

Научная статья

УДК 622, 681.5

DOI: 10.26730/1816-4528-2022-1-9-18

Липницкий Никита Александрович¹, главный инженер проектов, Устинова Яна Вадимовна^{2,*}, доцент

¹ООО «СПБ-Гипрошахт»²Санкт-Петербургский Горный университет

*E-mail: yana.kuskova@gmail.com

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ШИРИНЫ МЕЖСТОЛБОВОГО ЦЕЛИКА ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ РАЗЛИЧНЫМ ГОРНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ СНИЖЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ



Информация о статье

Поступила:

06 декабря 2021 г.

Одобрена после

рецензирования:

20 января 2022 г.

Принята к печати:

15 февраля 2022 г.

Ключевые слова:

горное дело, горные машины, калийное месторождение, сильвинит, система разработки, подземная выработка, межстолбовой целик

Аннотация.

В данной статье предложен пошаговый алгоритм действий выбора минимально допустимой (оптимальной) ширины межстолбового целика при отработке IV-го сильвинитового слоя при применении технологической схемы слоевой выемки пласта Третьего калийного горизонта с последовательной отработкой слоев на участках с устойчивой непосредственной кровлей и возможным повторным использованием транспортных штреков лав. Предложена схема системы разработки. Для Старобинского месторождения технологические схемы подготовки и отработки калийных пластов представляют собой схемы, включающие максимально возможное извлечение запасов из недр, решающие проблему динамических обрушений кровли, обеспечивающие минимальный объем горно-подготовительных работ при хорошей устойчивости подготовительных выработок и призабойного пространства лав, а также высокие показатели по качеству руды и производительности механизированных комплексов.

Для цитирования: Липницкий Н.А., Устинова Я.В. Алгоритм расчета ширины межстолбового целика при разработке месторождения калийных солей различным горным оборудованием с точки зрения снижения эксплуатационных потерь // Горное оборудование и электромеханика. 2022. № 1 (159). С. 9-18. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-1-9-18

Актуальность

Учитывая специфику калийных месторождений, обусловленную физико-механическими свойствами соляных пород и их легкой растворимостью в воде и ненасыщенных рассолах, наиболее оправданным и целесообразным в решении указанной проблемы является комплексный подход, обеспечивающий решения ее основных вопросов, определяющих как условия собственного и производительного труда горняков, так и условия безаварийной эксплуатации рудников при применении систем с высокой степенью извлечения руды из недр.

Целью работы является исследование возможности применения бесцеликовых схем отработки калийных месторождений и определение влияния бесцеликовой системы разработки на организацию производственных процессов и методику расчета.

Введение

Для Старобинского месторождения технологические схемы подготовки и отработки калийных пластов должны преследовать своей целью максимально возможное извлечение запасов из недр, решающие проблему динамических обрушений кровли, обеспечивающие минимальный объем

