
УДК 622.831

Сергиенко В.Н., канд. техн. наук, ст. науч. сотр.

Амелин В.А.

Васильев Б.В.

Войтович Т.Г.

(ИГТМ НАН Украины)

Амелина Л.В.

(ГВУЗ «ДГАУ»)

**К ОЦЕНКЕ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПОТОЛОЧИН
ВЫРАБОТОК ГИПСОВЫХ ШАХТ В ЗОНАХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ
НАРУШЕНИЙ**

Сергієнко В.М., канд. техн. наук, ст. наук. співр.

Амелін В.А.

Васильєв Б.В.

Войтович Т.Г.

(ІГТМ НАН України)

Амеліна Л.В.

(ДВНЗ «ДДАУ»)

**ДО ОЦІНКИ ДОВГОТРИВАЛОЇ СТІЙКОСТІ СТЕЛИН ВИРОБОК
ГПСОВИХ ШАХТ В ЗОНАХ ГЕОЛОГІЧНИХ ПОРУШЕНЬ**

Sergienko V.N., Ph.D. (Tech.), Senior Researcher

Amelin V.A.

Vasiljev B.V.

Vojtovich T.G.

(IGTM NAS of Ukraine)

Amelina L.V., M.S (Tech.)

(SHEI "DSAU")

**TO THE ESTIMATE OF LONG-TERM STABILITY OF THE ROOF COAL
IN TUNNELS OF GYPSUM MINES IN ZONES WITH GEOLOGICAL
DISTURBANCES**

Аннотация. Показана возможность ведения горных работ на гипсовых месторождениях в зонах геологических нарушений. Обоснована актуальность оценки длительной устойчивости потолочин выработок для указанных условий. Рассмотрены типичные варианты строения потолочин выработок гипсовых шахт на ненарушенных участках и в зонах геологических нарушений. Выполнен анализ динамики формирования блочной структуры в потолочине при длительной эксплуатации выработки. Выделены наиболее характерные естественные дефекты потолочины. Рассмотрено влияние комплекса факторов на ее эксплуатационную надежность. Представлена аналитическая оценка долговременной устойчивости потолочин для трех случаев.

Полученные результаты используются для выбора параметров системы разработки в нарушенных зонах.

Ключевые слова: гипсовая шахты, потолочина, геологическое нарушение, долговременная устойчивость.

Введение. Длительная и интенсивная добыча гипсового камня подземным способом привела практически к полной отработке пластов большой мощности, расположенных на небольшой глубине и характеризующихся простым геологическим строением. Возникла острая необходимость ведения горных работ в усложняющихся горно-геологических условиях.

Анализ нормативно-технической документации и научной литературы за последние два десятилетия выявил диспропорцию в изучении проявлений горного давления применительно к отдельным элементам камерно-столбовой системы разработки, характерной для гипсовых месторождений. Преобладающее большинство исследований посвящено определению параметров целиков, характеризующихся теми или иными аномальными свойствами, и совсем немного имеется работ, в которых рассматриваются вопросы устойчивости нарушенной потолчины.

При ведении горных работ в зонах геологических нарушений существенно возрастают масштабы катастрофических проявлений горного давления при неправильном выборе параметров системы разработки. Возникновение аварийных ситуаций на участках с выдержанным строением кровли связано преимущественно с локальными обрушениями потолчины. В зонах геологических нарушений в процессе сдвижения породного массива вовлекаются объемы на порядок-два больше, и границы зоны деформационных процессов выходят на земную поверхность. Задержка с принятием защитных инженерных мероприятий приводит в отдельных случаях к утрате контроля над ситуацией. В этом случае проблема из местной производственной перерастает в экологическую и социальную, которую уже вынуждены решать местные органы власти на более высоком уровне с привлечением значительных объемов трудовых и материальных ресурсов [1].

В связи с этим актуальной является проблема определения долговременной устойчивости потолчин камер в гипсовых шахтах при ведении горных работ в зонах геологических нарушений.

