

В.А. Соловьев, В.Н. Аптуков, И.Б. Ваулина

ПОДДЕРЖАНИЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В СОЛЯНЫХ ПОРОДАХ

Приведены результаты комплексного обследования состояния капитальных горных выработок рудников Верхнекамского месторождения калийных солей. Выделены пять видов горных выработок, потерявших устойчивое (функциональное) состояние. Исследовано влияние изрезанности массива на устойчивое состояние горных выработок. Установлено, что наличие близлежащих влияющих выработок повышает скорость вертикальной конвергенции приконтурных пород, из-за чего имеет место значительное деформирование стенок и кровли выработок, сопровождающееся вывалообразованием. Излагаются методы восстановительного ремонта выработок разного назначения. Проведено испытание трубчатых элементов на прессовом оборудовании. Выполнено геомеханическое обоснование эффективности применения анкеров увеличенной длины и трубчатых податливых элементов для восстановительного ремонта горных выработок в соляных породах. Проведено испытание образцов из пенополистирола двух марок на прессовом оборудовании. Выполнено обоснование эффективности использования пенополистирола в качестве податливого слоя бетонной крепи шахтных стволов и их сопряжений с податливыми выработками. Установлено, что пенополистирол может служить практически идеальным материалом для использования в качестве податливого слоя в комбинированной крепи стволов и сопрягающихся с ними выработок, пройденных в соляных породах. Ключевые слова: формы проявления горного давления; устойчивое состояние горных выработок; анкерная, рамная и бетонная крепь; податливые элементы крепи; геомеханические исследования; методы восстановительного ремонта крепи.

Введение

Соляные породы Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС) являются устойчивыми к обрушению, но вместе с тем под действием горного давления обладают интенсивной ползучестью, обуславливающей конвергенцию породного контура выработки. В определенных горно-геологических и горнотехнических условиях величина конвергенции породного контура выработки, вызванной ползучестью соляных пород под действием горного давления, достигает предельных значе-

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 2. С. 344–356.
© 2017. В.А. Соловьев, В.Н. Аптуков, И.Б. Ваулина.

ний, что нередко сопровождается обрушениями и заколами в кровле. В связи с этим горные выработки выходят из устойчивого состояния и не могут продолжать свое функционирование.

Глубина, складчатость, прочностные и деформационные характеристики породного массива, наличие поверхностей ослабления (глинистых прослоев и контакты породных слоев), параметры горных выработок, расположение их в зоне влияния близлежащих выработок влияют на их устойчивость.

Интенсивность расслаивания в значительной степени зависит от стратиграфического строения соляных пород в окрестности выработки. Внезапно могут обрушаться соляные плиты толщиной от нескольких сантиметров до 1,2 м на площади от нескольких до сотен квадратных метров [1].

На небольших глубинах незакрепленные горизонтальные, вертикальные и наклонные выработки и их сопряжения в соляных породах устойчивы.

С переходом на большие глубины разработки проблема обеспечения устойчивости капитальных выработок в калийных и соляных рудниках на весь срок их службы становится чрезвычайно актуальной. Наблюдаются различные формы проявления горного давления и нарушения устойчивости выработок.

Формам проявления горного давления соответствуют следующие виды потери устойчивости пород вокруг выработок: чрезмерные смещения обнаженной поверхности без видимого разрушения пород вследствие их пластических деформаций; разрушение по поверхностям ослабления; вывалообразование под действием собственного веса; трещинообразование и пучение почвы.

Поддержание горных выработок в соляных породах заключается в предотвращении явления ползучести для обеспечения устойчивости выработок на их технологический срок службы.

Поддержание горизонтальных горных выработок

Основным видом крепи горизонтальных горных выработок на ВКМКС является анкерная крепь. Во многих случаях такая крепь является достаточной. Успешно применяются клинораспорные анкеры типа КАС и КРА-16 стандартной длины (до 1,7 м) и винтовые анкеры. Установку клинораспорных анкеров проводят непосредственно в процессе проходки горных выработок с использованием комбайновых бурильных установок. Винтовые анкеры используют в основном для крепления капитальных горных выработок.