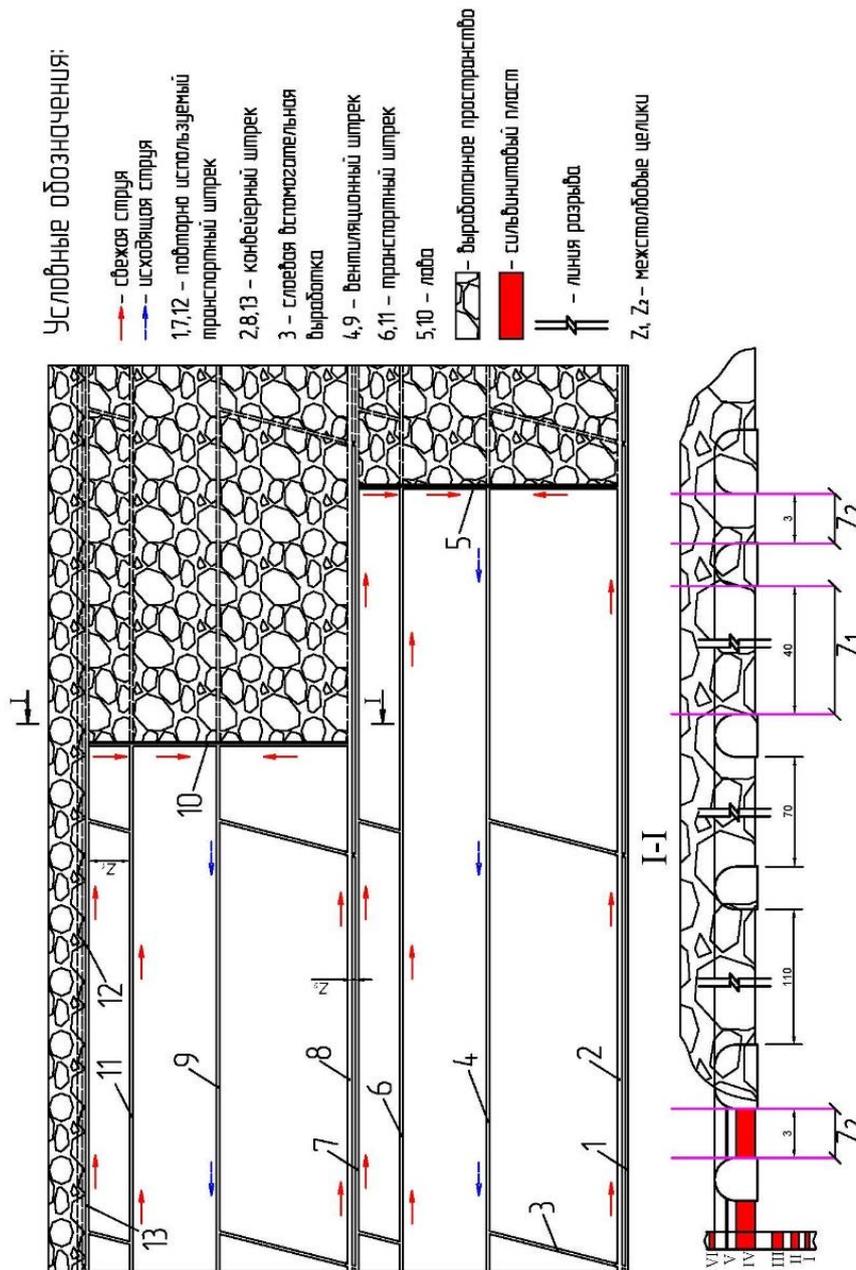


Рис. 1. Предлагаемая система разработки IV сильвинитового слоя III калийного пласта в условиях 2 РУ, ОАО «Беларуськалий»

Fig. 1. The proposed system for the development of the IV sylvinitic layer of the III potash seam under the conditions of the 2nd reactor plant, Belaruskali OJSC

горно-подготовительных работ при хорошей устойчивости подготовительных выработок и призабойного пространства лав, а также высокие показатели по качеству руды и производительности механизированных комплексов.

Оставление широких целиков при слоевой выемке Третьего калийного горизонта является одной из основных причин динамических воздействий кровли на призабойное пространство нижних лав. Разработанные мероприятия по разупрочнению кровли, а также формирование зон смягчения в межпанельных целиках существенно снижают интен-

сивность обрушений кровли, но указанные мероприятия не всегда удается выполнить в нужные сроки и в нужных объемах.

Основная часть

Для участков шахтных полей с устойчивой непосредственной кровлей пласта (наличие V сильвинитового слоя) специалистами профильных организаций разработана технологическая схема слоевой выемки (рис. 1) с устойчивой непосредственной кровлей и повторным использованием транспортных шптреков с оставлением межстолбового целика по IV сильвинитовому слою размером **6÷8 метров**, однако согласно п. 1.1.1 [1] «При выборе технологической

схемы столбовой системы разработки и определении ее параметров должны обеспечиваться условия сохранения водозащитной толщи, высокие технико-экономические показатели, безопасные условия труда и безопасная эксплуатация подрабатываемых объектов при максимально возможном извлечении полезного ископаемого из недр», откуда и вытекает актуальность данной работы – уменьшение размера межстолбового целика Z_2 , подготавливаемого к отработке столбов (см. рис.1), путем разработки пошагового алгоритма действий, который позволит существенно сократить эксплуатационные потери при отработке и обеспечить полное разрушение целика в выработанном пространстве, исключив динамическое воздействие на параллельно обрабатываемые либо подготавливаемые к отработке забои; корректировки применяемой системы разработки (рис. 1), которая заключается в проведении дополнительных выработок (рис. 1, выработки №6,11).

Переход на бесцеликовую выемку или выемку с оставлением целиков минимальных размеров **3÷4 метра** известен в мировой практике и характерен для многих угольных месторождений [2-4], представленных пологопадающими пластами. При этом получили распространение технологические схемы с повторным использованием одной из выработок для отработки смежной лавы с выемкой межстолбового целика забойным комбайном одновременно с очистными работами во втором столбе и с поддержанием выемочного штрека в присечку к выработанному пространству.

Специфика горно-геологических условий отработки участка, рассматриваемого в данной работе, приведена ниже.

Третий калийный горизонт в пределах шахтного поля залегает на глубинах от 487,0 м до 646,0 м с погружением пласта в северном и северо-восточном направлениях под углом $1\div3^\circ$. На отдельных участках шахтного поля у тектонических нарушений угол падения увеличивается до $5\div8^\circ$ и более.

Балансовая мощность по слоям II÷IV изменяется от 4,03 м до 4,46 м и в среднем составляет 4,31 м. Содержание KCL по слоям II–IV соответственно изменяется от 17,13% до 26,03% и в среднем составляет 19,85%. Содержание H.O. по слоям II÷IV изменяется от 3,19% до 8,01% и в среднем составляет 4,53%.

В породах горизонта отмечаются локальные скопления свободно содержащихся газов, количество которых увеличивается в разрезе снизу вверх, а также встречаются «мульды погружения пласта», опасные по внезапным выбросам соли и газа. Особую опасность представляет наличие горючих газов, выделяющихся в отработанном пространстве горных выработок и лав.

Соленосные отложения над кровлей калийных горизонтов являются естественной водозащитной толщей. Мощность их в северо-восточной части шахтного поля над Вторым и Третьим калийными горизонтами достигает соответственно 100,0 и 250,0 м с постепенным выклиниванием в южном направлении. В результате проведения специальных ком-

плексных исследований, выполненных на месторождении, установлено, что большая часть глинисто-мергелистой толщи безводна и водоупорна и слагающие ее породы обладают хорошими водозащитными свойствами. Мощность водоупорной части глинисто-мергелистой толщи в пределах шахтного поля составляет преимущественно $180,0\div300,0$ м. Таким образом, общая мощность водозащитной толщи составляет $200,0\div300,0$ м над кровлей Второго калийного горизонта и $240,0\div450,0$ м над кровлей Третьего калийного горизонта.

