

ПРОБЛЕМЫ ПОДДЕРЖАНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК СТАРОБИНСКОГО КАЛИЙНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ В ОСОБО НЕУСТОЙЧИВЫХ ПОРОДАХ НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ

Ерохин К.А.^{1,2}, Мисников В.А.²

¹Филиал Белорусского национального технического университета

²Унитарное предприятие «Институт горного дела»,
г. Солигорск

Рассматриваются проблемы поддержания подготовительных выработок в условиях особо неустойчивых пород кровли Старобинского калийного месторождения при расположении их на больших глубинах. Выполнен анализ опыта поддержания выработок и результатов проведенных исследований. Отмечены особенности, которые необходимо учитывать для решения проблем поддержания выработок.

С переходом горных работ на рудниках ОАО «Беларуськалий» на большие, свыше 800 м глубины разработки, становится актуальным вопрос поддержания подготовительных горных выработок. Особенно остро вопрос обеспечения устойчивости этих выработок стоит при отработке 4 сильвинитового слоя на Третьем калийном пласте Старобинского калийного месторождения. Причиной этого является низкая (11-17 МПа) агрегатная прочность [1 - 4] пород кровли $\sigma_{сж}$, которая на больших глубинах $H \geq 750$ м приводит к возрастанию удельной нагрузки $\gamma H / \sigma_{сж}$ (где γ – объемный вес вышележащих пород, $\gamma = 0,021 \text{ МН/м}^3$) свыше предела длительной прочности $\sigma_{дл.сж} = 0,7 \cdot \sigma_{сж}$. При этом уровне нагрузки процесс деформирования приконтурных соляных пород переходит в стадию прогрессирующей ползучести с разрыхлением, разуплотнением [2]. Аналогичная картина наблюдается и на угольных месторождениях, обрабатываемых на глубинах более 1000 м [5, 6].

Поддержание подготовительных выработок Солигорских калийных рудников в «стандартных» условиях включает [1]:

- рациональную привязку кровли выработок к геологическому разрезу пласта и расположение их относительно друг друга;
- регулирование напряженного состояния вмещающих пород с помощью разгружающих выработок и компенсационных полостей (щелей, штроб);

- крепление горных выработок анкерной крепью с применением двух схем взаимодействия ее с породным массивом – это сшивка породных слоев винтовыми металлическими анкерами и подвешивание породных пачек за пределами свода возможного разрушения анкерами замкового типа (с клинораспорным замком), несущая способность тех и других составляет около 100 кН, длина анкеров не превышает 1,8 м.

На месторождении применяется классификация пород кровли выработок, в основе которой лежат параметры строения (мощности слоев, содержание глинистых и слабых прослоек) и прочностных свойств пород в двухметровой пачке [1]. В данной классификации наименее устойчивые породы относятся к I типу, который характеризуется средней мощностью прочных слоев до 12 см; содержанием слабых прослоек (глина, карналлит, соляные прослойки) ≥ 30 % и агрегатной прочностью $\sigma_{сж} = 20,6$ МПа. При этом для поддержания протяженных участков выработок шириной 3-3,8 м вполне достаточным является применение в кровле и боках компенсационных щелей, а для узлов сопряжений, камер разворота – дополнительное анкерование кровли на высоту до 1,8 м по сетке 1×1 м.

Однако описанные способы поддержания горных выработок теряют свою эффективность при их применении в условиях, когда в их кровле содержание глины превышает 40 %. Так например, при заложении выработок в пределах 4 сильвинитового слоя на глубинах более 800 м в восточной части шахтного поля гор.-670 м рудника 4 РУ (выемочный столб лавы № 10в) содержание глинистых прослоек в двухметровой пачке кровли достигает 40 %, а с учетом слабых соляных прослоек – 70 %. С удалением от контура на высоту от 2 м до 6 м содержание глинистых прослоек возрастает от 50 до 72 %, а слабых прослоек – до 85 %. При таком строении кровли агрегатная прочность пород в интервале от 0 до 2 м от контура составляет 17 МПа, а в интервале от 0 до 6 м снижается до 11-15 МПа. Очевидно, что в подобных условиях эксплуатации, особенно в случаях увеличения пролета подготовительных выработок, попадания их в зону влияния соседних выработок либо опорного давления лавы, в процесс расслоения могут вовлекаться и более слабые породы кровли, залегающие существенно выше двухметровой толщи, тем самым увеличивая размер свода возможных обрушений, что необходимо учитывать при разработке рациональных способов поддержания.

