

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2022-21-6-455-463>

УДК 622.224.24:622.274.52(047.31)(476)

Слоевая выемка Третьего калийного пласта с уменьшенной мощностью межслоевой потолочины

Докт. техн. наук, проф. Б. И. Петровский¹⁾, канд. техн. наук, доц. А. Л. Поляков¹⁾,
канд. техн. наук В. А. Мисников²⁾, М. Г. Шафиков²⁾

¹⁾Филиал Белорусского национального технического университета (г. Солигорск, Республика Беларусь),

²⁾Научно-производственное унитарное предприятие «Институт горного дела»
(г. Солигорск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2022
Belarusian National Technical University, 2022

Реферат. Третий калийный пласт Старобинского месторождения в основном обрабатывается по технологии слоевой выемки. Сущность технологии заключается в опережающей выемке верхней лавой сильвинитового слоя 4 и совместной выемке отстающей нижней лавой слоев 2, 2–3 и 3 под защитой межслоевой пачки каменной соли 3–4 (потолочины), оставляемой в выработанном пространстве. Мощность потолочины в соответствии с требованиями нормативного документа должна составлять не менее 0,8 м. В то же время на шахтном поле рудника Третьего рудоуправления имеются участки с уменьшенной до 0,66–0,70 м мощностью потолочины. Целью исследований авторов являлось определение возможности безопасной отработки Третьего калийного пласта по технологии слоевой выемки с уменьшенной мощностью потолочины. В процессе натурального эксперимента изучены геологическое строение и прочностные свойства пород потолочины, ее устойчивость в призабойном пространстве и интенсивность нагружения забойной крепи нижних лав. Методы исследования включали также анализ литературных источников и статистическую обработку полученных данных. Установлено, что уменьшение мощности потолочины на 0,10–0,14 м от требуемой не оказывает существенного влияния на ее прочность, при этом она сохраняет устойчивость в призабойном пространстве нижних лав. Основные показатели проявления горного давления в исследуемых нижних лавах – скорость нарастания забойной крепи в очистных циклах и опускание кровли в призабойном пространстве – не превышали аналогичные показатели в лавах с требуемой мощностью потолочины. Полученные данные свидетельствуют о возможности безопасной отработки Третьего калийного пласта по технологии слоевой выемки при мощности межслоевой пачки каменной соли 3–4 не менее 0,66 м. При этом несущая способность забойной крепи должна составлять не менее 550 кН/м².

Ключевые слова: горно-геологические условия, горное давление, призабойное пространство, лава, потолочина, забойная крепь, статистическая обработка данных

Для цитирования: Слоевая выемка Третьего калийного пласта с уменьшенной мощностью межслоевой потолочины / Б. И. Петровский [и др.] // *Наука и техника*. 2022. Т. 21, № 6. С. 455–463. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2022-21-6-455-463>

Layered Excavation of the Third Potash Seam with Reduced Thickness of Interlayer Ceiling

B. I. Piatrouski¹⁾, A. L. Paliakou¹⁾, V. A. Misnikou²⁾, M. G. Shafikau²⁾

¹⁾Branch of the Belarusian National Technical University (Soligorsk, Republic of Belarus),

²⁾Research and Production Unitary Enterprise “Institute of Mining” (Soligorsk, Republic of Belarus)

Abstract. The third potash seam of the Starobinsky deposit is mainly mined using the layered mining technology. The essence of the technology lies in the advance excavation of the 4th sylvinitic layer by the upper lava and the joint excavation

Адрес для переписки

Мисников Владимир Аркадьевич
Научно-производственное
унитарное предприятие «Институт горного дела»
ул. Козлова, 69,
223710, г. Солигорск, Республика Беларусь
Тел.: +375 174 26-28-47
sigd@list.ru

Address for correspondence

Misnikou Vladimir A.
Research and Production Unitary Enterprise
“Institute of Mining”
69, Kozlova str.,
223710, Soligorsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 174 26-28-47
sigd@list.ru

of layers 2, 2–3 and 3 by the lagging lower lava under the protection of the interlayer pack of rock salt 3–4 (ceiling) left in the goaf. The thickness of the ceiling in accordance with the requirements of the regulatory document should be at least 0.8 m. At the same time, in the mine field of the mine of the Third Mine Administration, there are areas with a ceiling thickness reduced to 0.66–0.70 m. The purpose of the author's research was to determine the possibility of safe mining of the Third potash seam using the layered mining technology with a reduced thickness of the ceiling. In the course of a full-scale experiment, the geological structure and strength properties of the rocks of the ceiling, its stability in the bottomhole space and the intensity of loading of the bottomhole lining of the lower lavas have been studied in the paper. The research methods also included the analysis of literary sources and statistical processing of the obtained data. It has been established that a decrease in the thickness of the ceiling by 0.10–0.14 m from the required one does not have a significant effect on its strength, while it remains stable in the near-bottom space of the lower longwalls. The main indicators of the manifestation of rock pressure in the studied lower longwalls – the rate of increase of the bottomhole lining in the stope cycles and the lowering of the roof in the bottomhole space – did not exceed the similar indicators in the longwalls with the required thickness of the ceiling. The obtained data indicate the possibility of safemining of the Third potash seam using the layered excavation technology with the thickness of the interlayer rock salt pack 3–4 not less than 0.66 m. In this case, the bearing capacity of the bottomhole lining should be at least 550 kN/m².