Пошаговый алгоритм действий выбора оптимального межстолбового целика (Z_2)

Использование предложенного алгоритма применительно к апробированной системе разработки (см. рис.1) позволит решить такие две главные проблемы, как:

1) значительные эксплуатационные потери полезного ископаемого;

2) повышенная опасность горных работ и большие невосполнимые потери добычи, связанные с динамическими обрушениями пород кровли в выработанном пространстве лав.

При разработке алгоритма автором выделено четыре определяющих фактора:

– обеспечение целостности водозащитной толщи (далее – ВЗТ);

– обеспечение устойчивости повторно используемых выработок;

– обеспечение полного разрушения межстолбового целика после выхода его в выработанное пространство;

– обеспечение минимальной устойчивости воздухоподающей выработки для проветривания забойной части.

Необходимо обратить особое внимание, что невыполнение хотя бы одного из вышеперечисленных факторов в данных горно-гидрогеологических и горнотехнических условиях является категорически недопустимым.

Все факторы расположены в хронологическом порядке и обязательны к рассмотрению строго последовательно. Разберем каждый пункт индивидуально.

Оценка возможности отработки IV сивльвинитового слоя с оставлением оптимального межстолбового целика по фактору обеспечения целостности ВЗТ

Расчет безопасной отработки пласта в расчетной схеме панели произведен в соответствии с «Правилами по защите рудников от затопления».

Согласно п. 211 [4] условия безопасной подработки ВЗТ заключаются в выборе и применении параметров разработки пластов калийной и каменной соли, обеспечив сохранность над выработанным пространством минимально необходимой мощности предохранительной водозащитной потолочины (далее – ПВП):

$$M_H \geq [M], \quad (1)$$

где M_H – ненарушенная мощность ВЗТ над рассматриваемым пластом, м;

$[M]$ – минимальная необходимая мощность ПВП, 35 м.

$$M_H = M_{ВЗТ} - H_T, \quad (2)$$

где $M_{ВЗТ}$ – мощность ВЗТ над рассматриваемом пластом, м;

H_T – расчетная высота распространения зоны техногенных водопродвижающих трещин над выработанным пространством, определяется в соответствии с прил. Б [2], м.

Отсюда следует:

$$H_T = d \cdot m_{np}, \quad (3)$$

где d – параметр, определяется по таблице Б.1 [2] в зависимости от глубины и системы разработки, м;

m_{np} – приведенная вынимаемая мощность, м.

$$d = 46 - 0,01 \cdot H = 46 - 0,01 \cdot 550 = 40,5$$

$$H_T = 40,5 \cdot 1,2 = 48,6$$

$$M_H = 230 - 48,6 = 181,4$$

$$M_H \geq [M]; 181,4 \geq 35$$

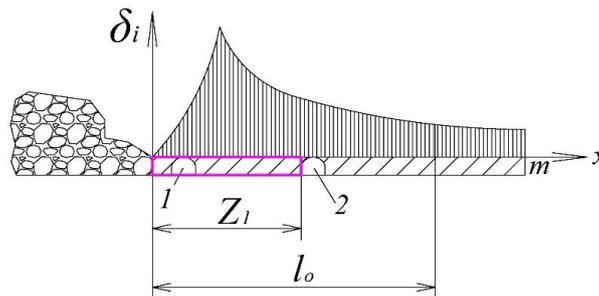


Рис. 2. Схема расположения проектной охраняемой выработки
 1 – повторно используемый транспортный штрек (охраняемая выработка целиком Z_2);
 2 – транспортный штрек (охраняемая выработка целиком Z_1);
 Z_1 – ширина целика;
 l_o – зона опорного давления;
 m – мощность пласта

Fig. 2. Layout of the design guarded working
 1 – reusable transport drift (protected development entirely Z_2);
 2 – transport drift (protected development entirely Z_1);
 Z_1 – rear sight width;
 l_o is the reference pressure zone;
 m – the thickness of the reservoir

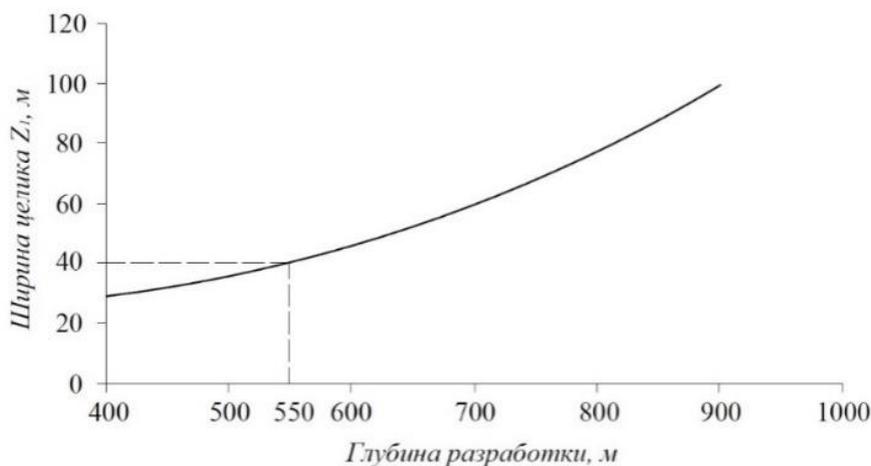


Рис. 3. График для выбора ширины охранного целика Z_1 при поддержании транспортного штрека на границе с выработанным пространством смежной лавы