Для всех рудников ВКМКС разработаны и введены в производственную практику инструкции, регламентирующие порядок, технологию и параметры анкерного крепления горных выработок [2–5].

Результаты многолетних наблюдений показывают, что применение анкерной крепи позволяет продлить эксплуатационное состояние горных выработок в 1,4–2,0 раза, что в определенных условиях недостаточно для обеспечения необходимого времени поддержания отдельных выработок.

Результаты комплексного обследования состояния капитальных горных выработок в соляных породах на одном из разрабатываемых рудников ВКМКС позволили выделить пять типов выработок, вышедших из устойчивого состояния:

1. Капитальные выработки сечением 9,0 м², пройденные комбайнами типа «Урал-61» и «ПК-8» (главные вентиляционные выработки шириной 3,0–3,2 м) в силвинитовых породах;

2. Капитальные выработки сечением 20,0–25,0 м² (главные конвейерные штреки шириной 5,5–8,0 м), пройденные в подстилающей каменной соли;

3. Капитальные выработки шириной более 8,0 м (междушахтная транспортная сбойка и пр.), пройденные в подстилающей каменной соли;

4. Сопряжения капитальных выработок площадью обнажения более 100 м² (камеры приводов магистральных конвейеров, узлы перегрузки руды с конвейера на конвейер и пр.), пройденные в подстилающей каменной соли;

5. Комплекс большого количества сообщающихся капитальных выработок, (выработки автотранспортного гаража, ремонтного блока гаража и пр.), которые характеризуются значительной изрезанностью массива.

Капитальные выработки шириной до 8,0 м (тип 1 и 2) по истечении 25–30-летнего эксплуатационного периода разрушаются с образованием вывалов породы из кровли в пределах свода естественного равновесия. Наличие анкеров длиной до 1,7 м в кровле не обеспечивает необходимый срок эксплуатационного состояния горных выработок. В качестве мер приведения выработок типа 1–2 в нормативное эксплуатационное состояние, основанных на результатах математического моделирования с использованием метода конечных элементов, принято придать выработке сводообразную форму с удалением ранее установленных анкеров и установить анкера увеличенной длины с подхватами (рис. 1).

Для анализа эффективности применяемого вида крепи были проведены расчеты в вязко-упругопластической постановке с использованием метода конечных элементов в программном комплексе ОАО «Галургия», прошедшего государственную регистрацию [6]. Оценку устойчивости породного контура выработки проводили по двум критериям: оседания земной поверхности; возникновение и развитие во времени и в пространстве областей запредельного деформирования пород [7].

Результаты расчетов свидетельствуют о том, что использование крепи способствует снижению размеров зон запредельного деформирования пород, развивающихся в кровле выработки в течение срока ее эксплуатации, уменьшению зон концентрации напряжений в кровле и стенках выработки и величины вертикальной конвергенции.

Таким образом, предлагаемый к применению вид крепи с использованием составных КРА-16 или канатных анкеров типа КАГ-20 увеличенной длины (3,0 м) с подхватами типа ПАГ.001 или ПАГ.001-01 («штрипсами») обеспечивает устойчивое состояние выработки на более длительный срок по сравнению со стандартным анкерным креплением.

Капитальные выработки шириной более 8,0 м (тип 3), а также сопряжения капитальных выработок площадью обнажения более 100 м² (тип 4) после истечения проектного многолетнего срока службы разрушаются с вывалобразованием в пределах свода естественного равновесия. Применение анкеров увеличенной длины не дает положительного результата. Существующая рамная крепь без деформационного зазора между бал-