Изложение материалов исследования. При отработке гипсовых месторождений камерно-столбовым способом в кровле камер оставляют, как правило, часть полезного ископаемого в виде защитной пачки. Основным ее назначением является длительное удержание веса вышележающих слабых пород. Другая задача, решаемая оставлением гипсовой пачки в кровле - это предотвращение прорыва подземных вод в горные выработки. Используется особенность гипса, заключающаяся в том, что при отсутствии трещин он является хорошим водоупором. С учетом комплекса решаемых задач, параметров системы разработки, характеристик водоносных горизонтов и строения защитной пачки, ее мощность колеблется от 2 до 8 м. Уточнение строения кровли камер выполняют в соответствии с [2].

Потолочина сложена, в основном, одной породой – гипсом. Однако его структура и текстура могут быть различными, что в значительной степени влияет на фи-

зико-механические свойства потолочины.

Сведения о прочностных свойствах основных гипсоносных пород представлены в табл. 1.

Таблица 1 - Прочностные свойства основных гипсоносных пород

Литологическая разность	Общая характеристика	Показатель прочности, МПа	
		на сжатие, $\sigma_{сж.}$	на растяжение, σ_p
Гипсы рыхлые, выветрелые, закарстованные, тонковолокнистые, пластинчатые	слабые	0 - 10	0 - 0,8
Гипсы молочно-белые, белые мелкокристаллические, сахаровидные, пятнистые	малопрочные	11 - 15	0,9 - 1,4
Гипсы белые мраморовидные, светло-серые и серые, средне- и крупнокристаллические	средней прочности	16 - 25	1,5 - 2,4
Гипсы серые, темносерые скрытокристаллические	прочные	26 - 40	2,5 - 4,4
Гипсоангидриты темно-серые, средне- и мелкокристаллические	повышенной прочности	40 - 60	4,5 - 6,5
Ангидриты серо-голубые, мелкокристаллические, массивные	высокопрочные	свыше 60	свыше 6,5

Залегание гипсовых пластов горизонтальное или слабо наклонное (угол залегания не превышает 10^0). Оставленная часть пласта в кровле может быть разбита на отдельные слои прослойками слабых пород, мощностью от единиц до десятков сантиметров, имеющих слабое сцепление по контакту с гипсом. Основными типами пород, слагающих прослойки, являются: глина, аргиллит, алевролит, доломит. В слое гипса могут также присутствовать включения более прочного ангидрита. После формирования камеры ее потолочина под воздействием гравитационных сил может расслаиваться по ослабленным плоскостям с прогибом отдельных пачек, как показано на рис. 1.

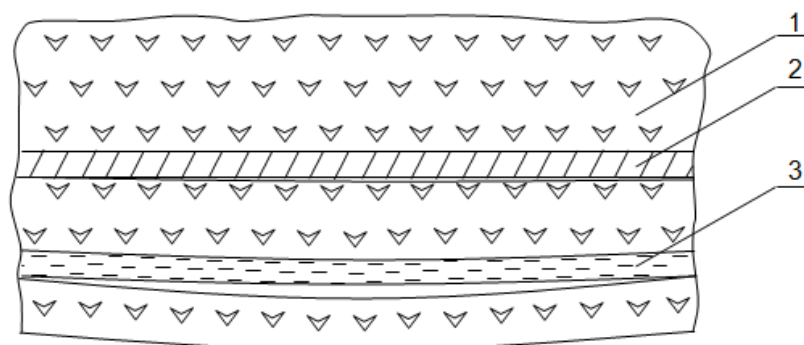


Рис. 1 - Характерное строение гипсовой потолочины со слабыми прослойками
1 – гипс, 2 – доломит, 3 - глина

В данной работе потолочина рассматривается без наличия в ее составе инородных элементов, меняющих ее конструктивную прочность, например анкеров. Предполагается, что все изменения в потолочине происходят естественным путем и достаточно медленно, по крайней мере, в течение нескольких лет.

Устойчивость потолочины в значительной степени определяется также свойствами пород непосредственной кровли пласта. Наиболее характерные типы кровли представлены в табл. 2.