Fig. 3. Graph for choosing the width of the guard pillar Z_1 while maintaining the traffic road on the border of worked out by the space of the adjacent lava

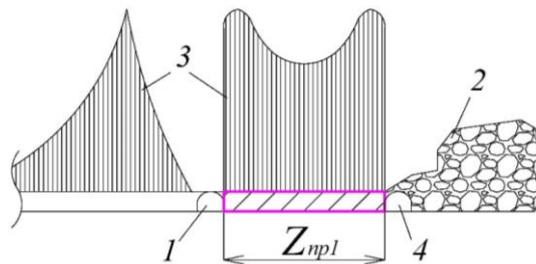


Рис. 4. Распределение напряжений в целике при охране выработки 1
1 – повторно используемый транспортный штрек; 2 – выработанное пространство; 3 – эпюры зон опорного давления; 4 – конвейерный штрек смежной лавы

Fig. 4. Stress distribution in the pillar during protection of working 1
1 – reusable traffic road; 2 – goaf; 3 – diagrams of the zones of the reference pressure; 4 – conveyor drift of adjacent lava

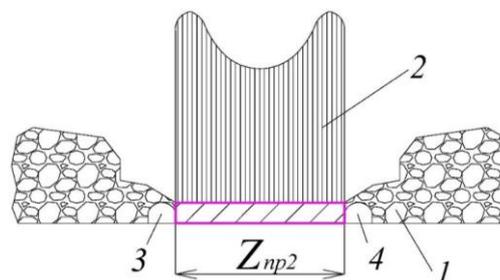


Рис. 5. Распределение напряжений в целике, расположенном в выработанном пространстве
1 – выработанное пространство; 2 – эпюра зоны опорного давления; 3 – конвейерный штрек; 4 – повторно используемый штрек

Fig. 5. Stress distribution in the pillar located in the goaf
1 – goaf; 2 – diagram of the support pressure zone; 3 – conveyor drift; 4 – reusable drift

Из полученных расчетов следует, что принятая столбовая система разработки обеспечивает безопасную подработку ВЗТ и безопасные условия ведения очистных и подготовительных работ.

Учитывая последовательную иерархию указанных выше факторов, положительный результат (отсутствие влияния очистных и подготовительных работ на целостность ВЗТ) позволяет нам перейти к рассмотрению следующего.

Оценка возможности отработки IV сивлинитового слоя с оставлением межстолбового целика по фактору обеспечения устойчивости повторно используемых выработок

Согласно п.3.3.4 [1] повторно используемая выработка проводится одновременно с подготовительными выработками смежного выемочного столба. Допускается проведение повторно используемой выработки в процессе отработки смежного выемочного столба. Между повторно используемой выработкой и подготовительными выработками смежного выемочного столба оставляется целик шириной не более 10,0 м. Необходимость охраны и крепления повторно используемой выработки определяется паспортом проведения и крепления.

Расчет устойчивости подготовительных выработок проводится в следующем порядке:

– оцениваются горно-геологические и горнотехнические условия разработки пласта с целью выбора варианта привязки кровли выработки, размера

охранного целика, технологической схемы ведения горных работ;

– рассчитывается конвергенция «кровля-почва» выработки, соответствующая условиям принятого варианта;

– выбираются способы охраны, средства и параметры крепления выработки.

Для начала рассчитаем согласно нормативным документам [1] ширину целика Z_1 . Здесь необходимо указать, что целик Z_1 является условным в этой схеме и предназначен для охраны бортового штрека лавы на границе с выработанным пространством (рис. 1, выработки № 6, 11), которые предназначены для подачи свежего воздуха в забой при условии полного разрушения целика Z_2 и доработки массива, слагаемого целиком Z_1 и тупиковым забоем. Также надо принять во внимание, что эти выработки должны иметь устойчивое состояние во время всей отработки столба лавы.

Прогнозируемое состояние подготовительной выработки на конечный срок службы с учетом принятых способов охраны, средств и параметров крепления допускает возможность появления в ней незначительных прогибов и отслоений пород, которые не должны существенным образом осложнять ведение горных работ. Для условий Старобинского месторождения установлены зависимости H (глубины разработки) от l_0 (длины зоны опорного давления),

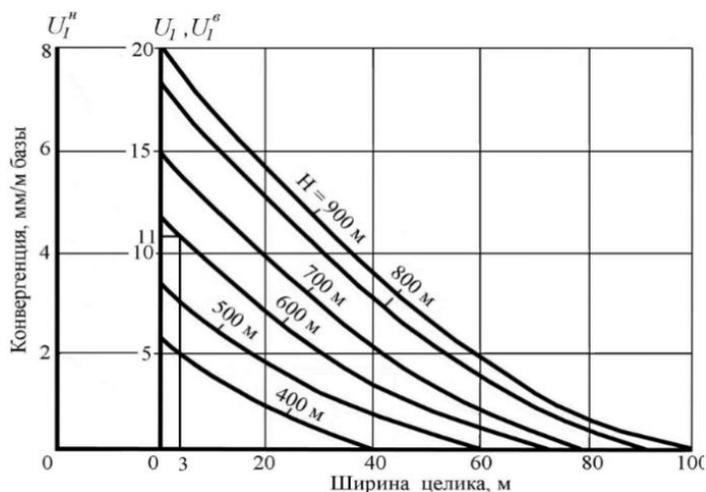


Рис. 6. Конвергенция «кровля-почва» выработки в зоне временного опорного давления (со стороны массива) U_1, U_1^e, U_1^n
 Fig. 6. Convergence "roof-soil" workings in the zone of temporary support pressure (from the massif) U_1, U_1^e, U_1^n

