

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ЗАТЯЖЕК ПОВЫШЕННОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ

Наведено результати лабораторних досліджень по оптимізації конструктивних параметрів склопластикового затягу гірничих виробок підвищеної несучої здатності для складних гірничо-геологічних умов.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF GLASS PLASTIC LACING OF THE HIGH MAINTAINING ABILITY

Results of laboratory researches on optimisation of design parameters of glass plastic lacing of mining developments of the high maintaining ability for difficult mining-and-geological conditions.

В последние годы пластиковые материалы получают все более широкое применение в различных областях промышленности (строительство, машиностроение и т.д.). Связано это, прежде всего, с высокой развитостью технологий производства пластиков с необходимыми для различных условий применения прочностными характеристиками. В горнодобывающей отрасли пластики пока не получили столь широкого распространения, что объясняется недостаточной исследованностью возможностей замены традиционно применяемых материалов пластиками, в частности, дерева, металла и бетона при креплении подземных выработок [1]. ИГТМ НАН Украины проводятся результативные исследования в данном направлении – разработаны стойки, верхняки, анкеры из стеклопластиковых материалов [2]. Кроме того, ведутся работы в направлении создания затяжки горных выработок на основе стеклопластиков – установлены рациональные для различных горно-геологических условий форма затяжки и состав стеклопластика (в качестве наполнителя – различные виды стеклоткани, в качестве связующего – различные смолы, клеи и лаки) [3, 4].

При значительных нагрузках на крепь, что характерно для условий больших глубин разработки, длительных сроков службы выработок, включая их повторное использование, требуются затяжки с большой несущей способностью, которые в сочетании с металлической арочной, комбинированной арочно-анкерной или сугубо анкерной крепью выполняли бы роль несущей и ограждающей конструкции. В качестве таких затяжек предлагаются ранее разработанные складчатые трапецеидальные затяжки из стеклоткани типа НП и лака бакелитового ЛБС с высотой гофра 50 мм, дополнительно армированные деревянными брусками, металлическими полосами.

К исследованию приняты пять модификаций армирования пластиковых затяжек:

– затяжка складчатая трапецеидальная четырехслойная, шириной 250-1000 мм, с высотой гофра 50 мм, с запрессованными тремя (шестью) деревянными брусками размером 30x50 мм в гофрах между слоями стеклоткани типа НП-230, НП-450, НП-550 или НП-750 (рис. 1, а);

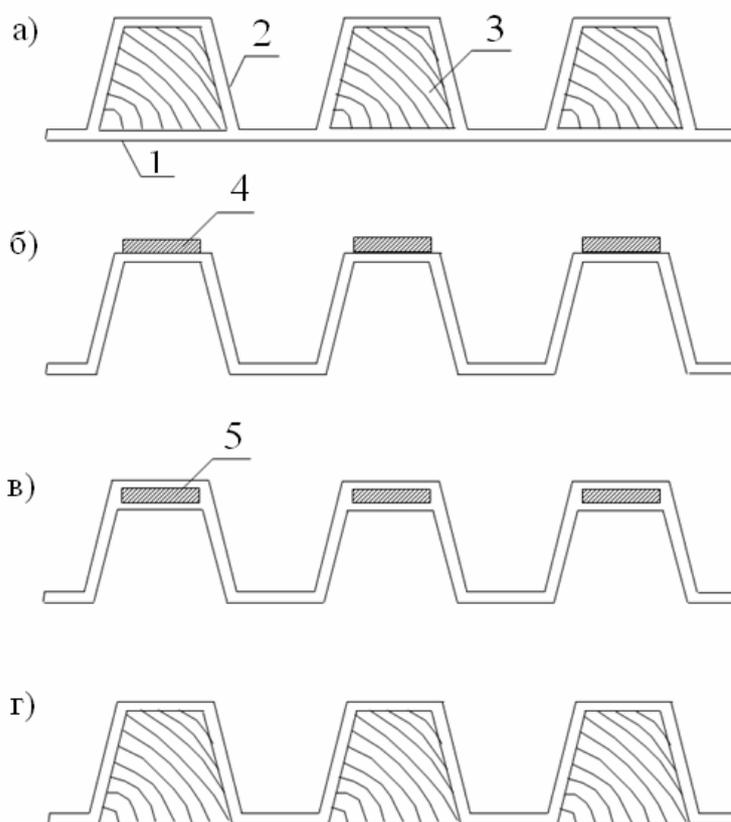
– затяжка складчатая трапецеидальная с деревянными ребрами жесткости, усиленная металлическими полосами по верхнему основанию гофра (рис. 1, б);