В настоящее время для расчета веса воздействующих на контур выработки пород кровли широкое применение находит гипотеза сводообразования проф. М.М. Протодьяконова, которая подходит для широкого диапазона пород – от слабых до скальных. В качестве объединяющей их характеристики в этой гипотезе принят коэффициент крепости f , являющийся кажущимся коэффициентом трения, то есть тангенсом угла внутреннего трения, определенного с учетом сцепления C между частицами грунта. Кажущийся коэффициент трения равен отношению касательного τ и нормального σ напряжений на контакте между частицами грунта в момент предельного равновесия, то есть

$$f = \tau/\sigma = (\sigma \cdot \operatorname{tg}(\varphi) + C)/\sigma \approx \operatorname{tg}(\varphi). \quad (1)$$

С учетом (1) высота сводообразования $h_{\text{св}}$ над выработкой шириной b по Протодьяконову составит:

$$h_{\text{св}} = b/2 \cdot f \approx 2\operatorname{tg}(\varphi). \quad (2)$$

Известно [8], что для глинисто-соляных и соляных (сильвинит, галит) пород угол φ изменяется в пределах $20-34^\circ$, причем меньшие значения φ характерны для пород с большим содержанием глины. С учетом этого высота сводообразования над выработкой пролетом 3 м в зависимости от содержания глины в породах кровли может изменяться от 2,2 до 4,1 м.

Как показали многочисленные исследования [1, 2, 8], для выработок Солигорских калийных рудников форма свода расслоения в первом приближении может быть принята в виде треугольника с углом в основании α . По данным А.А. Борисова, угол α равен 64° . По данным Н.Г. Лукьянова он равен 55° . Ориентировочно он может быть определен по формуле [8]:

$$\alpha = \pi/4 + \varphi/2, \quad (3)$$

где φ – угол внутреннего трения в массиве; число π – в градусах.

С учетом вышесказанного, определяя высоту свода расслоения $h_{\text{св}}$ по формуле (4):

$$h_{\text{св}} = b/2 \cdot 2\operatorname{tg}(\alpha), \quad (4)$$

получим, что для глинисто-соляных пород кровли выработки шириной $b = 3$ м высота свода $h_{св}$ составит 2,8 м, а для соляных пород – 2,1 м. Необходимо отметить, что данные характеристики свода расслоения в Солигорских калийных рудниках характерны лишь для экстремальных случаев, когда за счет интенсивного горного давления (глубины свыше 800 м, влияния опорного давления лав, заложения выработок в слабых породах) сводчатая часть выработок радиусом 1,5 м (так называемые «козырьки») разрушается. В традиционных случаях (при содержании в породах кровли слабых прослоек до 30 %) разрушение сводчатых частей неохраняемых выработок происходит с течением времени, близким к сроку их эксплуатации, в связи с чем высота свода расслоения определяется не от ширины выработок b , а от их эквивалентного пролета $b_{экв}$ [1]. С учетом того, что в формуле (4) вместо b используется $b_{экв}$, для выработки пролетом 3 м и имеющую арочную форму, высота свода расслоения $h_{св}$ составит 1,4 м. Очевидно, что для выбора мер охраны и крепления выработок в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях заложения требуется корректировка методики определения $b_{экв}$. Исследовательские работы в этом направлении ведутся, а первые их результаты позволили внести в новую редакцию Инструкции [1] дополнение, учитывающее применяемые меры охраны: при нарезке в боках или в кровле выработок компенсационных щелей эквивалентный пролет рекомендуется увеличивать соответственно на суммарную глубину щелей в боках или на ширину щели до 0,3 м в кровле.