Таблица 2 - Характерные типы непосредственной кровли гипсовых пластов

Литологическая разность	Категория устойчивости	Показатель прочности, МПа	
		на сжатие $\sigma_{сж}$	на растяжение σ_r
Глины, слабые аргиллиты, рыхлые песчаники, суглинки	неустойчивая	менее 5	менее 0,5
Аргиллиты, алевролиты, доломиты	средней устойчивости	6 - 25	0,6 - 2,5
Ангидриты, известняки, песчаники, окремненные доломиты, габбро-дOLERИТЫ	устойчивая	26 - 100	2,6 – 10,0

Естественный ход процессов постепенного расслаивания потолочины за счет гравитационных сил протекает в несколько стадий.

На первой стадии за счет прогиба нижних слоев образуются расслоения в потолочине. Наибольшая величина расслоений достигает единиц сантиметров и наблюдается по центру камеры. Скорость деформирования потолочины в вертикальном направлении составляет десятые доли миллиметра в год.

На второй стадии, в связи с постепенным увеличением площади отслоения, величина растягивающих напряжений на поверхности потолочины в центральной части камеры превышает прочность материала на растяжение и образуется трещина, ориентация которой близка к направлению оси камеры. За счет самозаклинивания потолочина с трещиной в вертикальном направлении во многих случаях сохраняет жесткость и деформируется как единое целое. Скорость деформирования имеет тот же порядок, что и в предыдущем случае.

На третьей стадии возникает система трещин, делящих потолочину камеры на ряд крупных блоков площадью в десятки квадратных метров. Характерной особенностью данной стадии является то, что система перестает быть жесткой, и поэтому отдельные блоки могут деформироваться с различными скоростями. Состояние потолочины при наличии регулярных наблюдений в значительной степени является прогнозируемым. При скорости вертикального деформирования блока более 1 мм в год его выделяют как потенциально опасный.

На четвертой стадии происходит дробление крупных блоков на более мелкие с площадью в единицы квадратных метров. С учетом продолжающихся процессов расслаивания по прослойкам участок становится опасным в плане внезапного обрушения.

Описанная последовательность разрушения потолочины представлена на рис. 2.

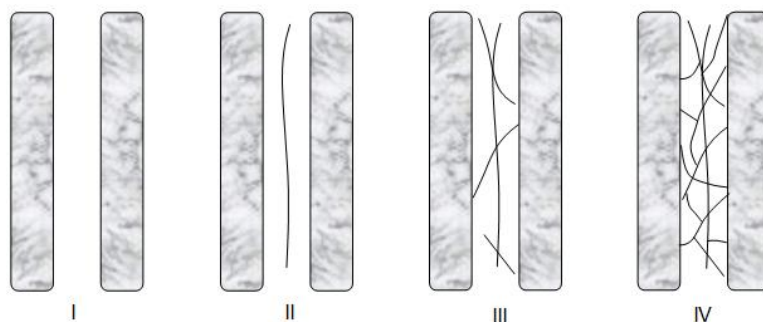


Рис. 2 – Этапы образования блочной структуры в потолочине, расположенной вне зоны геологических нарушений

Рассмотренный механизм формирования блочной структуры характерен для потолочины с выдержанным геологическим строением. Как показали длительные наблюдения за выработками Артемовской гипсовой шахты, процесс образования новых трещин может происходить в течение нескольких десятилетий, не сопровождаясь обрушением. При наличии геологической нарушенности деформационные процессы в потолочине происходят гораздо быстрее и трудно поддаются прогнозированию.

Наиболее типичными геологическими нарушениями в продуктивной толще являются:

- а) замещение верхней части гипсового пласта глинистым материалом или брекчией;
- б) наличие карстовых полостей (незаполненных, заполненных водой или жидкой геомассой);
- в) вертикальное смещение смежных элементов пласта.

По геометрическому расположению геологические нарушения в потолочине камер могут быть:

- а) выходящими непосредственно в камеру;
- б) с наличием в потолочине камеры ненарушенного остатка гипсовой толщи с мощностью ниже проектного значения.