– затяжка складчатая трапецеидальная двухслойная на основе стеклоткани НП-650 с высотой гофра 50 мм, армированная металлическими полосами, запрессованными в гофрах между слоями пластика с возможностью укладки по периметру арочной крепи (рис. 1, в);

– затяжка складчатая трапецеидальная трехслойная, шириной 250-1000 мм, с высотой гофра 50 мм, с запрессованными тремя (шестью) деревянными брусками размером 30x50 мм в гофрах под слоями стеклоткани типа НП-750 (рис. 1, г);

– затяжка пластиковая плоская, двухслойная, размерами от 1000x1600 мм, армированная между слоями металлическими полосами или металлическими прутками (рис. 2).

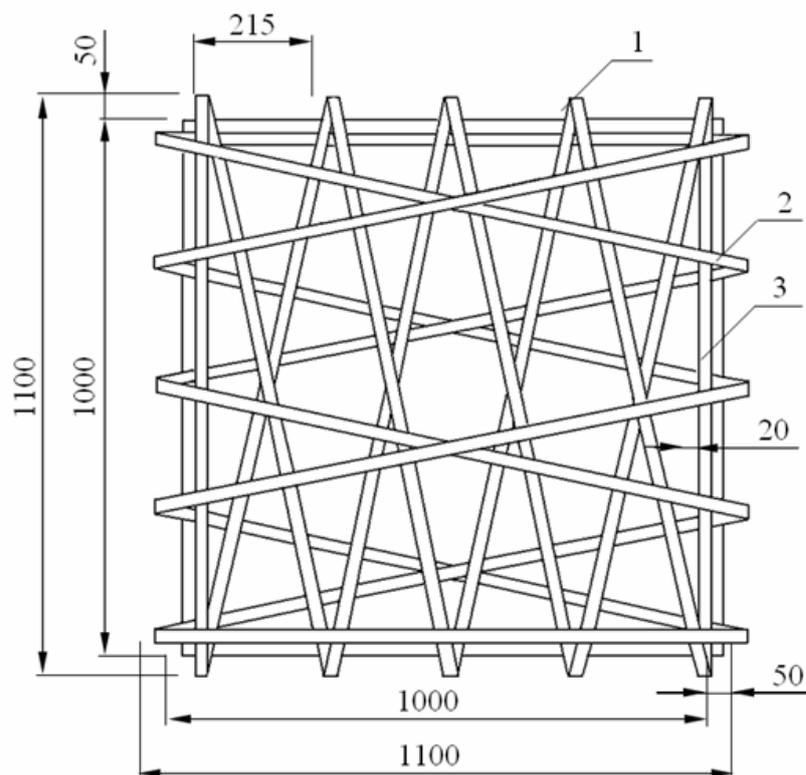
Модификации, представленные на рис 1, предназначены взамен железобетонных затяжек при арочном креплении выработок. Модификация, представленная на рис 2, предназначена взамен деревянной и сетчатой затяжки при комбинированном рамно-анкерном или анкерном креплении выработок.



1 – основание (стеклоткань); 2 – ребра жесткости (стеклоткань); 3 – деревянный брус; 4 – металлическая полоса по верхнему основанию гофра;

5 – металлическая полоса, закрепленная в гофре между слоями стеклоткани

Рис. 1 – Затяжка гофрированная пластиковая



1 – лента стальная $\delta=0,5$ мм, $L=11240$ мм первый виток; 2 – то же второй виток;
3 – нижний лист стеклопластика (верхний условно снят)

Рис. 2 – Конструкция затяжки пластиковой плоской, армированной между слоями металлическими полосами

Для определения основных параметров затяжек в зависимости от их формы, типа наполнителей и связующих, количества и толщины слоев, в том числе армированных деревянными брусками и металлическими полосами, проведены лабораторные исследования образцов, изготовленных в соответствии с ТЗ на базе СКТБ Имех НАН Украины, ПМЗ и Южмаш. Испытания затяжек проводили на специально оборудованных стендах в условиях ИГТМ НАН Украины, СКТБ института механики НАН Украины, Павлоградского машиностроительного завода (ПМЗ) и Криворожского института НИГРИ.