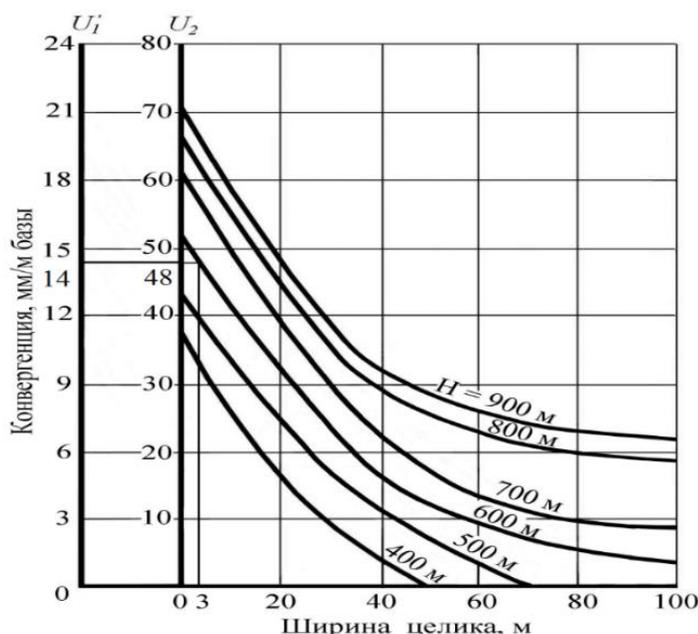


Рис. 7. Конвергенция «кровля-почва» выработки в зоне временного опорного давления лавы (со стороны выработанного пространства) U_1^l, U_2
 Fig. 7. Convergence "roof-soil" of the working in the zone of temporary support pressure of the lava (from the goaf side) U_1^l, U_2

которая влияет на выбор ширины целика Z_1 для охраны бортового штрека лавы на границе с выработанным пространством (рис. 2).

Так как глубина расположения принятой в расчетной схеме панели 550,0 м, из представленного выше графика можно сделать вывод, что для охраны транспортного штрека (рис. 1, выработки № 6,11) необходимо оставлять целик Z_1 , шириной 40,0 м.

Определение ширины целика (Z_2)

Ширину целика Z_2 следует определять с учетом влияния следующих требований:

а) данный целик предназначен обеспечить техническое состояние выработок (рис. 1, выработки №1,7,12) в течение всего срока его службы, т.е. данный целик не должен разрушаться при его нахождении в выработанном пространстве при ведении очистных работ в смежной лаве Z_{np1} (см. рис.4).

Согласно п.3.3.3 [1] ширина целика между присечной выработкой и выработками (выработкой) отработанного (отрабатываемого) смежного выемочного столба определяется в зависимости от глубины разработки по эмпирической формуле:

$$b_{ц} = -1,429 + 0,0107 \times H - 0,0000029 \times H^2, \quad (4)$$

Для нашего случая ширина целика Z_2 (в нашей терминологии $b_{ц}$ это Z_2):

$$Z_2 = -1,429 + 0,0107 \times 550 - 0,0000029 \times 550^2 = 3,579 \text{ м}$$

Между повторно используемой выработкой и подготовительными выработками смежного выемочного столба оставляется целик шириной не более 10,0 м [3].

Необходимо отметить, что при составлении паспорта проведения и крепления выработок (рис. 1, выработки № 1,7,12) нужно обязательно предусмотреть проведение компенсационных щелей: одну в кровле и две в боках, что позволит сократить проектную ширину межстолбового целика Z_2 до 3,0 м.

Принимаем для нашей системы разработки предельную ширину целика $Z_{np1} = 3,0 \text{ м}$.

б) данный целик при размещении его в выработанном пространстве должен разрушаться горным давлением, после окончания использования данного участка выработки. Это условие обозначаем как Z_{np2} (рис. 5).

Согласно п.3.2.3 [3] ленточные целики, оставляемые между разгружающей и охраняемой выработкой, должны быть шириной $2,5 \div 3,3 \text{ м}$, следовательно, критическая величина неполного разрушения целика в выработанном пространстве – 3,3 м.

Принимаем для нашей системы разработки предельную ширину целика $Z_{np2} = 3,3 \text{ м}$.

Проектная ширина целика Z_2 при реализации рекомендуемой системы разработки (рис. 1) должна удовлетворять следующему требованию:

$$Z_{np1} \leq Z_2 < Z_{np2}. \quad (5)$$

Для рассматриваемых горно-геологических, гидрогеологических и горнотехнических условий $Z_{np1} = 3,0 \text{ м}$, $Z_{np2} = 3,3 \text{ м}$, следовательно, выполняя условие (5) Z_2 рекомендуется принять равным 3,0 м.