Предварительный анализ исследований, проводимых в условиях неустойчивых пород на глубинах более 750 м с помощью станций контурных и глубинных реперов, а также эндоскопических обследований скважин показал, что на протяженных участках выработок, на узлах их сопряжений и расширениях фактический свод расслоения превышает рассчитанный по формуле (4) с учетом $b_{экв}$ уже спустя 1-2 месяца после их проходки. Рост высоты свода возможного обрушения сопровождается повышенными деформациями контура выработок.

На рисунке 1 представлен план горных выработок выемочного столба лавы № 10в рудника 4 РУ с изолиниями скорости ползучести кровли Впк. Этот показатель является аналогом скорости смещения, линеализированной за счет аппроксимации временных интервалов степенной функцией $(1-\alpha)$ при $\alpha = 0,7$ [2 – 4].

Для одиночных выработок с пролетом $b = 3$ м, заложенных в породах I типа, в этих условиях $V_{\text{пк}}$ равен $0,1 \text{ мм/с}^{0,3}$. Для конвейерного штрека пролетом $3,8$ м охраняемого щелями в боках и находящегося под защитой транспортного штрека $V_{\text{пк}}$ достигает значения $0,35 \text{ мм/с}^{0,3}$, для транспортного штрека пролетом 3 м и охраняемого щелями в боках и кровле – $V_{\text{пк}} = 0,6 \text{ мм/с}^{0,3}$. В районе камеры разворота значение параметра $V_{\text{пк}}$ достигает $1,1 \text{ мм/с}^{0,3}$. Отмечено, что скорости ползучести кровли возрастают на участках выработок с большим пролетом $b = 5-12$ м и с увеличением степени влияния соседних выработок и обнажений.

Анализ данных смещений контура и поинтервальных смещений (расслаиваемости) пород кровли по глубинным реперным станциям показал, что на линейных (протяженных) участках штреков большая часть деформаций (в среднем – 63%) происходит на интервале $2,3-4,3$ м, а на интервале от 0 до $1,3$ м, закрепленном винтовыми анкерами, доля всех расслоений составляет 16% . На участках расширений – в камерах разворота самоходного транспорта и на узлах сопряжений до 17% всех расслоений приходится на интервал от 0 до $2,3$ м; $17-44\%$ – на интервал от $2,3$ до $4,3$ м; $11-41\%$ – на интервал от $4,3$ до 6 м.

На участках с максимальными смещениями пород кровли (СГР № 5 на рисунке 1) наблюдаются расслоения пород кровли на удалении свыше 6 м от контура. Как видно из рисунка 2, доля этих смещений может составлять $28-53\%$ от всех смещений кровли.

Установлено, что величина смещений кровли этих участков на высоте свыше 6 м от контура за период наблюдений (с 1 по 9 месяц после проходки выработок) составляет от 14 до 34 мм. Необходимо отметить, что наличие расслоений пород кровли на такой высоте зафиксировано впервые.

Заложение выработок в слабоустойчивых породах на больших глубинах требует учета, по меньшей мере, еще двух особенностей.

Во-первых, на больших глубинах возрастает доля горизонтальных напряжений в общей структуре действующих напряжений. Распределение напряжений в нетронутым породном массиве приближается к гидростатическому [2, 10]. При этом в выработках, заложенных в массиве мелкослоистых соляных пород (за счет расслоения и отделения от массива ближних к контуру слоев), интенсивность и доля вертикальных деформаций породного контура (конвергенции) также могут существенно возрастать, превышая прогнозируемые величины в несколько раз.

Этот процесс сопровождается вовлечением в расслоение пород, залегающих в своде возможного обрушения на высоте, существенно превышающей конструктивные размеры применяемых видов анкерной крепи [1, 9] и вызывая проблемы с обеспечением устойчивости пород кровли.

