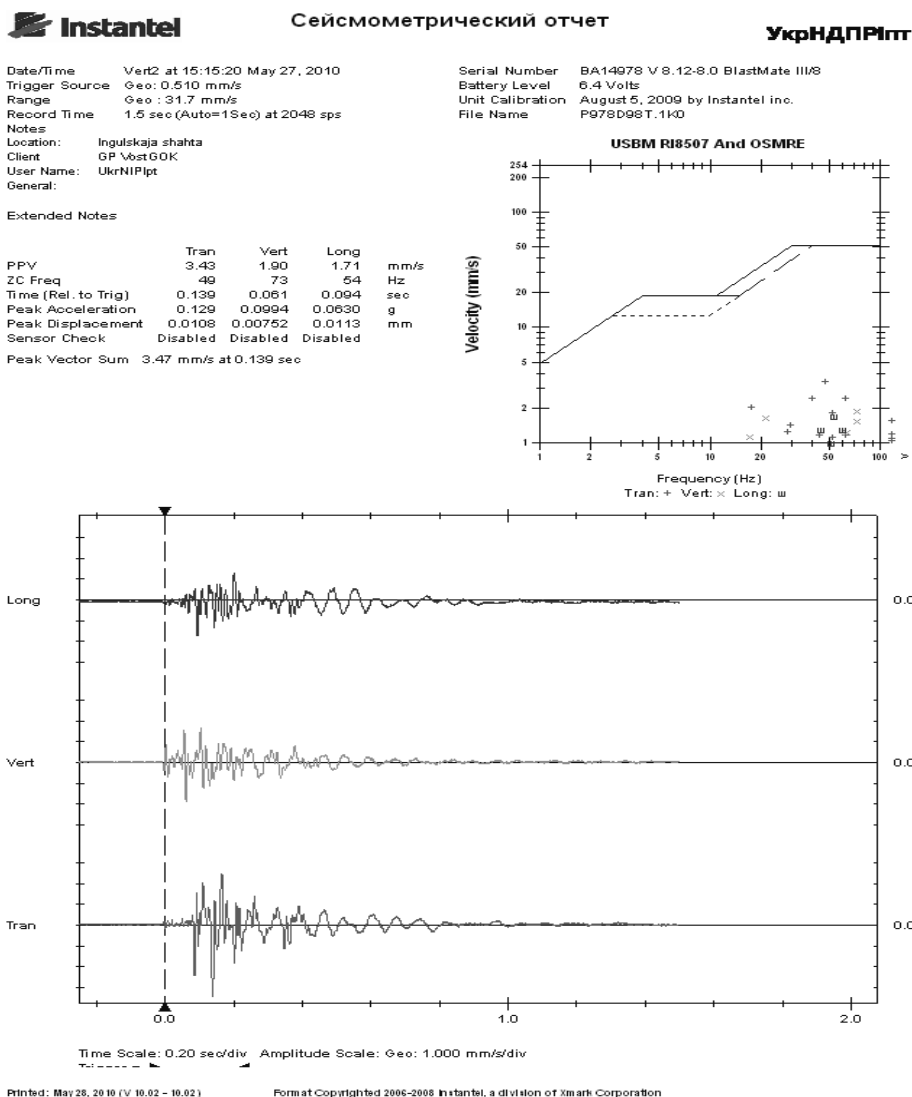


Рис. 4. Сейсмометрический отчет массового взрыва эксплуатационного блока 1а-2-10т от 27.05.2010г.

Выводы. На основании результатов 48 натурных измерений скоростей смещения грунтов у фундаментов защищаемых зданий жилой застройки и социальной инфраструктуры поселка Большая Балка г. Кировограда (Украина) при отработке Центрального уранового месторождения:

– рекомендована технология производства подземных взрывов, обеспечивающая уровень сейсмобезопасной скорости смещения грунта до 0,8 см/с, сохранность ветхих зданий жилой застройки с учетом социального фактора;

– установлена зависимость скорости смещения горных массивов от количества ВВ на одно замедление и от расстояния между взрываваемым и защищаемым объектами для отработки запасов рудных залежей, расположенных ниже гор. 330м;

– разработана математическая модель, при которой коэффициент частоты связи между исследуемым фактором и показателем составляет $r = 0,86$. Поэтому, с вероятностью 95%, можно утверждать, что полученная модель адекватно отражает исходные данные;

– предложена эмпирическая зависимость для определения допустимого значения массы ВВ на одно замедление (y) с учетом допустимого значения скорости смещения грунта 0,4 см/с и расстояния между взрываваемым и защищаемым объектами (x), а также сохранности ветхих зданий, вида $y = a \cdot x^2$ (a – коэффициент, зависящий от сейсмоакустических свойств горного массива и условий взрывания) для отработки запасов рудных залежей, расположенных выше гор. 330м.