Keywords: mining and geological conditions, rock pressure, bottomhole space, lava, ceiling, bottom hole support, statistical data processing

For citation: Piatrouski B. I., Paliakou A. L., Misnikou U. A., Shafikau M. G. (2022) Layered Excavation of the Third Potash Seam with Reduced Thickness of Interlayer Ceiling. *Science and Technique*. 21 (6), 455–463. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2022-21-6-455-463> (in Russian)

Введение

Слоевая выемка является основным вариантом отработки Третьего калийного пласта Старобинского месторождения. По этой технологии вначале верхней лавой отрабатывается сильвинитовый слой 4, а затем нижней лавой с различным разрывом во времени отрабатываются одновременно сильвинитовые слои 2 и 3 с межслоевым прослоем каменной соли 2–3 общей мощностью 1,7–2,4 м [1–7]. Роль перекрытия для нижней лавы от обрушенных пород кровли пласта после опережающей выемки сильвинитового слоя 4 выполняет межслоевая пачка каменной соли 3–4 (потолочина), мощность которой в соответствии с требованиями нормативного документа должна составлять не менее 0,8 м [8].

В восточной и северо-восточной частях шахтного поля рудника Третьего рудоуправления (3 РУ) ОАО «Беларуськалий» встречаются участки, где слой каменной соли 3–4 Третьего калийного пласта имеет мощность 0,66–0,70 м. При такой мощности потолочины возможно ее разрушение в призабойном пространстве нижней лавы с образованием вывалов. В связи с этим на руднике 3 РУ были проведены исследования, целью которых являлось определение возможности безопасной отработки запасов нижними слоевыми лавами при уменьшенной мощности потолочины [9].

В задачи исследований входило изучение геологического строения и физико-механических свойств пород, слагающих межслоевую пачку каменной соли 3–4 в ненадработанном и надработанном массивах, а также характера нагружения призабойного пространства нижних лав № 3–12 и 3–13, деформируемости, нарушенности и устойчивости уменьшенной потолочины на различных участках по длине выемочных столбов 4 «А» и 17 «А», отрабатываемых соответственно лавами № 3–12 и 3–13 с определением фактической удельной нагрузки на забойную крепь от горного давления.

Характеристика объектов исследований

План горных выработок в северо-восточной и восточной частях шахтного поля рудника 3 РУ с полями и изолиниями мощности слоя 3–4, построенными в корпоративной геоинформационной системе MapManager, представлен на рис. 1 [10]. Для построения полей и изолиний использовали данные 40 скважин подземного разведочного бурения. Как видно из рисунка, на данном участке в пределах выемочных столбов наблюдаются четыре области с уменьшением мощности потолочины до 0,66–0,70 м. Нижние слоевые лавы на этих участках для сохранения потолочины в 0,8 м могут оставлять часть сильвинитового слоя 3. Однако для этого без замены режущих органов очистных комбайнов потребуется прихватывать породы

галита из слоя 2–3. Все это способствовало бы увеличению потерь полезного компонента и разубоживанию отбиваемой руды. С учетом изложенного было принято решение о выемке лавами № 3–12 и 3–13 слоев 2, 2–3 и 3 на данных участках на полную мощность с условием научного сопровождения работ. Сопровождение включало в себя проведение как предварительных исследований геологического строения и прочностных свойств пород потолочины, так и исследований характера ее поведения в лавах в процессе очистки выемки.

При проведении предварительных исследований уточнялись условия залегания и прочностные свойства пород, слагающих потолочину. Для этого в кровле подготовительных выработок, находящихся за зоной временного опорного давления нижних лав, бурили скважины с отбором керна, из которого впоследствии в соответствии с требованиями [11] изготавливали образцы и проводили их испытания на прочность при одноосном сжатии. При отборе керна осуществляли описание геологического строения потолочины, в процессе которого определяли тип и характеристики пород

по классификации устойчивости [12]. Бурение скважин и отбор керна осуществляли как на ненадработанных, так и на надработанных лавами при выемке сильвинитового слоя 4 участках выемочных столбов 4 «А» и 17 «А». Результаты статистической обработки данных прочности пород слоя 3–4 на одноосное сжатие в выемочных столбах лав № 3–12 и 3–13 представлены в табл. 1. В табл. 2 приведены результаты исследований геологического строения и прочностных свойств слоя каменной соли 3–4 в северо-восточной и восточной частях шахтного поля рудника 3 РУ.