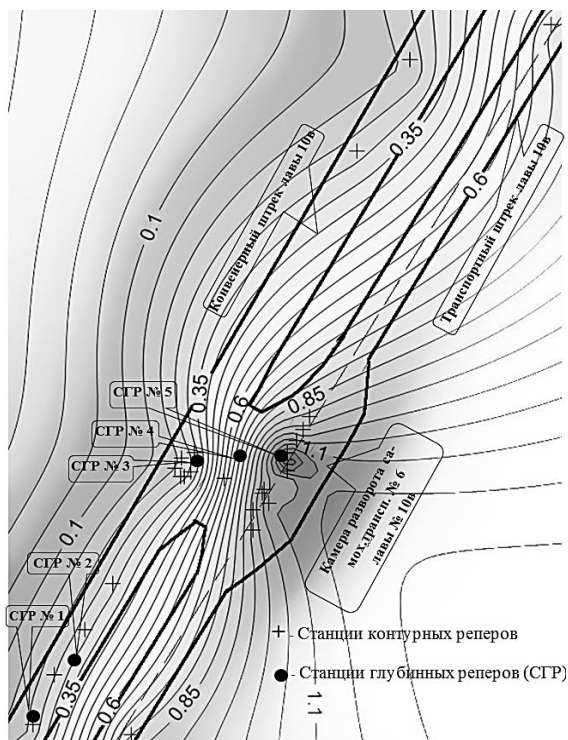


Рис. 1 – План горных выработок столба лавы № 10в с изолиниями скорости ползучести кровли $V_{пк}$ ($\text{мм/с}^{0.3}$) и станциями контурных, глубинных реперов)

Во-вторых, на больших глубинах разработки чаще проявляются эффекты зональной дезинтеграции горных пород вокруг выработок. Данные явления обнаруживаются вокруг подземных выработок на многих месторождениях при достижении глубин 800-1000 м и коэффициенте концентрации напряжений 1,2 – 2,5 [11].

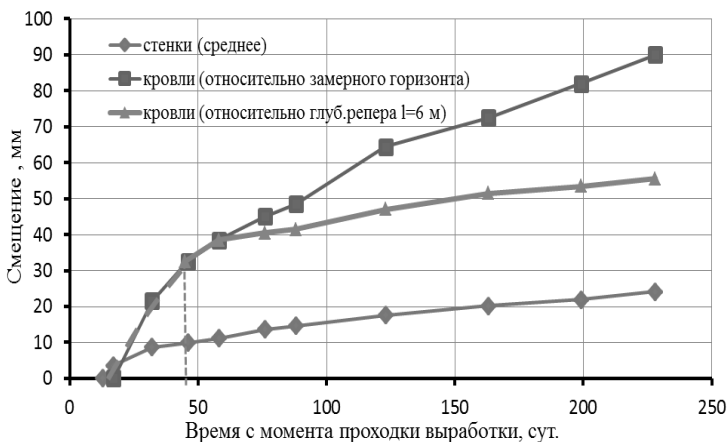


Рис. 2 – Характер смещения во времени контурного и глубинного (СГР № 5, $l = 6$ м) реперов в камере разворота № 6 лавы 10в

Основным элементом наблюдаемой структуры является система концентрических трещин, параллельных контуру выработки. Характер разрушения пород вокруг выработок происходит с формированием чередующихся областей раздробленных и ненарушенных пород. Ближайший к контуру слой относительно ненарушенных пород может выдавливаться в выработку, формируя заколы. За счет этих эффектов размеры зоны возможного разрушения пород вокруг выработок могут существенно возрастать. Как показали исследования [11], размеры слоев, образовавшиеся при зональной дезинтеграции, практически исключают применение анкерной крепи, работающей по принципу «подвески» сравнительно слабых слоев к более крепкому слою, а обеспечение устойчивости выработки может быть достигнуто путем формирования, с помощью анкерной крепи укрепленного несущего слоя определенной мощности.

Выше описанные особенности деформирования выработок в сложных условиях их заложения показали, что характер проявления горного давления требует дополнительного изучения. Очевидно, что для безопасного поддержания подготовительных выработок необходимо продолжение исследований в отмеченных направлениях, на основании которых может быть осу-

ществлен пересмотр методик прогноза и расчета параметров проявлений горного давления на больших глубинах, поиск новых подходов к охране и креплению горных выработок.

Для решения выше описанных проблем потребуется: дополнить типизацию пород кровли выработок с учетом высокого содержания слабых прослоек и больших глубин ведения работ; разработать альтернативные применяемым комбинации способов охраны и поддержания подготовительных выработок с возможным применением дополнительного крепления второго уровня, металлической рамной или рамно-анкерной крепи.