Наибольший объем геологических нарушений связан с замещением части потолочины слабыми породами. По конфигурации нарушений в проекции на плоскость залегания пласта можно выделить следующие подтипы:

- а) с плавным монотонным изменением мощности защитной пачки на большой площади во всех направлениях и нечетко выраженным минимумом;
- б) с линейно протяженной зоной замещения, ширина которой значительно меньше длины;
- в) локальное уменьшение мощности защитной пачки во многих случаях до нуля с резко очерченным контуром.

Указанные разновидности нарушений иллюстрируются рис. 3.

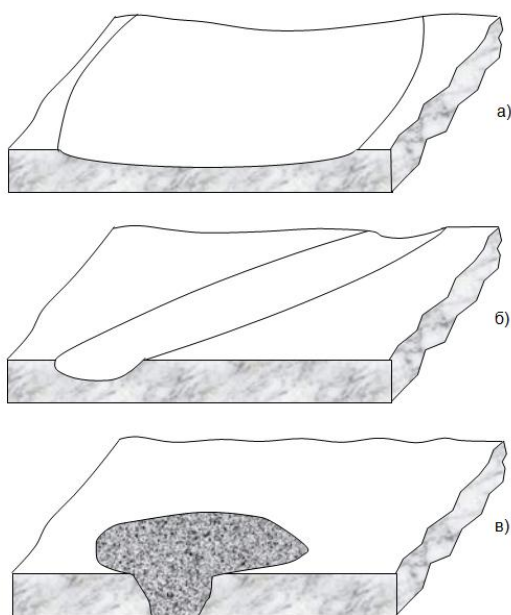


Рис. 3 – Основные варианты геологической нарушенности потолочины
 а) обширная зона с плавным уменьшением мощности защитной пачки;
 б) протяженная зона уменьшения мощности защитной пачки;
 в) локальный выход геологического нарушения в потолочине

Весь комплекс факторов, влияющих на долговременную устойчивость потолочины, можно свести к двум категориям: неуправляемые (определяемые природными условиями) и управляемые (путем изменения технологии или выбором требований к устойчивости) [3].

Одним из важнейших природных факторов являются прочностные показатели пород. Основной характеристикой для определения параметров потолочины является предел прочности на одноосное сжатие $\sigma_{сж.}$, который сравнительно легко определяется лабораторным путем. Экспериментальные исследования большого количества проб из гипсовых месторождений Украины, России и Молдавии, показали, что по величине параметра $\sigma_{сж.}$ можно с достаточной для практики точностью оценить и другие употребляемые в расчетах прочностные характеристики:

- предел прочности на одноосное растяжение $\sigma_p = 0,1 \sigma_{сж.}$;
- предел прочности на изгиб $\sigma_{и.} = 0,3 \sigma_{сж.}$.

Долговременная (длительная) прочность гипса в режиме одноосного сжатия может быть принята равной $0,85 \sigma_{сж.}$.

Коэффициент структурного ослабления k_c выбирают согласно требованиям "СНиП П-94-80 Подземные горные выработки".

Особенностью гипсовых месторождений является наличие в гипсовом пласте пропластков слабых пород. Важной особенностью, которую необходимо учитывать в расчетах, является отсутствие сцепления между слоями или даже наличие воздушного промежутка. Вследствие этого отдельные слои потолочины необходимо рассчитывать как самостоятельные конструкции, характеризующиеся различными геометрическими и прочностными параметрами, а также граничными условиями [4].

Указанные выше параметры характеризуют потолочину, как вне зоны геологических нарушений, так и в пределах этой зоны. Параметром, имеющим смысл только в нарушенной зоне, является его ширина x , которая представлена горизонтальной проекцией нарушения на потолочину камеры.

Коэффициент запаса прочности n является в расчетах зависимым параметром и для потолочин камер принимается равным 3.

Важнейшим параметром, подлежащим регулированию, является ширина l пролета камеры, уменьшение которой приводит к повышению устойчивости потолочины. Вторым способом увеличения несущей способности потолочины является оставление в кровле камеры дополнительной пачки гипса.