Исследования проявлений горного давления и устойчивости потолочины в процессе очистной выемки проводили непосредственно в призабойном пространстве упомянутых выше двух нижних слоевых лав № 3–12 и 3–13, расположенных соответственно в северо-восточной и восточной частях шахтного поля рудника 3 РУ. Анализ выполняли двумя методами. Первый основывался на периодических (1–2 раза в неделю) исследованиях при посещении лав сотрудниками, второй заключался в проведении круглосуточных исследований.

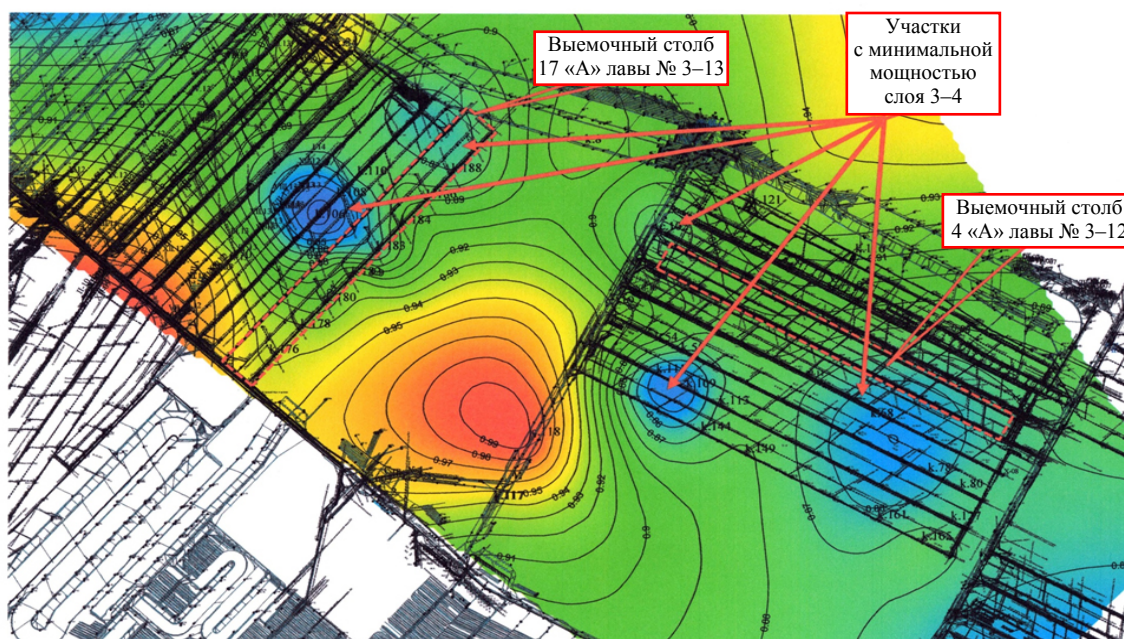


Рис. 1. Северо-восточная и восточная части шахтного поля на Третьем калийном пласте рудника Третьего рудоуправления с полями и изолиниями мощности слоя 3–4, построенными в геоинформационной системе MapManager

Fig. 1. North-eastern and eastern parts of the mine field on the Third potash seam of mine of the Third mining department with fields and isolines of layer 3–4 thickness built in the MapManager geoinformation system

Таблица 1

Результаты статистической обработки данных прочности пород слоя 3–4 на одноосное сжатие в выемочных столбах лав № 3–12 и 3–13

Results of statistical processing of data on the strength of rocks in layer 3–4 for uniaxial compression in extraction columns of lavas No 3–12 and 3–13

Номер скважины, наименование участка бурения скважин	Количество испытанных образцов n , шт.	Средний предел прочности при одноосном сжатии $\sigma_{сж}$, МПа	Среднее квадратическое отклонение Δ , МПа	Коэффициент вариации V , %	Заданная относительная погрешность ε , %	Отношение ε/V	Надежность α , %
Лава № 3–12							
Скважины № 1–3 в ненадработанном массиве	10	23,0	4,40	19,16	20	1,04	99
Скважины № 4–6 в надработанном массиве	13	20,5	7,00	33,94	20	0,59	94
Лава № 3–13							
Скважины № 4–8 в ненадработанном массиве	13	21,6	2,66	12,28	20	1,63	100
Скважины № 1–3 в надработанном массиве	13	21,8	3,36	15,43	20	1,30	100