Библиографический список

1 Инструкция по охране и креплению горных выработок на Старобинском месторождении / ОАО «Беларуськалий», Унитарное предприятие «Институт горного дела». – Солигорск, 2018. – 196 с.

2 Мисников, В.А. О формах и особенностях проявления горного давления в окрестности незакрепленных одиночных выработок Солигорских калийных рудников // Совершенствование разработки калийных месторождений. – Пермь, 1987. – С. 48-54.

3 Тараканов, В.А. Поддержание горных выработок при разработке Старобинского месторождения на больших глубинах / В.А. Тараканов, И.И. Головатый, А.Л. Поляков // Горный журнал, 2010. – № 8. – С. 36-38.

4 Патиюк, С.И. Поддержание капитальных и подготовительных выработок на глубоких горизонтах при отработке Старобинского месторождения / С.И. Патиюк, Ю.Б. Петровский, В.Я. Прушак // Горный журнал, 2018. – № 8. – С. 70-75.

5 Заславский, Ю.З. Исследования проявлений горного давления в капитальных выработках глубоких шахт Донецкого бассейна. – М.: Недра, 1966. – 180 с.

6 Заславский, Ю.З. Расчеты параметров крепи выработок глубоких шахт / Ю.З. Заславский, А.Н. Зорин, И.Л. Черняк // К.: «Техніка», 1972. – 156 с.

7 Подлесный, И.А. Технология слоевой выемки при разработке пласта Третьего калийного горизонта Старобинского месторождения / И.А. Подлесный, В.Н. Гетманов, Б.И. Петровский, И.Е. Носуля // Горный журнал, 2018. – № 8. – С. 59-63.

8 Проскураков, Н.М. Физико-механические свойства соляных пород / Н.М. Проскураков, Р.С. Пермяков, А.К. Черников // Л.: Недра. – 1973 г. – 272 с.

9 Прушак, В.Я. Методика определения длины и податливости анкера в зависимости от высоты расслоения пород кровли и эквивалентного пролета выработки / В.Я. Прушак, Д.Т. Карабань, В.А. Губанов, А.Л. Поляков // Вестник ПНИПУ, т.8. – № 4. – 2009. – С.28 – 36.

10 Карташов, Ю. М. Экспериментальные исследования бокового распора в соляных породах / Ю. М. Карташов, В. С. Ливенский, Н. М. Проскураков, В. А. Губанов // Известия вузов. Горный журнал, 1975. – № 6. – С. 20-23.

11 Розенбаум, М. А. Определение параметров анкерной крепи в условиях проявления зональной дезинтеграции пород вокруг выработок / М. А. Розенбаум, Б. П. Баджиев // Записки Горного института, 2015. – Т. 213. – С. 17 – 23.

УДК 669.132

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА РАБОТЫ ДЕТАЛЕЙ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ДРОБИЛОК «СЕМКО KEV 96» ЗА СЧЕТ УСКОРЕННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ОТЛИВОК

**¹Жумаев А.А., ²Мансуров Ю.Н., ³К.Э.Барановский,
⁴Улугов Г.Д.**

¹Навоийское отделение Академии наук Республики Узбекистан

²Министерство Инновационного развития Республики Узбекистан

³Белорусский национальный технический университет, Минск

⁴ПО «Навоийский машиностроительный завод»

В статье показано, что ускоренное охлаждение при литье деталей из белых износостойких чугунов для центробежных дробилок «Сетко» позволяет повысить износостойкость на 20 %.

Главные структурные составляющие белых износостойких чугунов – карбиды и металлическая основа в виде твердого раствора на основе железа. Основные характеристики карбидов, оказывающих решающее влияние на износостойкость, механические и технологические свойства деталей из белых износостойких чугунов – тип кристаллографической решетки, морфология, количество, размеры, ориентировка частиц карбидов по отношению к изнашиваемой поверхности. В работе рассмотрена взаимосвязь эксплуатационных свойств деталей из износостой-