Получив значение проектной ширины целика, необходимо проверить его на величину конвергенции «кровля-почва». Величина конвергенции «кровля-почва» в выработке (рис. 1, выработки

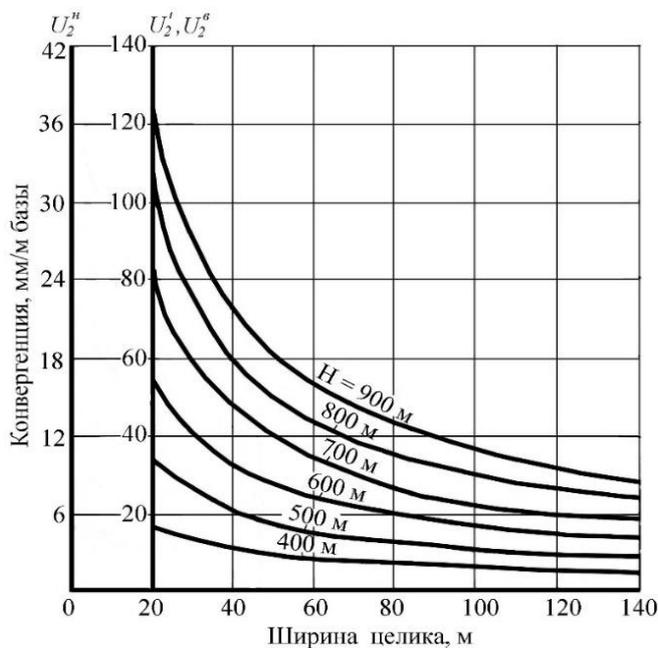


Рис. 8. Конвергенция «кровля-почва» выработки в зоне остаточного опорного давления лавы – U_2', U_2^g, U_2^h .
 Fig. 8. Convergence "roof-soil" workings in the zone of residual lava support pressure – U_2', U_2^g, U_2^h

№1,7,12) не должна превышать величину, при которой данная выработка не может быть использована в качестве воздухоподающей выработки для верхнего участка лавы

Определение ширины целика Z_2 по фактору обеспечения минимальной устойчивости воздухоподающей выработки для подачи воздуха и разрушения его (целика) после выхода в выработанное пространство

Воспользуемся методикой расчета конвергенции «кровля-почва», ожидаемой на конечный срок службы выработок при соответствующих схемах ведения очистных работ [1].

В нашем случае конвергенция «кровля-почва» для повторно используемого транспортного штрека, который будет охраняться целиком Z_2 , рассчитывается по формуле [3].

$$U = [V_0 \times t + U_1' + K_{on} \times (U_2' + U_2)] \times K_1 \times K_2 \times h, \quad (6)$$

Значения относительной конвергенции «кровля-почва» при различных случаях воздействия на выработку опорного давления определяются по номограммам (рис. 6, 7, 8).

Определив с помощью номограмм и таблиц все необходимые значения, подставим их в (6):

$$U = [V_0 \times t + U_1' + K_{on} \times (U_2' + U_2)] \times K_1 \times K_2 \times h = 8,5 \times 1 + 14 + 0,9 \times (0 + 48) \times 1,16 \times 4 \times 2,85 = 593,7 \text{ мм}$$

Конвергенция «кровля-почва» за проектный срок службы по предварительным расчетам составит 593,7 мм. Это вполне отвечает условиям применения заданной нами ширины целика $Z_2=3,0$ м, который позволит использовать повторно используемые выработки для подачи воздуха на забой во время эксплуатационного периода и в то же время после окончания очистных работ в этой панели будет разрушен горным давлением.

При возможном разрушении целика Z_2 и невозможности эксплуатации по назначению повторно используемой выработки (рис. 1, выработки №1,7,12) для технологических нужд свежий воздух в лаву будет поступать по выработке, охраняемой целиком Z_1 (рис. 1, выработки №6,11), и отработка конечного участка лавы производится тупиковым забоем согласно разработанного паспорта доработки целика Z_1 , учитывая сложившуюся горно-геологическую [5-8], гидрогеологическую [9-12] и геомеханическую [12-16] обстановку в окрестностях выработки.

Заключение

Анализируя весь материал, использованный для написания данной статьи, и резюмируя вышеизложенные факты, можно сделать выводы о жизнеспособности выдвинутой теории и обозначить три основных позиции:

- актуальность и неизбежность освоения в будущем бесцеликовых схем отработки IV сильвинитового слоя предопределяется следующими фактами: калийные удобрения являются стратегически важным сырьем для Республики Беларусь, так как большая часть экспортируется; сырьевая база Старобинского месторождения огромна, но не бесконечна, следовательно, следует более рационально использовать предоставленные нам ресурсы; невозможность повторной отработки панели для разработки IV-го слоя.

- определяющее влияние на организацию производственных процессов и методику расчета бесцеликовой системы разработки Старобинского месторождения оказывает прежде всего исключение потерь полезного ископаемого в целиках, которые для некоторых рудников составляют 50%.

Все перечисленное, несмотря на необходимость и целесообразность дифференцированного решения, представляет собой комплексную проблему – проблему обеспечения безопасной и эффективной разработки калийных месторождений подземным способом, в рамках которой они объединены как единое целое, требующее для своего решения во всех случаях учета специфических свойств соляных пород и массива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.gosnadzor.ru/industrial/mining/acts/gornorud_object/pr599/Пр-599.pdf.