Таблица 2

Результаты исследований геологического строения и прочностных свойств слоя каменной соли 3–4 в северо-восточной и восточной частях шахтного поля рудника Третьего рудоуправления

Results of studies of the geological structure and strength properties of the rock salt layer 3–4 in the north-eastern and eastern parts of the mine field of mine of the Third mining department

Наименование панели или выемочного столба (лавы)	Характеристика прочных слоев			Среднее содержание слабых прослоек η , %	Прочность на одноосное сжатие $\sigma_{сж}$, МПа
	Суммарная мощность $\Sigma m_{гс}$, см	Количество слоев n , шт.	Средняя мощность $\Sigma m_{гс}/n$, см		
Ненадработанный массив					
Выемочный столб 4 «А» (лава № 3–12)	60,0	5	12,00	18,80	23,0
Выемочный столб 17 «А» (лава № 3–13)	60,4	9	6,71	29,70	21,6
Надработанный массив					
Выемочный столб 4 «А» (лава № 3–12)	60,0	5	12,00	18,80	20,5
Выемочный столб 17 «А» (лава № 3–13)	70,5	11	6,41	21,60	21,8

Горнотехнические условия отработки лавами № 3–12 и 3–13 соответствующих им выемочных столбов 4 «А» и 17 «А», а также условия проведения в них исследований представлены в табл. 3. Для повышения безопасности ведения горных работ в данных лавах использовали забойную крепь высокого рабочего сопротивления МХП-14/22 с уплотненным до 1,75 м шагом установки секций. Расчетная несущая способность забойной крепи при этом

составляла 710 кН/м². Вид призабойного пространства лав показан на рис. 2.

Шахтные исследования по первому методу заключались в следующем. При каждом посещении лав сотрудниками выполнялся комплекс инструментальных и визуальных наблюдений, включающий:

а) снятие показаний давления в гидростойках забойной крепи по штатным манометрам-индикаторам с указанием интервала времени

между передвижкой крепи и произведенным замером (T_3);

б) контроль исправности крепи с пометкой неисправных гидростоек или манометров-индикаторов;

в) измерение ширины призабойного пространства (B_3) и величины зависания породной консоли за крепью (δ_3) лазерной рулеткой РД-32 в заранее выбранных местах по длине лавы;

г) изучение состояния кровли в призабойном пространстве лавы и характера ее обрушения за крепью визуальным способом, а также с помощью фотографирования;

д) измерение отхода лавы по одному из бортовых штреков.

Обработку данных, полученных после каждого посещения шахты, осуществляли путем построения графиков изменения сопротивления гидростоек всех секций забойной крепи и величины зависания кровли за крепью δ_3 по длине лавы, а также вычисления средних значений сопротивления секции крепи Q_{ϕ} , скорости нарастания сопротивления гидростоек крепи v_p , ширины призабойного пространства B_3 и зависания кровли за крепью δ_3 .

Таблица 3

Условия отработки выемочных столбов 4 «А» и 17 «А» лавами № 3–12 и 3–13 и проведения в них исследований
Conditions for working out mining pillars 4 “A” and 17 “A” with longwalls No 3–12 and 3–13 and conducting research in them

Наименование условия отработки	Лава № 3–12	Лава № 3–13
Средняя глубина залегания выемочного столба, м	770	759
Длина выемочного столба, м	3040,0	2322,0
Длина лавы, м	221,0	267,7
Длина надработанного участка лавы, м	185,5	183,7
Вынимаемая мощность (средняя), м	1,96	1,95
Длина надрабатываемой верхней лавы, м	200,0	200,0
Разрыв во времени от отработки верхних лав, лет	12–13	8–9
Интервал отметок отхода лав от монтажного штрека, м, на которых проводились исследования по методу:		
первому	2041–2380	1271–1440
второму	2244–2318	1320–1385
Удаленность от конвейерного штрека лавы участка (замерного профиля) с проводившимися исследованиями по второму методу, м	100–115 (107)	127–149 (135)