Задачи лабораторных испытаний:

- определение соответствия экспериментальных образцов конструкторской документации, утвержденным исходным техническим требованиям и техническому заданию, технологии изготовления образцов;
- выявление и устранение конструктивных недостатков;
- проверка работоспособности и определение ресурсов работы изделий;
- уточнение параметров, установленных аналитическими расчетами.

Испытания проводили в 3 этапа: первый этап – предварительные испытания образцов затяжек различной формы и конструкции с целью выбора наиболее рациональной с точки зрения технических и технологических параметров; второй – исследование влияние ширины затяжки (количества гофров), толщины (количества слоев ткани), типа ткани и связующего на ее прочностные характеристики (нагрузка на изгиб, прогиб); третий – исследование влияния армирова-

ния гофров деревянными брусками или металлическими полосами на несущую способность затяжки и ее жесткость (прогиб).

Затяжку испытывали на изгиб по двухопорной схеме нагружения при симметричном приложении нагрузок величиной не менее 1,2 номинальной с расстоянием между опорами 900 мм. При этом величина стрелы прогиба не должна превышать 100 мм.

Обеспечивался первоначальный пригруз образца с усилием 0,3 кН и фиксировался прогиб изделия, шаг нагружения – 0,5 кН. Рабочую нагрузку фиксировали динамометром и одновременно определяли соответствующий ей максимальный прогиб. Если прочностные и деформационные параметры затяжки соответствовали технической характеристике, производили дополнительные испытания на жесткость, при которых определяли несущую способность при длительном нагружении (не менее 10 суток). Остаточная деформация не должна была превышать 100 мм.

Известно, что в шахтных условиях затяжки воспринимают не сосредоточенную нагрузку, как лаборатории, а распределенную на единицу площади. Для интерпретации результатов лабораторных испытаний, необходимо определить расчетную распределенную нагрузку, эквивалентную полученной при испытаниях, исходя из равенства максимальных изгибных напряжений в испытываемом образце и в затяжке в процессе ее эксплуатации, в предположении, что в обоих случаях достигнуто предельное состояние $\sigma_{\max 3} = \sigma_{\max 0}$, тогда

$$\frac{M_{изз}}{W_3} = \frac{M_{из0}}{W_0} \quad (1)$$

При этом $W_3 > W_0$ во столько раз, во сколько в затяжке больше гофров, чем в образце т.е. $\frac{W_3}{W_0} = \kappa$, $M_{изз} = \frac{q \cdot \ell^2}{8}$, а $M_{из0} = \frac{F \cdot \ell}{4}$. Тогда получим $\frac{q \cdot \ell^2}{8\kappa \cdot W_0} = \frac{F \cdot \ell}{4W_0}$, отсюда $q = \frac{2\kappa \cdot F}{\ell}$.

Следовательно,

$$P = \frac{q}{\ell} = \frac{2\kappa \cdot F}{\ell^2}, \quad F = \frac{\ell^2}{2\kappa} \cdot P \quad (2)$$

Таким образом, зная длину затяжки ℓ , равную расстоянию между серединой опорных частей профиля арочной крепи и условную ширину испытываемого образца, можно определить грузонесущую способность затяжки в реальных условиях, используя выражение (2).

На первом этапе предварительных испытаний исследованы образцы затяжек следующих форм: складчатая прямоугольная, размерами 1000x200x6 мм (2 шт.), 1000x200x12 мм (2 шт.) и 1000x400x8 мм (2 шт.), изготовленные на

ПМЗ; складчатая трапецеидальная, размерами 1000x200x35 мм, изготовленная в СКТБ Института механики НАН Украины. Затяжки испытывали на изгиб по двухопорной схеме нагружения при симметричном приложении нагрузки с расстоянием между опорами 900 мм на измерительном прессе ПР-250 до потери образцом несущей способности и его разрушения. Результаты позволили сделать следующие выводы:

- образцы затяжки складчатой прямоугольной, толщиной 6 мм имеют рабочее сопротивление в 2-2,5 раза ниже номинального, установленного ТЗ (4 кН), с увеличением толщины в 2 раза рабочее сопротивление возросло по линейной зависимости и достигло номинального, однако, и в том и другом случаях стрела прогиба на 30 % превысила допустимую (7 % от длины затяжки);

- образцы затяжки складчатой трапецеидальной достигли номинального рабочего сопротивления, стрела прогиба не превысила допустимую, однако, разрушающая нагрузка оказалась ниже установленной ТЗ (6 кН) на 20-25 %;

- после снятия нагрузки не доведенные до разрушения образцы возвращались в исходное состояние за счет упругой деформации;

- целесообразно продолжить испытания затяжки складчатой прямоугольной, увеличив ее жесткость, и трапецеидальной, увеличив ее несущую способность по изгибающим нагрузкам.

На втором этапе испытаны образцы затяжек с тремя гофрами, условно пронумерованных числами 10, 11 и 12, и с двумя – 10 а, 11 а и 12 а. Параметры образцов приведены в табл. 1.

Таблица 1-Параметры исследуемых образцов затяжки

Наименование показателей	Параметры образцов затяжки		
	10/10а	11/11а	12/12 а
Длина, мм	1000	1000	1000
Ширина, мм	270/15 2	267/153	275/1 48
Высота поперечного сечения, мм	35	35	35
Толщина профиля, мм	3	2,4	3
Материал	РСБТ	РСБТ	РСБТ
Количество слоев	5	4	5
Связующее	ЛБС	ЭДТ-10	ЭДТ-10

Исследования показали, что образцы затяжки с трапецеидальной формой гофра, отличающиеся шириной, толщиной гофра, количеством слоев и типом связующего имеют различные показатели «нагрузка-прогиб». Так, за счет уменьшения ширины в 1,5 раза (при сравнении образцов № 10 и № 10а), максимально допустимая разрушающая нагрузка снизилась с 4,54 кН до 3,1 кН, а прогиб – с 14 мм до 11 мм, т.е. в 1,45 и в 1,3 раза соответственно. Для образцов № 11 и № 11а, (толщина гофра 3 и 2,4 мм, количество слоев 5 и 4 соответственно), но за счет применения в образце № 11а более дорогостоящего связующего ЭДТ-10, вместо ЛБС, допустимые разрушающие нагрузки увеличились до 8 кН

и 5,44 кН (при уменьшенной ширине), а предельная стрела прогиба достигла 35 мм. Для образцов № 12 и № 12а, отличающихся от №11 и № 11а увеличенной толщиной гофра и количеством слоев (при той же марке связующего), разрушающие нагрузки составили 12,5 и 8,5 кН, а стрела прогиба – 45 и 31 мм, т.е. за счет увеличения толщины с 2,4 до 3 мм и количества слоев с 4 до 5, допустимые разрушающие нагрузки увеличиваются на 30 %, а стрела прогиба – снижается на 30 %.