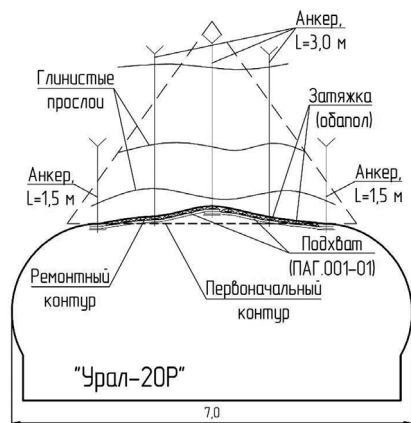


Рис. 1. Схема восстановительного ремонта выработки сечением 20,0–25,0 м²

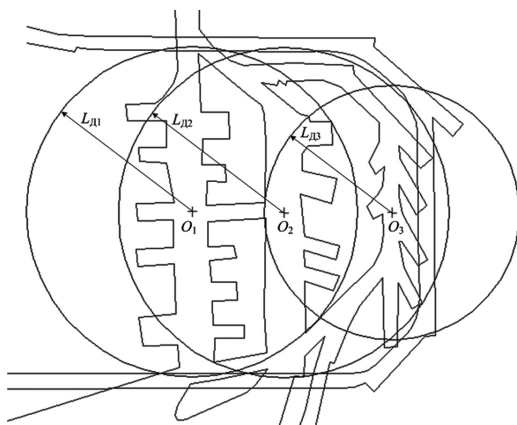


Рис. 2. Схема расположения выработок ремонтного блока подземного гаража с отмеченными радиусами их влияния ($L_{Д}$) на близлежащие выработки (к расчету коэффициента изрезанности массива)

ками перекрытия рамной крепи и непосредственной кровлей выработки также не обеспечивает ее устойчивого состояния на технологический срок службы. Практика применения рамной крепи свидетельствует о том, что в классическом исполнении с плотной забутовкой закрепного пространства жесткими кострами из дерева рамная крепь обеспечивает продление устойчивого состояния выработки на срок до 5–7 лет.

В связи с ползучестью соляных пород рамная крепь не выдерживает удельную нагрузку, которая может достигать 6–7 МПа (600–700 т/м²).

Комплекс большого количества сообщающихся капитальных выработок (тип 5) характеризуется значительной изрезанностью массива (рис. 2). Определенный по методике [8] коэффициент изрезанности массива для одной из выработок ремонтного блока гаража $K_{изр} = 3,54$ равносителен увеличению глубины расположения одиночной выработки с 395 до 474 м (на 20%). В этом случае скорость вертикальной конвергенции приконтурных пород увеличивается в два раза по сравнению со скоростью смещений одиночной незакрепленной выработки.

Из-за повышенной скорости вертикальной конвергенции контура выработок происходит деформирование стенок выработок, сопровождающееся вывалообразованием, причем кровля выработок сохраняет целостность. В описанных выше условиях существующая рамная крепь также не способна выполнить свои функции.

Таким образом, необходим новый подход к охране горных выработок, так как дальнейшее усиление крепи (ребра жесткости, дополнительные стойки и пр.) не дает необходимого результата.

С развитием конвергенции во времени нагрузка, передаваемая от кровли через костры и затяжку на металлическую крепь, значительно возрастает, что приводит к потере несущей способности поперечных и продольных балок крепи, то для выработок типов 3–5 с металлической рамной крепью основные принципы проектирования крепи должны строиться на крепи с использованием податливых элементов.

Для обеспечения передачи дозированной нагрузки на металлическую рамную крепь в качестве податливых элементов для горизонтальных горных выработок принято использовать отрезки металлических труб со специально подобранными размерами (толщиной стенки, диаметром и длиной) или стойки трения у металлической рамной крепи (рис. 3) [9].