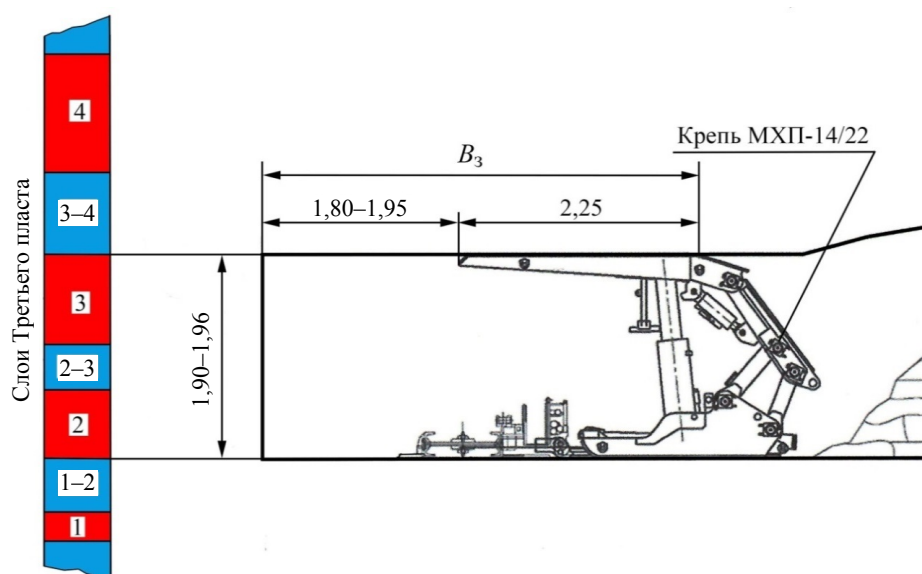


Рис. 2. Вид призабойного пространства лав № 3–12 и 3–13 с крепью МХП-14/22

Fig. 2. Bottomhole view of longwalls No 3–12 and 3–13 with МХП-14/22-support

Среднюю скорость нарастания сопротивления гидростоек крепи v_p , кН/мин, рассчитывали по формуле

$$v_p = \frac{Q_\phi - 2Q_n}{T_3}, \quad (1)$$

где Q_ϕ – среднее значение сопротивления секции крепи, кН,

$$Q_\phi = Q_{\phiп} + Q_{\phiл}; \quad (2)$$

$Q_{\phiп}$, $Q_{\phiл}$ – среднее значение сопротивления правой и левой гидростоек секций крепи, кН; Q_n – средний начальный распор гидростоек, кН, $Q_n = 1327$ кН; T_3 – среднее значение интервала времени между передвижкой секции крепи и произведенными замерами сопротивления гидростоек, мин.

После завершения исследований по первому методу средние значения всех получаемых показателей усреднялись и рассчитывалась фактическая удельная нагрузка на крепь q_ϕ , кН/м²:

$$q_\phi = \frac{Q_{\phi.уср}}{B_3 S}, \quad (3)$$

где $Q_{\phi.уср}$ – усредненное значение сопротивления секции крепи, кН; B_3 – то же ширины призабойного пространства, м; S – шаг установки секций крепи в лаве, м, $S = 1,75$ м.

Шахтные исследования по второму методу состояли в следующем. В каждом очистном цикле стойкой СУИ-3 измеряли опускание кровли (конвергенцию) по ширине призабойного пространства на замерном профиле, расположенном в центре лавы между двумя секциями забойной крепи. Опускание кровли измеряли по станциям контурных реперов, которые устанавливались в почве и кровле лавы сразу же после снятия очередной стружки на расстоянии 0,15–0,35 м от забоя лавы. Измерения по каждой станции выполняли с момента ее установки вплоть до выхода за крепь с фиксированием времени нахождения станций в призабойном пространстве. За время исследований лавой № 3–12 было выполнено 88, а № 3–13 – 76 очистных циклов.

Кроме измерений опускания кровли на 10 секциях забойной крепи лав, расположен-

ных по обеим сторонам от замерных профилей, в каждом очистном цикле снимали показания штатных манометров-индикаторов после распора гидростоек Q_n и перед передвижкой крепи Q_k с фиксированием продолжительности очистных циклов $T_{ц}$, а также производили измерения лазерной рулеткой ширины призабойного пространства B_3 и величины зависания непосредственной кровли за крепью δ_3 .

Состояние кровли в призабойном пространстве и характер ее обрушения в выработанном пространстве изучали визуальным способом с использованием фотографирования. Для оценки устойчивости кровли применяли коэффициент устойчивости K_{yc} , 1/м, который рассчитывали по формуле

$$K_{yc} = \frac{h_n}{m_b B_3}, \quad (4)$$

где h_n – максимальная величина полного опускания кровли, мм; m_b – вынимаемая мощность пласта, мм; B_3 – усредненное значение ширины призабойного пространства, м.

При $K_{yc} = 0,01–0,02$ кровля в призабойном пространстве оценивается как устойчивая, а при $K > 0,02$ – как неустойчивая.