2. Tyulenev M. A., Markov S. O., Gasanov M. A., Zhironkin S. A. Numerical modeling in the structural study of technogenic rock array, *Geotechnical and Geological Engineering*. 2018. Vol. 36. Issue 5. P. 2789-2797. doi: 10.1007/s10706-018-0501-3
3. Kruk M. N., Semenov A. S. Project Risk Analysis and Management Decision-Making in Determining the Parameters of Ore Quarries. *International Journal of Control Theory and Applications*. 2017. Vol. 10. Issue 12. P. 451-458.
4. Правила технической безопасности при разработке подземным способом соляных месторождений Республики Беларусь. Сборник инструкций к правилам технической безопасности при разработке подземным способом соляных месторождений Республики Беларусь. Солигорск [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://docviewer.yandex.ru/view/>
5. Титков С. Н., Гуркова Т. М., Пантелеева Н. Н., Бондарева А. Ю., Конобеевских А. В. Закрытое акционерное общество «ВНИИ Галургии», г. Санкт-Петербург, Россия. «Новые технологии обогащения калийных руд». Международное совещание «Плакинский чтения-2013». 2013. С. 307-311.
6. Zvonarev I. E., Shishlyannikov D. I. Information and diagnostic tools of objective control as means to improve performance of mining machines. 10th International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems. 2017. Vol. 177. № 1. Article number 012045. doi: 10.1088/1757-899X/177/1/012045.
7. Shishlyannikov D. I., Romanov V. A., Zvonarev I. E. Determination of the operating time and residual life of self-propelled mine cars of potassium mines on the basis integrated monitoring data, *Journal of Mining Institute*. 2019. Vol. 237/ P. 336-343. doi: 10.31897/PMI.2019.3.336.
8. Afonina E. I., Konobeevskih A. V. Intensification of potash ores flotation desliming, *Gornyi Zhurnal*. 2016. Vol. 4. P. 56-60. doi: 10.17580/gzh.2016.04.11
9. Bazhin V. Y., Kulchitskiy A. A., Kadrov D. N., Complex control of the state of steel pins in sodberg electrolytic cells by using computer vision systems, *Tsvetnye Metally*. 2018. Vol. 3. P. 27-32. doi: 10.17580/tsm.2018.03.04
10. Koptev V. Y., Kopteva A. V. Mining business transportation system structure optimization. 2016. Vol. 11. Pp. 7402-7405.
11. Kuskova Ya. V., Erochina O. O., Simakov A. S. Problematics And Perspects Of The Development Of Automatic Control Systems For Concentration Tables Using Computer Simulation. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1384. 012023, doi: 10.1088/1742-6596/1384/1/012023.
12. Titkov S. N., Mamedov A. I., Solovyev E. N. Processing of potash minerals. M. : Nedra, 1982. 216 p.
13. Pashkevich M. A., Alekseenko A. V. Reutilization prospects of diamond clay tailings at the Lomonosov mine, Northwestern Russia, *Minerals*. 2020. Vol. 10. Issue 6. P. 517. doi: 10.3390/min10060517.
14. Litvinenko V. S. Digital Economy as a Factor in the Technological Development of the Mineral Sector, *Natural Resources Research*. 2020. Vol. 29. Issue 3. P. 1521-1541. doi:10.1007/s11053-019-09568-4.
15. Litvinenko V. S., Sergeev I. B. Innovations as a Factor in the Development of the Natural Resources Sector, *Studies on Russian Economic Development*. 2019. Vol. 6. Issue 30. P. 637-645. doi: 10.1134/S107570071906011X.
16. Trushko O. V., Potemkin D. A., Popov M. G. Ensuring sustainability of mining workings in development of ore deposits in complex geological conditions. 2018. Vol. 7. Issue 13. P. 2594-2601.

© 2022 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Об авторах:

Липницкий Никита Александрович, главный инженер проектов ООО «СПб-Гипрошахт» (197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Чапаева, 15), lipnickii.nikita@mail.ru

Устинова Яна Вадимовна, доцент кафедры АТПП, Санкт-Петербургский Горный университет (199106, Россия, Санкт-Петербург, 21 линия В.О., 2), yana.kuskova@gmail.com

Заявленный вклад авторов:

Липницкий Н.А. – постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных; обзор соответствующей литературы; выводы; написание текста.

Устинова Я.В. – постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных; обзор соответствующей литературы; выводы; написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

DOI: 10.26730/1816-4528-2022-1-9-18

Nikita A. Lipnitsky¹, Chief Engineer of Projects, **Yana V. Ustinova**^{2,*}, Associate Professor

¹LLC "SPb-Giproshacht"

²St. Petersburg Mining University

*E-mail: yana.kuskova@gmail.com

CALCULATION ALGORITHM FOR INTER-BARRIER PILLAR WIDTH WHEN MINING POTASH DEPOSITS WITH DIFFERENT MINING EQUIPMENT IN ORDER TO REDUCE OPERATIONAL LOSSES



Article info

Received:

06 December 2021

Accepted for publication:

20 January 2022

Accepted:

15 February 2022

Keywords: Mining, Mining machines, Potash Field, Sylvinit, Development System, Underground Development, Inter Ed

Abstract.