Список литературы / References

1. Обеспечение сейсмобезопасного ведения взрывных работ при подземной добыче руд / [А.А. Кузьменко, В.Д. Воробьев, Ю.Я. Савельев и др.] // Горный журнал – 1992.– №11.– С. 33–34.
 Kuzmenko, A.A., Vorobyev, V.D. and Savel'yev, Yu.Ya., (1992), "Provision of seismic safe blasting in underground mining of ore", *Gornyy zhurnal*, no.11, pp. 33–34.
2. Организация мониторинга сейсмического действия взрыва при отработке рудных залежей под городской застройкой. Часть 1 / [Ю.Я. Савельев, А.Г. Не-

дельский, П.Т. Крук и др.] // Науковий вісник НГУ.– Дніпропетровськ, 2003.– №12.– С. 6–8.

Saveliev, Yu.Ya., Nedelskaya, A.G. and Crook, P.T. (2003), "Organization of monitoring of the seismic action of the explosion when mining ore deposits under urban areas (Part 1)", *Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu*, no.12, pp. 6–8.

3. Организация мониторинга сейсмического действия взрыва при отработке рудных залежей под городской застройкой. Часть 2 / [Ю.Я Савельев, А.Г Недельский, П.Т. Крук и др.] // Науковий вісник НГУ.– Дніпропетровськ, 2004.– №1.– С. 5–7.

Saveliev, Yu.Ya., Nedelskaya, A.G. and Crook, P.T. (2004), "Organization of monitoring of the seismic action of the explosion when mining ore deposits under urban areas (Part 1)", *Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu*, no.1, pp. 5–7.

4. Савельев Ю.Я. Научные и практические результаты мониторинга сейсмического действия взрыва при отработке урановых месторождений подземным способом (сейсмический мониторинг). / Ю.Я. Савельев, А.Х. Дудченко // Міжнародна науково-практична конференція. Сталій розвиток гірничо-металургійної промисловості. Збірник доповідей. Том 1. Україна, Кривий Ріг. 18–22 травня 2004р. – С. 35–39.

Saveliev, Yu.Ya. and Dudchenko, A.Kh. (2004), "Scientific and practical results of the seismic monitoring of the explosion when mining uranium deposits by underground methods. (seismic monitoring)", *Proc. of the International Scientific Conference "Sustainable development of mining and metallurgical industry"*, Vol. 1, Krivyi Rih, Ukraine, 18–22 May, pp. 35–39.

5. Подземной разработке урановых месторождений – надежное инженерное и сейсмобезопасное обеспечение / В.И. Ляшенко, А.Х. Дудченко, Ю.Я. Савельев, А.А. Ткаченко // Цветная металлургия.– 2009.– №3.– С. 3–13.

Lyashenko, V.I., Dudchenko, A.Kh. Saveliev Yu.Ya. and Tkachenko, A.A. (2009), "Underground mining of uranium deposits needs reliable engineering and seismic safety provision", *Tsvetnaya metallurgiya*, no.3 pp. 3–13.

6. ДСТУ 4704:2008. Проведення промислових вибухів. Норми сейсмічної безпеки. Взамін ДСТУ-П4704:2006. Введ. 01.01.2009. // Держстандарт України. 2009.– 10 с.

ISO 4704:2008. "Conducting of industrial explosions. Seismic safety standards. Instead of DSTU-P4704: 2006. Valid since January 1, 2009, Gosstandart of Ukraine, – 2009, 10 p.

7. Ляшенко В.И. Повышение сейсмической безопасности при производстве взрывных работ под городской застройкой / В.И. Ляшенко, Г.В. Мельник, А.В. Малоок // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2010.– №6.– С. 74–80.

Lyashenko, V.I., Melnik, G.V. and Malook, A.V. (2010), "Improving seismic safety during blasting under the urban areas", *Metallurgicheskaya i gornaya promyshlennost*, no.6, pp. 74–80.

8. Ляшенко В.И. Сейсмобезопасная технология подземной разработки урановых месторождений /

В.И. Ляшенко, А.Х. Дудченко, А.А. Ткаченко // Изв. ВУЗов. Горный журнал.– 2010.– № 6.– С. 54–61.

Lyashenko, V.I., Dudchenko, A.Kh. and Tkachenko, A.A. (2010), "Seismic safe technology of underground mining of uranium deposits", *Gorny zhurnal*, no.6, pp. 54–61.

9. Ляшенко В.И. Сейсмическая безопасность при производстве взрывных работ под городской застройкой / В.И.Ляшенко, Г.В. Мельник, А.В.Малоок // Цветная металлургия.– 2010.– №10 – С. 3–14.

Lyashenko, V.I., Melnik, G.V. and Malook, A.V. (2010), "Seismic safety during blasting under the urban areas", *Tsvetnaya metallurgiya*, no.10, pp. 3–14.

10. Ляшенко В.И. Обеспечение сейсмической безопасности при производстве взрывных работ под городской застройкой / В.И. Ляшенко, Г.В. Мельник, А.В. Малоок // Изв.ВУЗов. Горный журнал. – 2011.– №5.– С. 9–17.

Lyashenko, V.I., Melnik, G.V. and Malook, A.V. (2011), "Ensuring of seismic safety during blasting under the urban areas", *Gorny journal*, no.5, pp. 9–17.