В процессе обработки полученных данных в каждом очистном цикле определяли полное опускание кровли по реперной станции, расположенной на самом большом удалении от забоя, с фиксированием продолжительности нахождения станции в призабойном пространстве, а также средние по 10 секциям значения Q_n , Q_k , B_3 , δ_3 , v_p и q_ϕ . Средние значения скорости нарастания сопротивления v_p и фактической удельной нагрузки q_ϕ по 10 секциям крепи рассчитывали по формулам:

$$v_p = \frac{Q_k - Q_n}{T_{ц}}; \quad (5)$$

$$q_\phi = \frac{2Q_k}{B_3 S}. \quad (6)$$

После завершения исследований средние по 10 секциям значения всех показателей по очистным циклам усредняли, строили графики изменения средних значений всех показателей на исследуемых участках выемочных столбов лав.

Результаты исследований

Исследования геологического строения пород и прочностных свойств потолочины в выемочных столбах 4 «А» и 17 «А» соответствующих лав № 3–12 и 3–13 показали следующее:

- прочность пород потолочины после ее надработки в выемочном столбе 4 «А» уменьшается примерно на 10 %, а в выемочном столбе 17 «А» остается на уровне ненаработанного массива;

- значения $\sum m_{тс}/n$ и η , полученные в выемочных столбах 4 «А» и 17 «А», в сравнении с данными по 40 скважинам разведочного бурения в восточной и северо-восточной частях шахтного 3 РУ соответствуют лучшим (лава № 3–12) и средним (лава № 3–13) показателям для указанных частей шахтного поля;

- слой каменной соли 3–4 в выемочных столбах 4 «А» и 17 «А» (по применяемой на месторождении классификации на устойчивость) можно отнести ко II типу (среднему по устойчивости), при этом полученные значения прочности слоя 3–4 на ненаработанных и надработанных участках обоих выемочных столбов незначительно отличаются от показателей для северного крыла шахтного поля Третьего калийного пласта рудника 3 РУ [12];

- высокая (94–100 %) надежность полученных данных по прочности пород потолочины в выемочных столбах лав № 3–12 и 3–13 при заданной максимальной относительной погрешности 20 % и достаточном количестве испытанных образцов дает основание для использования результатов испытаний в инженерных расчетах.

На основании анализа результатов исследований, проведенных в призабойном пространстве лав, установлено следующее:

- по первому методу:

- ширина призабойного пространства B_3 после снятия комбайном полосы полезного ископаемого при задвинутых к конвейеру секциях крепи не превышала 4,05 м в лаве № 3–12 и 4,20 м в лаве № 3–13;

- скорость нарастания сопротивления крепи v_p изменялась в среднем от 0,8 до 15,4 кН/мин в лаве № 3–12 и от 1,8 до 11,7 кН/мин в лаве № 3–13, а усредненное ее значение состави-

ло 5,7 кН/мин в лаве № 3–12 и 5,2 кН/мин в лаве № 3–13;

- фактическая удельная нагрузка на крепь q_f составила 523 кН/м² в лаве № 3–12 и 484 кН/м² в лаве № 3–13, т. е. 74 и 68 % соответственно от несущей способности крепи МХП-14/22;

- потолочина из слоя каменной соли 3–4 в обеих лавах сохраняла устойчивое состояние в основном без каких-либо видимых нарушений; в некоторых случаях у забоя лав в ней отмечалось появление цикловых трещин шириной 1,0–2,0 мм без дальнейшего их раскрытия по мере подвигания очистных забоев (рис. 3);



Рис. 3. Появление цикловых трещин в кровле призабойного пространства лавы № 3–13

Fig. 3. Appearance of cyclic cracks in the roof of the bottom-hole space of longwall No 3–13

- величина зависания непосредственной кровли за крепью δ_3 изменялась в лаве № 3–12 от 1,4 до 3,1 м (средние значения) и от 4,0 до 8,0 м (максимальные значения), а в лаве № 3–13 – от 0,5 до 4,6 м (средние значения) и от 4,0 до 10,0 м (максимальные значения);

- по второму методу:

- горное давление в лавах № 3–12 и 3–13 так же, как и в других нижних лавах при слоевой выемке Третьего калийного пласта, характеризуется периодическими обрушениями основной кровли с различной интенсивностью. В лаве № 3–12 наиболее интенсивные обрушения основной кровли происходили с шагом не более 20 м, при этом скорость нарастания сопротивления крепи v_p достигала 16 кН/мин, а величина полного опускания кровли h_n от груди забоя до границы призабойного пространства не превышала 126 мм. В лаве № 3–13 шаг наиболее интенсивных обрушений кровли

составил не более 18 м, а значения показателей v_p и h_n не превышали 12 кН/мин и 119 мм. Полученные в лавах № 3–12 и 3–13 максимальные значения v_p и h_n не достигают этих показателей в нижних слоевых лавах с высокой интенсивностью обрушений основной кровли;

– усредненные значения показателей v_p , h_n и q_ϕ составили:

а) в периоды обрушений основной кровли:

в лаве № 3–12:

скорость нарастания сопротивления крепи

$v_p = 7,9$ кН/мин;