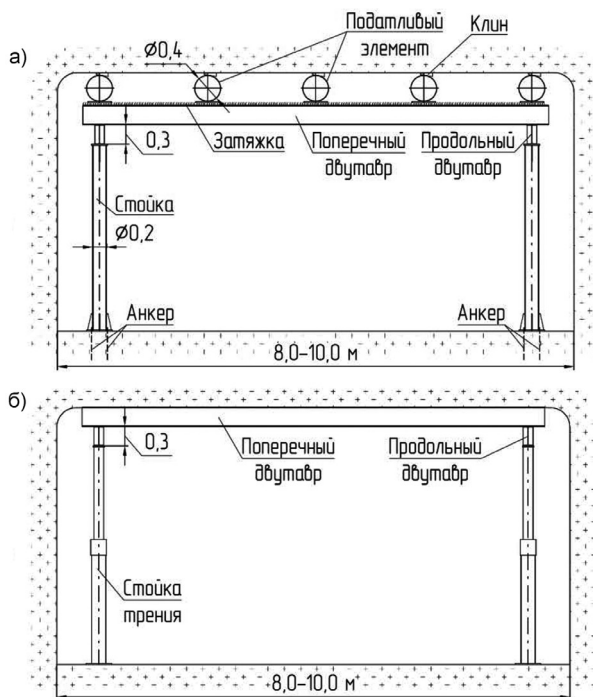


Рис. 3. Конструктивная схема рамной металлической крепи: с использованием трубчатых элементов (а); с использованием стоек трения (б)

Суммарно податливые элементы и металлическая крепь должны удовлетворять двум условиям:

- в случае образования свода обрушения и вывалов породы основная металлоконструкция должна выдержать вес этих пород;
- при медленно нарастающей конвергенции породного контура нагрузка, передаваемая через податливые элементы на основную крепь, не должна превышать допустимую нагрузку (с заданным коэффициентом запаса) для основной крепи.

Для достаточности использования труб в качестве податливых элементов и определения их размеров был проведен эксперимент по боковому сжатию (смятию) отрезка сварной стальной трубы двух типоразмеров на универсальной испытательной машине Zwick/Roell Z-250 [10].

В результате проведения эксперимента установлено, что диаметр цилиндрического податливого элемента в виде отрезка трубы должен в 1,5–2,0 раза превышать ожидаемую дополнительную конвергенцию закрепляемой выработки. В этом случае величина усилия от конвергенции кровли, передаваемая через податливые элементы на рамную металлическую крепь, не будет превышать расчетное усилие перехода податливого элемента в область пластического деформирования.

На рис. 4 показаны зависимости «сила – перемещение» для сегментов труб толщиной стенки 3,65 мм, длиной 80,4 мм и различным диаметром.

Испытания показали, что при деформации трубы до половины ее внешнего диаметра усилие сжатия возрастает по сравнению с усилием перехода в пластическое состояние $P_{пр}$ в 1,4 раза, а при сжатии до 2/3 диаметра – в 1,85 раза.

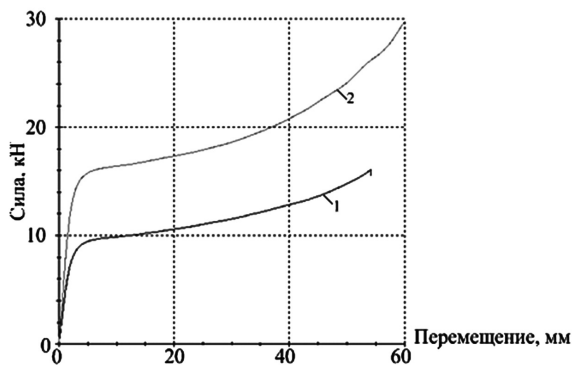


Рис. 4. Диаграмма «сила – перемещение» для двух отрезков труб при сжатии: 1 – диаметр трубы $d = 89,6$ мм; 2 – $d = 129,6$ мм

Таким образом, если конвергенция в течение заданного срока составляет 20 см, то диаметр податливого элемента должен быть не менее 30–40 см.

Предельное усилие перехода податливого элемента в пластическую область деформирования вычисляется по формуле [11]

$$P_{\text{пр}} = 2,76 \frac{b_{\text{ц}} h_{\text{ц}}^2 [\sigma_{\text{ц}}]}{D_{\text{н}}}, \quad (1)$$

где $D_{\text{н}}$, $h_{\text{ц}}$, $b_{\text{ц}}$ – диаметр (наружный), толщина стенки и длина отрезка трубы; $[\sigma_{\text{ц}}]$ – предел текучести материала трубы.