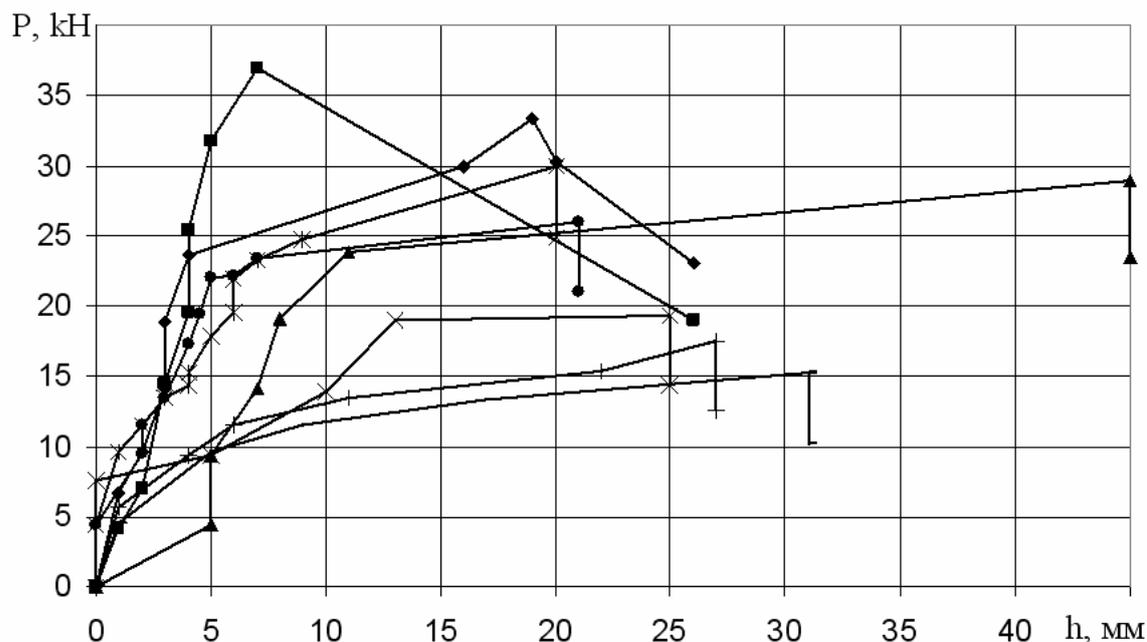
Приведенные выше исследования показали, что прочностные параметры стеклопластиковых не усиленных затяжек не соответствуют ожидаемым нагрузкам на крепь в особо сложных горно-геологических условиях. В связи с этим, для третьего этапа испытаний (на стендах СКТБ НАНУ и НИГРИ) представлены затяжки складчатые с трапецидальной формой гофра повышенной несущей способности, изготовленные на заводе Южмаш и прошедшие испытания на стенде НИГРИ. Они состояли из 3-х деревянных брусков размером 800x45x30 мм или 475x45x30 мм с равномерной разбежкой гофров, обтянутых стеклотканью (2,5-3,0 мм), с применением лака типа ЛБС. Под стеклотканью на концы брусков уложены полосы металла размером 30x1,5 мм.

Для сравнения испытаниям также подвергли стеклопластиковые не усиленные металлом и деревянные резанные и колотые затяжки. Размеры деревянных затяжек: колотых – 465x160x65 мм, пиленых – 900x160x42 мм, стеклопластиковых – 475x320x45 мм и 800x240x45 мм. Максимальный прогиб затяжки для подготовительных выработок не должен превышать 7 % от ее длины. Результаты приведены на рис. 3.

Анализ графиков показывает, что затяжки деревянные пиленные выдерживают нагрузку до 15-18 кН, при этом прогиб достигает 27-32 мм, колотые – 19-28 кН и 25-45 мм соответственно, т.е. в момент предельного нагружения (28 кН) деревянная колотая затяжка 465x160x65 мм превысила максимально допустимый прогиб на 30 %. Остальные деревянные затяжки до момента разрушения соответствовали требованиям по максимальному прогибу.

Затяжки, усиленные деревянными брусками выдерживают нагрузку до 27-30 кН, при прогибе к моменту разрушения 20-22 мм, что значительно ниже максимально допустимого (в 1,5 раза для затяжки из пластика толщиной 2,5 мм и в 3 раза для толщины 3,0 мм). Т.е., даже не усиленные металлом затяжки имеют значительный запас по прочности и прогибу.

Стеклопластиковые затяжки, усиленные деревом и металлом, выдерживают нагрузку до 33-37 кН, что на 75 % превышает среднее значение для деревянных затяжек, при этом прогиб находился на уровне всего 7-18 мм. Кроме того из рисунка видно, что данные затяжки даже после разлома выдерживают нагрузку порядка 18-23 кН.



- ◆ – толщина пластика 2,5 мм, усиленная деревом и металлом (475x320x45 мм);
- – толщина пластика 3,0 мм, усиленная деревом и металлом (800x240x45 мм);
- * – толщина пластика 3,0 мм, усиленная деревом (800x240x45 мм);
- – толщина пластика 2,5 мм, усиленная деревом (475x320x45 мм);
- ▲ – деревянная колотая (465x160x65 мм);
- ✕ – деревянная колотая (475x145x40 мм);
- ⊕ – деревянная пиленая (900x160x42 мм);
- – деревянная пиленая (900x140x35 мм)

Рис. 3 – Зависимость прогиба затяжки от прилагаемой нагрузки

Следует отметить, что даже при увеличенной в 2 раза длине и уменьшенной почти в 1,5 раза ширине затяжки, но увеличенной с 2,5 до 3,0 мм толщине пластика, как усиленные, так и не усиленные металлом стеклопластиковые затяжки выдерживают большую нагрузку и имеют меньший прогиб (см. рис. 3).