полное опускание кровли $h_n = 111,0$ мм;

фактическая удельная нагрузка на крепь

$q_\phi = 570$ кН/м² (или 80 % от несущей способности крепи);

в лаве № 3–13:

$v_p = 9,3$ кН/мин;

$h_n = 115,3$ мм;

$q_\phi = 650$ кН/м² (или 91,5 % от несущей способности крепи);

б) в периоды между обрушениями:

в лаве № 3–12:

$v_p = 3,8$ кН/мин;

$h_n = 96,0$ мм;

$q_\phi = 480$ кН/м² (или 68 % от несущей способности крепи);

в лаве № 3–13:

$v_p = 4,8$ кН/мин;

$h_n = 93,2$ мм;

$q_\phi = 642$ кН/м² (или 90 % от несущей способности крепи);

– ширина призабойного пространства B_3 в обеих лавах не превышала 4,2 м, а усредненные ее значения составили 4,08 м в лаве № 3–12 и 4,15 м в № 3–13. При этом кровля в призабойном пространстве весь период проведения исследований сохраняла устойчивое состояние. Периодически образующиеся вдоль забоя цикловые трещины шириной не более 2,0 мм в дальнейшем не увеличивались до самой границы призабойного пространства, поэтому не оказывали влияния на устойчивость потолочины. Визуальная оценка состояния кровли подтверждается расчетом коэффициента устойчивости K_{yc} по формуле (4).

Для лавы № 3–12 при значениях h_n , m_b и B_3 , равных 126 мм, 1960 мм и 4,08 м соответственно, коэффициент устойчивости K_{yc} состав-

лял 0,016, а для лавы № 3–13 при h_n , m_b и B_3 , равных 119 мм, 1950 мм и 4,15 м, – 0,015, что свидетельствует об устойчивом состоянии кровли.

ВЫВОДЫ

1. На основании анализа результатов исследований геологического строения и прочностных свойств пород слоя каменной соли 3–4 (потолочины) в выемочных столбах 4 «А» и 17 «А» отмечено, что уменьшение мощности потолочины примерно на 0,10–0,14 м и незначительное снижение ее прочности по сравнению с северным крылом шахтного поля по Третьему калийному пласту рудника Третьего рудоуправления не могут существенно повлиять на ее устойчивость в призабойном пространстве лав № 3–12 и 3–13. Это подтверждается визуальными наблюдениями за состоянием потолочины в лавах и расчетом коэффициента ее устойчивости.

2. Полученные шахтными исследованиями в лавах № 3–12 и 3–13 основные показатели проявления горного давления v_p и h_n , а также значения фактической удельной нагрузки на забойную крепь q_ϕ свидетельствуют о возможности безопасной отработки нижними слоевыми лавами восточной и северо-восточной частей шахтного поля рудника Третьего рудоуправления на участках с уменьшенной до 0,66 м потолочиной из слоя каменной соли 3–4. При этом несущая способность забойной крепи должна быть не менее удельной нагрузки от горного давления (550 кН/м²) [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Результаты шахтных испытаний двухслоевой выемки Третьего пласта на Старобинском месторождении / В. А. Сорокин [и др.] // Горный журнал. 1985. № 12. С. 10–13.
2. Опыт двухслоевой выемки мощного пласта сложного строения / А. Ф. Бублис [и др.] // Технология и безопасность горных работ в калийных рудниках: межвуз. сб. науч. тр. Пермь, 1985. С. 17–22.
3. Слоевая выемка Третьего пласта на Старобинском месторождении калийных солей / В. А. Сорокин [и др.]. Л.: ВНИИГ, 1986. С. 4–14.
4. Петровский, Б. И. Совершенствование подготовки длинных столбов для слоевой выемки Третьего пласта