Максимальное усилие, передаваемое податливым элементом на металлическую крепь, не должно превысить величину $P_{\text{max}} \leq (1,5-2,0) P_{\text{пр}}$.

В качестве типового податливого элемента рамной крепи для основных типов сечений горных выработок предлагается использовать трубу стальную электросварную прямошовную диаметром $D_{\text{нц}} = 406,4$ мм, толщиной стенки $h_{\text{ц}} = 6$ мм, длиной $b_{\text{ц}} = 200$ мм, изготовленную из Ст2пс или Ст2сп с пределом текучести $[\sigma_{\text{ц}}] = 225$ МПа.

В этом случае, из формулы (1) получаем усилие перехода сегмента трубы в пластическое состояние $P_{\text{пр}} = 1100$ кг. При смятии трубы на величину 50% диаметра (20 см) усилие увеличивается в 1,5–2,0 раза и достигает 2200 кг, что является вполне приемлемым.

Поддержание шахтных стволов и их сопряжений с подходными выработками и дозаторными камерами

Постоянная крепь шахтных стволов в соляных породах выполняется обычно из монолитного бетона; бетона и кирпича; из чугунных тубингов с заполнением затубингового пространства бетоном или раствором [12].

Чисто бетонные крепи являются достаточно жесткими, но имеют недостаточную несущую способность, чтобы противостоять деформациям ползучести соляного массива с течением времени. Если крепь сопрягающихся выработок из монолитного бетона представляет собой одно целое с крепью ствола, то, как правило, в месте сопряжения крепь разрушается. Трещины из горизонтальной выработки переходят в ствол.

Одним из способов создания крепи, способной противостоять горному давлению, является применение метода разгрузки породного массива в виде создания податливого слоя из пенобетонных блоков. В результате шахтных наблюдений уста-

новлено, что применение податливого слоя из пенобетона для охраны сопряжений шахтных стволов с подходными выработками и дозаторными камерами неэффективно. Пенобетон, находящийся в объемном напряженном состоянии, не выполняет возлагаемую на него функцию сжимаемости. В связи с относительно высокой прочностью он сохраняет свою структуру при нарастании горного давления, не разрушается и не предохраняет крепь от разрушения.

Авторами рассмотрен альтернативный материал для создания податливого слоя – пенополистирол марок «ПЕНОПЛЭКС-35» и «ПЕНОПЛЭКС-КРОВЛЯ» [9].

На универсальной испытательной машине Zwick Z-250 проведены испытания на сжатие образцов пенополистирола в виде пластин размерами 100×100 мм из плиты толщиной 100 мм.

На рис. 5 показаны экспериментальные кривые «напряжение–деформация» для одной пластины пенополистирола марок «ПЕНОПЛЭКС-35» и «ПЕНОПЛЭКС-КРОВЛЯ», полученных для двух постоянных скоростей перемещения траверсы ($V_1 = 1$ мм/мин и $V_2 = 10$ мм/мин).

В результате испытаний и последующей обработки результатов установлено, что:

- пенополистирол хорошо уплотняется до уровня деформаций 90–95%;
- до уровня деформаций 50–60% сопротивляемость пенополистирола уплотнению составляет 0,25–0,30 МПа, что 5–7 раз

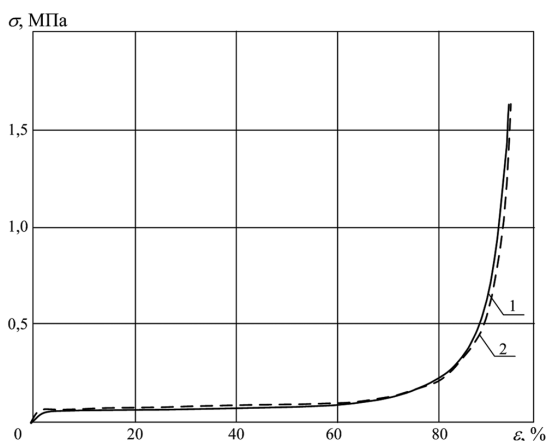


Рис. 5. Графики зависимости «напряжение–деформация» для пенополистирола марки «ПЕНОПЛЭКС-35»(1) и «ПЕНОПЛЭКС-КРОВЛЯ» (2)