Таким образом, разработанные стеклопластиковые затяжки повышенной несущей способности по своим прочностным характеристикам вполне соответствуют сложным горно-геологическим условиям глубоких шахт. Их конструктивной особенностью является возможность широкого варьирования прочностными параметрами для выбора наиболее рациональных с точки зрения стоимостных показателей для конкретных условий применения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балбачан, Я.И. Шахтная крепь из высокопрочных стеклопластиков / Я.И. Балбачан – М.: Недра, 1962.
2. Курносов, С.А. Использование стеклопластиковых материалов в горном деле / С.А. Курносов, И.Н. Слащев, П.Е. Филимонов // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. научн. тр. ГВУЗ ПГАСА. – Днепропетровск, 2010. – Вып. 52 в 2-х частях. – С. 187-191.
3. Курносов, С.А. Оптимизация состава стеклопластиковых материалов для изготовления затяжек горных выработок / С.А. Курносов, И.Н. Слащев // Збірник наукових праць НГУ № 33, Том 1. – Днепропетровск: РВК НГУ, 2009. – С. 103-110.
4. Курносов, С.А. Конструктивные параметры затяжек горных выработок из стеклопластиковых материалов, прочностные и стоимостные показатели / С.А. Курносов // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. тр. / Ин-т геотех. мех. НАН Украины. – Днепропетровск, 2010. – Вып. 85. – С. 106-112.

ТЕХНОЛОГИЯ ГОРНЫХ РАБОТ В ЗОНАХ ОБРУШЕНИЯ ПРИ ОТКРЫТОЙ И ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ КРУТОПАДАЮЩИХ ЗАЛЕЖЕЙ

Викладена технологія гірничих робіт в кар'єрі в зонах зрушення при відкритій та підземній розробці крутоспадних родовищ: розвиток гірничих робіт, технологічні процеси.

TECHNOLOGY OF MOUNTAIN WORKS IN THE AREAS OF BRINGING DOWN AT THE OPENED AND UNDERGROUND DEVELOPMENT OF SPEEDLY-DROP BEDS

Laid out technology of mountain works in a career in the areas of change at the opened and underground development of steep-plact mountain works, technological processes.

1. Состояние вопроса, актуальность проблемы. Особенностью геологического строения руд Кривбасса является то, что богатые руды залегают в лежащем боку бедных – не окисленных кварцитов. Поэтому при открытой отработке не окисленных кварцитов, а при подземной богатых руд с обрушением поверхности, зона сдвижения горных пород, вызванная подземными горными работами, выходит на борт карьера. Зона сдвижения может быть представлена трещинами, а также воронками обрушения. Воронки обрушения могут быть открытыми, засыпанными породой, всплывающими, закрытыми. При выходе на борт карьера длина их составляет 60 – 100, а ширина 30 – 60 метров. В нижней части с глубиной их параметры уменьшаются в соответствии с углами сдвижения.

Выход зоны сдвижения на борт карьера в виде воронок может происходить не только при открытой разработке кварцитов и подземной добыче богатых руд, а и при совместной открытой и подземной разработке не окисленных кварцитов.

В зоне сдвижения происходит внезапное воронкообразование, что может привести к несчастным случаям, потере механизмов.

Особо актуальное значение эта проблема имеет в условиях отработки запасов карьера №1 ЦГОКа. Среди горнорудных предприятий Кривбасса Центральный ГОК менее всего обеспечен сырьем, а карьеры имеют наиболее высокий коэффициент вскрыши и наиболее трудные горнотехнические условия разработки. Существенного прироста запасов можно достичь по карьере №1 при выемке вскрышных пород по восточному борту. Однако положение осложняется тем, что этот борт подрабатывается подземными горными работами рудников, в которых производится добыча богатых руд. Происходит внезапное воронкообразование.

2. Результаты предыдущих исследований. Изучению процессов сдвижения массива горных пород и воронкообразования при подземной выемке руд посвящено большое количество работ. Были выполнены исследования по комплексному ведению открытой и подземной выемке руд, при которых обеспечивалась безопасность открытых горных работ. Для того, чтобы воронкообразо-