- та / Б. И. Петровский, А. Ф. Бублис, В. А. Сорокин // Совершенствование разработки калийных месторождений: межвуз. сб. науч. тр. Пермь, 1987. С. 6–11.
5. Анализ случаев динамических проявлений основной кровли на призабойное пространство нижних лав при слоевой выемке Третьего калийного пласта / В. А. Губанов [и др.] // Горная механика. 1999. № 2. С. 12–16.
 6. Петровский, Б. И. Повышение эффективности и безопасности отработки Третьего калийного пласта длинными очистными забоями / Б. И. Петровский // Промышленная безопасность. 2006. № 10. С. 18–20.
 7. Кириенко, В. М. Новая технология слоевой выемки пласта Третьего калийного горизонта / В. М. Кириенко, В. А. Тараканов, В. М. Железняк // Горный журнал. 2010. № 8. С. 34–36.
 8. Инструкция по применению систем разработки на Старобинском месторождении. Солигорск, 2018. 146 с.
 9. Обобщить результаты исследований и выдать рекомендации по безопасной отработке 2,2–3,3 слоев нижними лавами с уменьшенной потолочной в восточной и северо-восточной частях шахтного поля гор. – 620 м рудника 3 РУ: отчет о НИР (заключит. по дог. № 41/21, этап 3) / Унитарное предприятие «Институт горного дела»; рук. Б. И. Петровский, исполн.: В. А. Мисников [и др.]. Солигорск, 2021. 48 с. № ГР 20212386.
 10. Видякин, В. В. ГИС-технологии при добыче полезных ископаемых. Специализированная корпоративная геоинформационная система MapManager / В. В. Видякин, М. А. Журавков, О. Л. Коновалов. Минск: Изд. центр БГУ, 2004. 208 с.
 11. Порода горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии: ГОСТ 21153.2–84. Введ. 01.07.1986. М.: Госстандарт, 1986. 8 с.
 12. Инструкция по охране и креплению горных выработок на Старобинском месторождении. Солигорск, 2018. 197 с.
- Поступила 08.02.2022
Подписана в печать 12.04.2022
Опубликована онлайн 30.11.2022
- REFERENCES
1. Sorokin V. A., Piatrouski B. I., Bubliss A. F., Kalinichenko P. I. (1985) Results of Mine Tests of a Two-Layer Excavation of the Third Layer at the Starobinsky Field. *Gornyi Zhurnal*, (12), 10–13 (in Russian).
 2. Bubliss A. F. [et al.] (1985) Experience of Two-Layer Excavation of a Thick Layer of Complex Structure. *Tekhnologiya i Bezopasnost' Gornyykh Rabot v Kaliynykh Rudnikakh: Mezhd. Sb. Nauch. Tr.* [Technology and Safety of Mining Operations in Potash Mines: Inter-University Collection of Scientific Papers]. Perm, 17–22 (in Russian).
 3. Sorokin V. A., Piatrouski B. I., Nikolaev Yu. N. [et al.] (1986) *Layered Excavation of the Third Layer at the Starobinsky Potash Deposit*. Leningrad, All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering named after B. E. Vedenev, 4–14 (in Russian).
 4. Piatrouski B. I., Bubliss A. F., Sorokin V. A. (1987) Improving the Preparation of Long Pillars for Layered Excavation of the Third Layer. *Sovershenstvovanie Razrabotki Kaliynykh Mestorozhdenii: Mezhd. Sb. Nauch. Tr.* [Improving the Development of Potash Deposits: Inter-University Collection of Scientific Papers]. Perm, 6–11 (in Russian).
 5. Gubanov V. A., Volkov B. A., Polyakou A. L. [et al.] (1999) Analysis of the Cases of Dynamic Manifestations of the Main Roof on the Bottomhole Space of the Lower Lavas During the Layered Excavation of the Third Potash Seam. *Gornaya Mekhanika* [Mining Mechanical Engineering], (2), 12–16 (in Russian).
 6. Piatrouski B. I. (2006) Improving the Efficiency and Safety of the Third Potash Seam Mining with Longwalls. *Promyshlennaya Bezopasnost* [Industrial Safety], (10), 18–20 (in Russian).
 7. Kirienko V. M., Tarakanov V. A., Zheleznyak V. M. (2010) New Technology for Layered Mining of the Third Potash Horizon. *Gornyi Zhurnal*, (8), 34–36 (in Russian).
 8. *Instructions for the Use of Development Systems at the Starobinsky Field*. Soligorsk, 2018. 146 (in Russian).
 9. Piatrouski B. I., Misnikou V. A. [et al.] (2021). *To Summarize the Research Results and Issue Recommendations for the Safe Mining of 2.2–3.3 Layers of Lower Longwalls with a Reduced Ceiling in the Eastern and Northeastern Parts of the Minefield of the Mountains. 620 m of 3 RU Mine: Research Report (Final Report for the Contract. No 41/21, Stage 3)*. Soligorsk. 48 (in Russian).
 10. Vidyakin V. V., Zhuravkov M. A., Kononov O. L. (2004) *GIS-Technologies in the Extraction of Minerals. Specialized Corporate Geo-Information System MapManager*. Minsk, Publishing Center of the Belarusian State University. 208 (in Russian).
 11. State Standard 21153.2–84. *Rocks. Methods for Determining the Ultimate Strength in Uniaxial Compression*. Moscow, Gosstandart Publ., 1986. 8 (in Russian).
 12. *Instructions for the Protection and Fastening of Mine Workings at the Starobinsky Deposit*. Soligorsk, 2018. 197 (in Russian).
- Received: 08.02.2022
Accepted: 12.04.2022
Published online: 30.11.2022