меньше несущей способности крепи сопряжения, и вместе с тем оказывает достаточное воздействие на породный массив (величина воздействия в 5–6 раз превышает несущую способность анкерной крепи); Дальнейшее уплотнение ведет к повышению сопротивления до 0,8–0,9 МПа (80%), 2,0–2,5 МПа (90%), 6,0–7,0 МПа (95%).

В результате выполненных исследований установлено, что пенополистирол марки «ПЕНОПЛЭКС-КРОВЛЯ» является аналогом «ПЕНОПЛЭКС-35». Рассмотренные марки пенополистирола за счет высокой начальной пористости и пластического (нехрупкого) поведения могут служить практически идеальным материалом для использования в качестве податливого слоя в бетонной крепи стволов и выработок, пройденных в соляных породах.

В результате исследования состояния породного массива и крепи дозаторной камеры с использованием метода конечных элементов в программном комплексе ANSYS в плоской и объемной постановках установлено, что:

- наиболее опасной областью являются боковые стенки камеры в средней части дозаторной камеры;
- для обеспечения безопасной эксплуатации шахтных стволов и их сопряжений с примыкающими выработками целесообразно использовать круговой податливый (защитный) слой толщиной 0,4–0,5 м, обеспечивающий 40–50-летний период защиты монолитной бетонной крепи стволов от разрушения.

Данный метод реализован при строительстве двух шахтных стволов Усть-Яйвинского рудника, двух шахтных стволов Усольского рудника ВКМКС и проектах строительства двух шахтных стволов Половодовского участка и ствола № 4 рудника СКРУ-3 ПАО «Уралкалий».

Выводы

Результаты обследования состояния горных выработок Верхнекамских калийных рудников, математическое моделирование напряженно-деформированного состояния выработок под действием горного давления, экспериментальное исследование поведения трубчатых элементов и образцов из пенополистирола под нагрузкой и практика применения деформационных (податливых) элементов крепи в соляных породах показывают, что приведение в устойчивое состояние аварийных выработок на технологический эксплуатационный срок возможно с помощью следующих видов крепи:

- анкеров увеличенной длины (3,0 м), в том числе с подхватами, в горизонтальных выработках шириной до 8,0 м, располагаемых в сильвинитовых породах и подстилающей каменной соли;

- рамной крепи со стойками трения или с трубчатыми металлическими податливыми элементами в горизонтальных выработках шириной более 8,0 м, располагаемых в подстилающей каменной соли, а также на их сопряжениях;

- комбинированной крепи, содержащей бетонный слой и слой из податливого материала пенополистирола (находящегося между бетоном и соляной породой) в шахтных стволах и их сопряжениях с подходными выработками.

Результаты исследований и новые технические решения по ремонту выработок для обеспечения устойчивости на весь технологический срок их службы приняты для практического использования в паспортах и проектах ремонта горных выработок и частично реализованы в производственной практике калийных рудников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Проскуряков Н. М., Пермяков Р. С., Черников А. К.* Физико-механические свойства соляных пород. — Л.: Недра, 1973. — 270 с.

2. *Константинова С. А., Соловьев В. А., Чернопазов Д. С. и др.* Технологический регламент по охране и креплению горных выработок на рудниках ОАО «Уралкалий». — Пермь-Березники, 2012. — 169 с.

3. *Инструкция* по применению анкерной крепи на руднике Талицкого ГОКа. ОАО «Галургия»; рук. С. А. Константинова. — Пермь, 2010. — 47 с.