This article proposes a step-by-step algorithm for selecting the minimum permissible (optimal) width of the interpillar pillar when mining the IV-th sylvinit layer when applying the technological scheme of layer excavation of the Third Potash horizon with sequential mining of layers in areas with a stable direct roof and possible re-use of the transport drifts of the faces. The development system scheme is proposed. The technological schemes of preparation and mining of potassium formations for the Starobinskoye deposit are schemes that include the maximum possible extraction of reserves from the subsurface, solving simultaneously the problem of dynamic roof collapse, ensuring a minimum amount of mining preparation work with good stability of preparatory workings and face space, high rates of ore quality and productivity of mechanized complexes.

For citation: Lipnitsky N.A. Ustinova Ya.V. Calculation algorithm for inter-barrier pillar width when mining potash deposits with different mining equipment in order to reduce operational losses. *Mining Equipment and Electromechanics*, 2022; 1(159):9-18 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2022-1-9-18

REFERENCES

1) Federal'nye normy i pravila v oblasti promyshlennoj bezopasnosti. [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: http://www.gosnadzor.ru/industrial/mining/acts/gornorud_object/pr599/Pr-599.pdf.

2) Tyulenev M. A., Markov S. O., Gasanov M. A., Zhironkin S. A. Numerical modeling in the structural study of technogenic rock array, *Geotechnical and Geological Engineering*, 36 (5) (2018) 2789-2797. doi: 10.1007/s10706-018-0501-3

3) Kruk M. N., Semenov A. S. Project Risk Analysis and Management Decision-Making in Determining the Parameters of Ore Quarries. *International Journal of Control Theory and Applications*, 2017; 10(12):451-458.

4) Pravila tekhnicheskoy bezopasnosti pri razrabotke podzemnym sposobom solyanyh mestorozhdenij Respubliki Belarus'. Sbornik instrukcij k pravilam tekhnicheskoy bezopasnosti pri razrabotke podzemnym sposobom solyanyh mestorozhdenij Respubliki Belarus'. Soligorsk.– [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://docviewer.yandex.ru/view/>

5) Titkov S. N., Gurkova T. M., Panteleeva N. N., Bondareva A. Yu. Konobeevskih A. V., g. Sankt-Peterburg, Rossiya. «Novye tekhnologii obogashcheniya kalijnyh rud. Mezhdunarodnoe soveshchanie «Plaksinskije chteniya 2013». Zakrytoe akcionernoe obshchestvo «VNII Galurgii»; 2013. P. 307-311.

6) Zvonarev I. E., Shishlyannikov D. I. Information and diagnostic tools of objective control as means to improve performance of mining machines. *10th International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems*. 2017; 177(1):012045. doi: 10.1088/1757-899X/177/1/012045.

7) Shishlyannikov D. I., Romanov V. A., Zvonarev I. E. Determination of the operating time and residual life of self-propelled mine cars of potassium mines on the basis integrated monitoring data, *Journal of Mining Institute*. 2019; 237:336-343. doi:10.31897/PMI.2019.3.336.

8) Afonina E. I., Konobeevskih A. V. Intensification of potash ores flotation desliming, *Gornyi Zhurnal*. 2016; 4:56-60. doi: 10.17580/gzh.2016.04.11

9) Bazhin V. Y., Kulchitskiy A. A., Kadrov D. N. Complex control of the state of steel pins in sodberg electrolytic cells by using computer vision systems. *Tsvetnye Metally*. 2018; 3:27-32. doi: 10.17580/tsm.2018.03.04

10) Koptev V. Y., Kopteva A. V. Mining business transportation system structure optimization. 2016. 11:7402-7405.

11) Kuskova Ya. V., Erochina O. O., Simakov A. S. Problematics And Perspects Of The Development Of Automatic Control Systems For Concentration Tables

Using Computer Simulation. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019; 1384:012023. doi: 10.1088/1742-6596/1384/1/01202.

12) Titkov S. N., Mamedov A. I., Solovyev E. N. Processing of potash minerals. M.: Nedra, 1982. 216 p.

13) Pashkevich M. A., Alekseenko A.V. Reutilization prospects of diamond clay tailings at the Lomonosov mine, Northwestern Russia, *Minerals*. 2020; 10(6):517. doi: 10.3390/min10060517.

14) Litvinenko V. S. Digital Economy as a Factor in the Technological Development of the Mineral Sector, *Natural Resources Research*. 2020; 29(3):1521-1541. doi:10.1007/s11053-019-09568-4.

15) Litvinenko V. S., Sergeev I. B. Innovations as a Factor in the Development of the Natural Resources Sector, *Studies on Russian Economic Development*. 2019; 6(30):637-645. doi: 10.1134/S107570071906011X.

16) Trushko O. V., Potemkin D. A., Popov M. G. Ensuring sustainability of mining workings in development of ore deposits in complex geological conditions. 2018; 7(13):2594-2601.

© 2022 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Nikita A. Lipnitsky, Chief Engineer of Projects, LLC "SPb-Giproshacht", (197101, Russia, St. Petersburg, ul. Chapayeva, 15), lipnickii.nikita@mail.ru

Yana V. Ustinova, Associate Professor of the Department of Automation of Technological Processes and Production, St. Petersburg Mining University, (199106, Russia, St. Petersburg, 21 line V.O., 2), yana.kuskova@gmail.com

Contribution of the authors:

Nikita A. Lipnitsky – research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; writing the text, data collection; data analysis; reviewing the relevant literature; drawing the conclusions; writing the text.

Yana V. Ustinova – research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; writing the text, data collection; data analysis; reviewing the relevant literature; drawing the conclusions; writing the text.

All authors have read and approved the final manuscript.