Аналитическая оценка устойчивости потолочины была выполнена, исходя из ее четырехслойной модели. В идеальном ненарушенном виде потолочина состоит из нижней защитной пачки мощностью m_n , прослойка доломита, мощность m_d которого гораздо меньше, верхней защитной пачки мощностью m_v и вышележащего (до самой поверхности) слоя слабых пород мощностью h , равной глубине залегания. Рассматриваются три наиболее характерных расчетных случая нарушенной потолочины.

Перечень параметров, определяющих долговременную прочность потолочины, приведен в табл. 3.

Таблица 3 - Перечень параметров, определяющих долговременную прочность потолочины

Наименование	Обозначение	Размерность
Долговременная прочность i -го слоя на одноосное сжатие	$\sigma_{сж.д. j}$	Па
Мощность нижней защитной пачки гипса	m_n	м
Мощность верхней защитной пачки гипса	m_v	м
Пролет камеры	l	м
Ширина нарушенного участка потолочины	x	м
Удельный вес i -го слоя	γ	Н/м ³
Коэффициент структурного ослабления	k_c	-
Коэффициент запаса прочности	n	-

В первом случае на участке длиной x нарушена нижняя защитная пачка, а верхняя не нарушена. Принято допущение, что нижняя нарушенная пачка способна удерживать сама себя, будучи при необходимости закрепленной анкерной крепью. Схема модели представлена на рис. 4.

Для второго расчетного случая нарушена верхняя пачка. Схема модели представлена на рис. 5.

Для третьего расчетного случая характерна ситуация, когда либо нарушены обе пачки, и верхняя и нижняя, либо их мощность и прочностные характеристики таковы что они не могут обеспечить заданный коэффициент запаса прочности. В этом случае возникает необходимость оставления дополнительной защитной пачки гипса, мощность которой обозначается как m_d . Схема модели приведена на рис. 6.