4. *Инструкция* по применению анкерной крепи и управления кровлей в горных выработках Палашерского и Балахонцевского участков Верхнекамского месторождения калийных солей. ОАО «Галургия»; рук. С. А. Константинова. — Пермь, 2010. — 50 с.

5. *Методики* расчета времени весьма устойчивого состояния горных выработок в условиях строящегося рудника Усольского калийного комбината: временная инструкция. ОАО «Галургия»; рук. С. А. Константинова. — Пермь, 2009. — 50 с.

6. *Гилев М. В., Константинова С. А., Чернопазов С. А., Чернопазов Д. С.* Авторское свидетельство 2011610648 Программа для решения плоских задач упруговязкопластичности методом конечных элементов (Earth — 2D.1); правообладатель ОАО «Галургия». — Заявка № 2010616586 заявл. 27.10.2010; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 11.01.11.

7. *Ваулина И. Б., Константинова С. А., Чернопазов Д. С.* Ретроспективная и перспективная оценка геодинамической безопасности недр и земной поверхности при эксплуатации пластового калийного месторождения // Вестник нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. — 2011. — № 4. Ч. 5. — С. 2591—2594.

8. *Боликов В. Е., Константинова С. А.* Прогноз и обеспечение устойчивости капитальных горных выработок. — Екатеринбург: УрО РАН, 2003. — 374 с.

9. *Соловьев В. А., Константинова С. А., Антуков В. Н.* Охрана горных выработок в соляных породах. — Palmarium Academic Publishing, Saarbrücken (Германия), 2013. — 412 с.

10. *Соловьев В. А., Антуков В. Н.* Новые способы поддержания горных выработок и их сопряжений в соляных породах // Горный журнал. — 2012. — № 8. — С. 127–129.

11. Прочность, устойчивость, колебания. Т. 1 / Под ред. И. А. Биргера, Я. Г. Пановко. — М.: Машиностроение, 1968.

12. *Ольховиков Ю. П.* Крезь капитальных выработок калийных и соляных рудников. — М.: Недра, 1984. — 238 с. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Соловьев Вячеслав Алексеевич^{1,2} — доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник,

Антуков Валерий Нагимович^{1,2} — доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник,

*Ваулина Инна Борисовна*¹ — научный сотрудник,

e-mail: Vaulina.Inna@gallurgy.ru,

¹ ОАО Уральский научно-исследовательский и проектный институт галургии (ОАО «Галургия»),

² Пермский национальный исследовательский политехнический университет.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 2, pp. 344–356.

UDC 622.28

V.A. Solov'ev, V.N. Aptukov, I.B. Vaulina
SUPPORT OF MINING WORKINGS
IN SALIFEROUS ROCKS

The paper provides the results of complex survey on permanent workings condition of the mines of Verkhnekamskoye potash salt deposit. Five types of mining workings are specified which have lost stable (functional) condition. Influence of massif angularity on stable condition of mining workings has been studied. It has been established that adjacent affecting workings increase velocity of vertical convergence of border rocks, which results in considerable deformation of the workings walls and roof accompanied by rock falls. Renovation methods of the workings of different purpose are specified. Together with traditional expansion anchors type KAC length up to 1.7 m the base of renovation methods of permanent workings of Verkhnekamskoye potash salt deposit is a use of constituent anchors type KPA-16 increased length (up to 7.0 m) with crown trees, as well as frame lining with adjustable tube metal elements and/or friction props. Testing of tube elements has been performed on press equipment. Geomechanical feasibility of efficiency of the increased length anchors and tube adjustable elements for renovation of mining workings in saliferous rocks has been carried out. The base of renovation methods of mine shafts and their junctions with approach workings is a use of adjustable expanded polystyrene layer. Testing of expanded polystyrene samples of two brands has been performed on press equipment. Feasibility of efficiency of expanded polystyrene as adjustable layer of concrete lining of mine shafts and their junctions with ap-

proach workings has been carried out. It has been established that expanded polystyrene can be used as practically perfect material for adjustable layer in combined support of shafts and adjacent workings driven in saliferous rocks.