Мета. Створення та впровадження сейсмобезпечної технології підземної розробки уранових родовищ з урахуванням збереження житлової забудови та комфортного проживання населення в зоні ведення вибухових робіт.

Методика. Комплексна, що включає аналіз літературних матеріалів, теоретичних узагальнень і натурних вимірювань сучасним цифровим сейсмографом Blast Mate Series III (виробництво Канада), обробку та аналіз матеріалів за спеціальною комп'ютерною програмою Blast Ware, шахтні і польові експериментальні дослідження візуальними та сейсмічними методами, математичне і фізичне моделювання, а також теоретичний аналіз та узагальнення результатів.

Результати. На підставі результатів 48 натурних вимірювань швидкостей зсуву ґрунтів біля фундаментів будівель житлової забудови та соціальної інфраструктури селища Велика Балка м. Кіровоград (Україна) при відпрацюванні Центрального уранового родовища рекомендована технологія виробництва підземних вибухів, що забезпечила рівень сейсмобезпеки швидкості зсуву ґрунту до 0,8 см/с, збереження старих будівель житлової забудови та комфортне проживання населення в зоні ведення вибухових робіт. Встановлено залежність швидкості зсуву гірських масивів від кількості вибухових речовин (ВВ) на одне уповільнення і від відстані між об'єктами, які вибухають та які захищають при відпрацюванні запасів рудних покладів, розташованих нижче гор. 330 м.

Наукова новизна. Розроблено математичну модель, при якій коефіцієнт частоти зв'язку між досліджуваним фактором та показником становить $r = 0,86$. З імовірністю 95% можна стверджувати, що отримана модель адекватно відображає вихідні дані. Запропоновано емпірична залежність для визначення допустимого значення маси заряду ВР на одне уповільнення (y) з урахуванням допустимої швидкості зсуву ґрунту 0,4 см/с і відстані між вибухом і

об'єктами, що захищають (x), а також збереження старих будівель, виду $y = a \cdot x^2$ (a – коефіцієнт, що залежить від сейсмоакустичних властивостей гірського масиву і умов підривання) при відпрацюванні запасів рудних покладів, розташованих вище гор. 330м.

Практична значимість. Введення в дію ДСТУ 4704:2008 дозволило врегулювати інтереси гірничодобувного підприємства і населення, а також зберегти житлові споруди, вік яких понад 50 років і врахувати соціальний фактор. Сейсмомоніторинг дозволяє забезпечувати необхідною інформацією інженерно-технічний персонал гірничодобувного підприємства, місцеві та центральні органи влади та „Держнаглядохоронпраці“ для вирішення соціальних проблем населення, яке проживає в зоні впливу гірничих робіт.

Ключові слова: сейсмобезпечна технологія, підземна розробка, уранові родовища, об'єкти, що охороняються, житлова забудова, комфортне проживання населення

Purpose. Creation and implementation of seismically safe technology of underground development of uranium deposits taking into account the safety of dwelling buildings and comfort of the population in the area of blasting.

Methodology. The methodology complex included an analysis of literary materials, theoretical generalization and measuring by modern digital seismograph Blast Mate Series III (made in Canada), treatment and analysis of materials by the special computer program Blast Ware, mine and field experimental researches by visual and seismic methods, mathematical and physical modeling, theoretical analysis and generalization of results.

Findings. On the basis of results of 48 cases of model measuring of velocities of soil displacement near foundations of dwelling buildings and social infrastructure of the village of Bolshaya Balka (near the city of Kirovograd in the Ukraine) during developing of the Central uranium deposit by the method of underground

explosions, new technology was recommended which provides the level of seismic ground displacement velocity of 0.8 cm/sec, and assures safety of decrepit buildings, dwelling buildings and comfort of the population in the area of blasting. Dependence of speed of displacement of rock mass on the amount of explosives per one deceleration and from distance between the blown up and protected objects during mining of ore beds at the depth of 330 m and deeper was determined.

Originality. The mathematical model in which the ratio between the frequency of the investigated factor and an indicator is $r = 0.86$ was developed. With a probability of 95% the resulting model accurately reflects the original data. An empirical relationship for determining the allowable values of the mass explosive charge per delay (y), taking into account the speed limit of soil displacement equal 0.4 cm/sec and the distance between the explosion and securable objects (x), as well as the preservation of dilapidated buildings, the form $y = a \cdot x^2$ (a – coefficient depending on the seismic properties of rock, and explosion conditions) for mining of ore deposits located above the depth of 330 m.

Practical value. The introduction of the Ukrainian State Standard 4704:2008 allowed fixing the conflict of interests between mining companies and the population and also keeping dwelling buildings older than 50 years and taking into account the social factor. Seismic monitoring can provide engineering and technical personnel of mining companies, local and central authorities and the State Mining and technical supervision with the necessary information for the solution of social problems of people living in the zone influenced by mining activities.

Keywords: seismically safe technology, underground mining, uranium deposit, protected objects, dwelling buildings, public comfort

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В.В. Царіковським. Дата надходження рукопису 08.11.11.