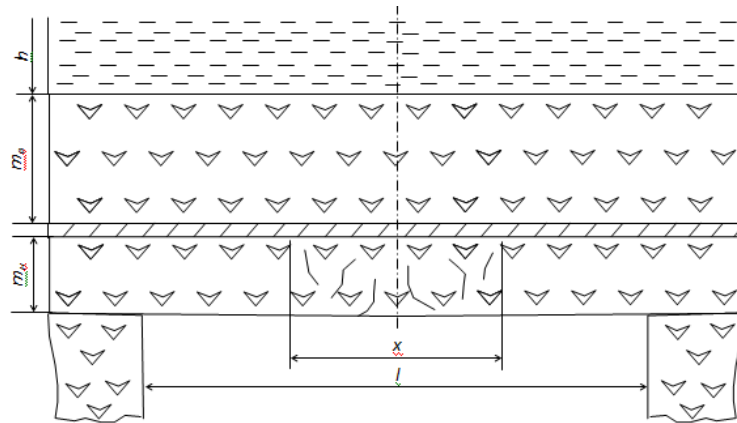


Рис. 4 – Схема для первого расчетного случая

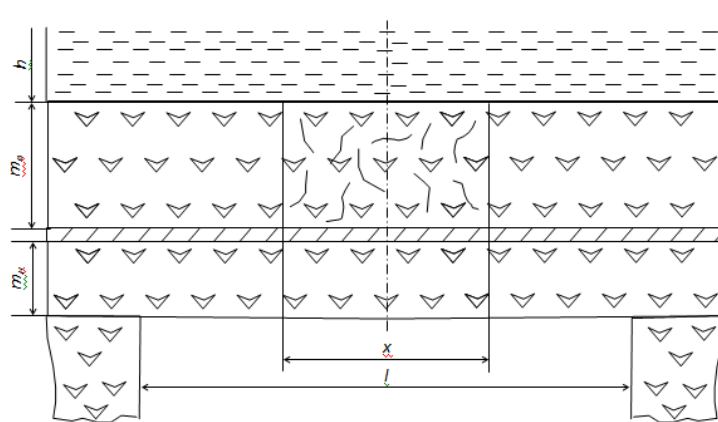


Рис. 5 – Схема для второго расчетного случая

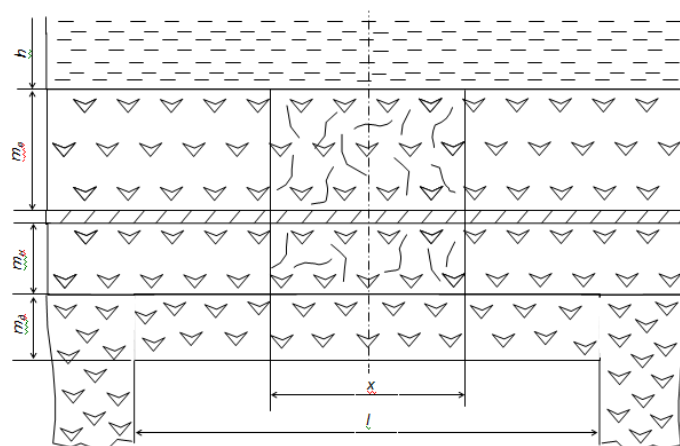


Рис. 6 – Схема для третьего расчетного случая

В первом расчетном случае нагрузка от слоя вышележащих слабых пород полностью воспринимается верхней пачкой гипса. Ее необходимая мощность определяется выражением.

$$m_в = 0,125 \frac{\gamma_n l^2 n}{\sigma_{сж.д.н.} k_c} + \sqrt{0,0156 \left(\frac{\gamma_n l^2 n}{\sigma_{сж.д.н.} k_c} \right)^2 + \frac{0,1l^3 \gamma_n}{2,4 \sigma_{сж.д.н.} k_c}} \quad (1)$$

Вычисление необходимой мощности нижней защитной пачки для второго расчетного случая осуществляется согласно выражению.

$$m_n = 0,125 \frac{\gamma_n (l-x)^2 n}{\sigma_{сж.д.в.} k_c} + \sqrt{0,0156 \left(\frac{\gamma_n (l-x)^2 n}{\sigma_{сж.д.в.} k_c} \right)^2 + \frac{0,1l^2 (l-x) \gamma_n n}{16 \sigma_{сж.д.в.} k_c}} \quad (2)$$

Расчет мощности дополнительной защитной пачки производят по формуле:

$$m_д = 0,063 \frac{\gamma_n l^2 n}{\sigma_{сж.д.н.} k_c} + \sqrt{\left(0,063 \frac{\gamma_n l^2 n}{\sigma_{сж.д.н.} k_c} \right)^2 + \frac{0,125 l^2 x h \gamma_n n}{\sigma_{сж.д.н.} k_c}} \quad (3)$$

Нижние индексы при соответствующих параметрах обозначают: «н» - относящиеся к нижней пачке гипса, «в» - к верхней пачке, «п» - к вышерасположенной слабой породе.

Выражения (1) – (3) используются при проектировании параметров системы разработки в нарушенных зонах.

Для оценки длительной устойчивости потолочины уже существующих камер решается обратная задача - определение коэффициента запаса прочности n , исходя из уже заданной мощности защитных слоев в потолочине.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Усаченко, Б.М. Геомеханика подземной добычи гипса / Б.М. Усаченко. - Киев: Наук. думка. – 1985. – 316 с.
2. Усаченко, Б.М. Геологическое обслуживание гипсовых шахт / Б.М. Усаченко, В.А. Амелин, Р.Б. Лесовицкая // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. - 2007. – Вып. 73. – С. 237 – 253.
3. Амелин, В.А. Селективная отработка камерного запаса гипса комбинированным способом в условиях Артемовской гипсовой шахты / В.А. Амелин, Б.В. Васильев, Л.В. Покутнева // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. - 2008. – Вып. 78. – С. 149 – 154.
4. Кирничанский, Г.Т. Элементы теории деформирования и разрушения горных пород / Г.Т. Кирничанский. - Киев: Наук. думка. – 1989. – 184 с.