Key words: forms of appearance of ground pressure; stable condition of mining workings; anchor, frame and concrete lining; adjustable lining elements; geomechanical survey; lining renovation methods.

AUTHORS

Solov'ev V.A.^{1,2}, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher,

Aptukov V.N.^{1,2}, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher,

*Vaulina I.B.*¹, Researcher, e-mail: Vaulina.Inna@gallurgy.ru,

¹ Open Joint Stock Company Ural Research and Development Institute of Halurgy (Galurgia OJSC), 614000, Perm, Russia,

² Perm National Research Polytechnic University, 614990, Perm, Russia.

REFERENCES

1. Proskuryakov N.M., Permyakov R.S., Chernikov A.K. *Fiziko-mekhanicheskie svoystva solyanykh porod* (Physical and mechanical properties of saliferous rocks), Lenin-grad, Nedra, 1973, 270 p.

2. *Konstantinova S.A., Solov'ev V.A., Chernopazov D.S.* Tekhnologicheskii reglament po okhrane i krepneniyu gornykh vyrabotok na rudnikakh OAO «Uralkaliy» (Process regulation on protection and support of mining workings in the mines of Uralkali OJSC), Perm'-Berezniki, 2012, 169 p.

3. *Instruktsiya po primeneniyu ankernoy krepki na rudnike Talitskogo GOKa* (User manual on anchor support in the mine of Talitskiy ore dressing factory, Galurgia OJSC), Perm, OAO «Galurgiya», 2010, 47 p.

4. *Instruktsiya po primeneniyu ankernoy krepki i upravleniya krovley v gornykh vyrabotkakh Palasherskogo i Balakhontsevskogo uchastkov Verkhnekamskogo mestorozhdeniya kaliynykh soley* (User manual on anchor support and roof control in mining workings of Palasherskiy and Balakhontsevskiy sites of Verkhnekamskoye potash salt deposit), Perm, OAO «Galurgiya», 2010, 50 p.

5. *Metodiki rascheta vremeni ves'ma ustoychivogo sostoyaniya gornykh vyrabotok v usloviyakh stroyashchegosya rudnika Usol'skogo kaliynogo kombinata: vremennaya instruktsiya* (Methods of time estimate of enough stable condition of mining workings in conditions of building mine of Usol'skiy potash plant, temporary instruction), Perm, OAO «Galurgiya», 2009, 50 p.

6. Gilev M.V., Konstantinova S.A., Chernopazov S.A., Chernopazov D.S. *Copyright certificate no 2011610648*. Programma dlya resheniya ploskikh zadach uprugovyzkoplastichnosti metodom konechnykh elementov (Earth 2D.1), 27.10.2010.

7. Vaulina I.B., Konstantinova S.A., Chernopazov D.S. *Vestnik nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo*. 2011, no 4, part 5, pp. 2591–2594.

8. Bolikov V.E., Konstantinova S.A. *Prognoz i obespechenie ustoychivosti kapital'nykh gornykh vyrabotok* (Forecast and assurance of stability of permanent mining workings), Ekaterinburg, UrO RAN, 2003, 374 p.

9. Solov'ev V.A., Konstantinova S.A., Aptukov V.N. *Okhrana gornykh vyrabotok v solyanykh porodakh* (Protection of mining workings in saliferous rocks), Palmarium Academic Publishing, Saarbruen (Germany), 2013, 412 p.

10. Solov'ev V.A., Aptukov V.N. *Gornyy zhurnal*. 2012, no 8, pp. 127–129.

11. *Prochnost', ustoychivost', kolebaniya*. T. 1. Pod red. I.A. Birgera, Ya.G. Panovko (Strength, stability, swings, vol. 1. Birger I.A., Panovko Ya.G. (Eds.)), Moscow, Mashinostroenie, 1968.

12. Ol'khovikov Yu.P. *Krep' kapital'nykh vyrabotok kaliynykh i solyanykh rudnikov* (Support of permanent workings in potash and salt mines), Moscow, Nedra, 1984, 238 p.