REFERENCES

1. Usachenko, B.M. (1985), *Geomechanika podzemnoy dobychi gipsa* [Geomechanics underground mining of gypsum], Naukova dumka, Kiev, Ukraine.
2. Usachenko, B.M., Amelin, V.A. and Lesovitskaya, R.B. (2007), “Geological. Servicing of a Gypsum Mines”, *Geotekhnicheskaya Mekhanika* [Geo-Technical Mechanics], no. 73, pp. 237-253.
3. Amelin, V.A., Vasiliev, B.V. and Pokutneva, L.V. (2008), “The selective extraction by the combined way of a chambered reserve of gypsum in conditions of gypsum mine of Artemovsk”, *Geotekhnicheskaya Mekhanika* [Geo-Technical Mechanics], no. 78, pp. 149-154.
4. Kirnichanskiy, G.T. (1989), *Elementy teorii deformirovaniia i razrusheniia gornych porod* [Elements of the theory of deformation and destruction of rocks] Naukova dumka, Kiev, Ukraine.

Об авторах

Сергиенко Виктор Николаевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший

научный сотрудник в отделе механики горных пород, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина, sergienko.vic@yandex.ru.

Амелин Владимир Анатольевич, магистр, ведущий специалист в отделе механики горных пород, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина, gips5@ua.fm.

Васильев Борис Васильевич, магистр, ведущий специалист в отделе механики горных пород, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина, igtmnanu@yandex.ru.

Войтович Татьяна Геннадьевна, аспирант в отделе механики горных пород, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина, vojtovich.leonid@yandex.ru.

Амелина Лариса Владимировна, магистр, ассистент, Государственное высшее учебное заведение «Днепропетровский государственный аграрный университет» (ГВУЗ «ДГАУ»), Днепропетровск, Украина, gips5@ua.fm.

About the authors

Sergienko Viktor Nikolayevich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, Senior Researcher in Rock Mechanics Department, M. S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, sergienko.vic@yandex.ru.

Amelin Vladimir Anatolievich, Master of Science, Principal Specialist in Rock Mechanics Department, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, gips5@ua.fm.

Vasiljev Boris Vasilievich, Master of Science, Principal Specialist in Rock Mechanics Department, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, igtmnanu@yandex.ru.

Vojtovich Tatiana Gennadijevna, Doctoral Student in the Department in Rock Mechanics Department, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, vojtovich.leonid@yandex.ru.

Amelina Larisa Vladimirovna, Master of Science, Assistant, State Higher Educational Institution “Dnepropetrovsk State Agrarian University” (SHEI “DSAU”), Dnepropetrovsk, Ukraine, gips5@ua.fm.

Анотація. Показана необхідність ведення гірничих робіт на гіпсових родовищах в зонах геологічних порушень. Обґрунтована актуальність оцінки довготривалої стійкості стелін виробок для вказаних умов. Розглянуто типові варіанти будови стелін виробок гіпсових шахт на непорушених ділянках і в зонах геологічних порушень. Виконано аналіз динаміки формування блокової структури в стелині при тривалій експлуатації виробки. Виділено найбільш характерні природні дефекти стелини. Розглянуто вплив комплексу факторів на її експлуатаційну надійність. Представлено аналітичну оцінку довготривалої стійкості стелін для трьох розрахункових випадків. Отримані результати використовуються для вибору параметрів системи розробки в порушених зонах.

Ключові слова: гіпсова шахта, стелина, геологічне порушення, довготривала стійкість.

Abstract. The authors consider possibility to perform mining operations in zones with geological disturbance in gypsum deposits. Special attention is drawn to estimate of long-term stability of the roof coals in tunnels with geological disturbance. Typical variants of the roof coal structure are considered for undisturbed areas and areas with geological disturbance in tunnels of the gypsum mines. Dynamics of block structure formation in the roof coal at long-term exploitation of the tunnel was analyzed, and the most typical natural defects in the roof coal were specified. Impact of a factor complex on the roof coal operating safety is considered. An analytical estimate of long-term stability of the roof coal is presented for three rated cases. The findings are used for choosing proper parameters of the mining system in disturbed zones.

Keywords: gypsum mines, roof, geological disturbance, long-time stability.

Статья поступила в редакцию 06.09.2013
Рекомендовано к публикации д.т.н., проф. С.И. Скипочкой