

работки (сопряжения горных выработок). В будущем так же необходимо направить усилия на разработку и включение в модуль раздела с расчетом параметров комбинированных видов крепей.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания (рег. номер НИОКТР: 124020500031-4).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Боликов В.Е., Константинова С.А. Прогноз и обеспечение устойчивости капитальных горных выработок. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – 374 с.
2. Временное положение по креплению и поддержанию горных выработок на руднике Гремячинского ГОК. Ч. 1 / ГИ УрО РАН; рук. А.А. Барях; отв. исполн. В.Н. Токсаров. – Пермь; Котельниково, 2020. – 107 с.
3. СП 91.13330.2012 Подземные горные выработки. Актуализированная редакция СНиП II-94-80: утв. Минрегион России 30.06.2012 г., № 283. – М., 2012. – 58 с.
4. СП 69.13330.2016. Подземные горные выработки. Актуализированная редакция. СНиП 3.02.03-84: утв. 20.10.2016, введен с 21.04.2017 г. – М.: стандартинформ, 2017. – 16 с.
5. Методики и рекомендации по охране и креплению горных выработок для Гремячинского месторождения калийных солей. / ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий»; ОАО «Галургия. – Пермь; Котельниково, 2011. – 118 с.
6. Руководство по проектированию подземных горных выработок и расчету крепи / ВНИИ горн. геомеханики и маркшейд. дела, ВНИИ орг. и механизации шахт. стр-ва. – М.: Стройиздат, 1983. – 273 с.: ил.

УДК 622.2

DOI:10.7242/echo.2024.3.4

ВОЗМОЖНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ КАТЕГОРИИ СОСТОЯНИЯ КРОВЛИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В УСЛОВИЯХ ГЛУБОКОГО КАЛИЙНОГО РУДНИКА

И.А. Морозов

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В работе представлен возможный подход к оценке категории состояния кровли горных выработок в условиях глубокого калийного рудника. Под категорией состояния кровли горных выработок понимается комплексный показатель, характеризующий как геологический тип кровли, так и её категорию устойчивости, и определяющий возможные формы и интенсивность проявления горного давления. На текущей стадии изученности месторождения для выработок, пройденных в соляных породах, выделено четыре геологических типа кровли. Для оценки категории устойчивости кровли выработок использован стандартный подход, основанный на определении величины расчетных смещений, с учетом корректировок, выполненных на основе результатов натурных наблюдений. Предложенный подход к оценке категории состояния кровли был использован при обосновании способов охраны и крепления горных выработок в условиях глубокого калийного рудника с учетом фактического геологического строения вмещающих выработки пород, форм и интенсивности проявления горного давления.

Ключевые слова: соляные породы, калийный рудник, устойчивость, категория состояния.

В соответствии с СП 91.13330.2012 за критерий устойчивости соляных пород принимается значение их смещений U (мм) на контуре поперечного сечения выработки за весь срок ее эксплуатации без крепи:

$$U = 500B\varepsilon_{\theta}(1 + 0,07T_{сл})k_{в}, \quad (1)$$

где B – ширина выработки в проходке, м; $T_{сл}$ – срок службы выработки, лет; ε_{θ} – относительные деформации пород за первый год службы выработки; k_v – коэффициент воздействия других выработок.

В зависимости от расчетного значения U определяется категория устойчивости соляных пород:

- I: $U \leq 200$ мм;
- II: $200 < U \leq 300$ мм;
- III: $300 < U \leq 500$ мм;
- IV: $U > 500$ мм.

В отличие, например, от рудников Верхнекамского или Старобинского месторождений вблизи кровли выработок рудника Гремячинского ГОК, пройденных в соляных породах, залегают ангидрит-доломитовые (доломит-ангидритовые) отложения, которые оказывают существенное влияние на особенности деформирования вмещающих выработки пород [1, 2], поэтому возможность применения соотношения (1) и указанных выше категорий в условиях Гремячинского рудника требует дополнительного исследования. Необходимо отметить, что помимо сложного геологического строения промышленный силвинитовый пласт в условиях Гремячинского месторождения залегает на глубине 1100-1300 м, что предопределяет высокий уровень исходного поля напряжений [4]. В этой связи разработка подхода к оценке категории состояния кровли горных выработок в условиях рудника является актуальной научно-практической задачей.

Здесь и далее под категорией состояния кровли горных выработок понимается комплексный показатель, характеризующий как геологический тип кровли, так и её категорию устойчивости, и определяющий возможные формы и интенсивность проявления горного давления.

На основе исследования фактических особенностей деформирования пород в лабораторных условиях [5], результатов наблюдений за деформированием породных обнажений на реперных станциях [1], результатов обследования состояния горных выработок и математического моделирования [2, 4, 6] установлено, что геологическое строение кровли выработок, пройденных в соляных породах Гремячинского месторождения, можно охарактеризовать одним из четырёх геологических типов, представленных в таблице 1. Геологический тип кровли выработки по таблице 1 определяется в зависимости от мощности пачки соляных пород m_c , оставляемой в кровле в пределах расстояния, равного ширине выработки в проходке B .

Таблица 1

Геологический тип кровли

Геологический тип кровли	Характеристика непосредственной кровли в пределах расстояния B от контура выработки
Г I	$\frac{m_c}{B} \geq 0,5$
Г II	$0,15 \leq \frac{m_c}{B} < 0,5$
Г III	$0 \leq \frac{m_c}{B} < 0,15$
Г IV	Неоднократно переслаивающиеся ангидрит-доломитовые (доломит-ангидритовые) и соляные породы

В первом приближении оценка категории устойчивости пород кровли горных выработок, пройденных в условиях рудника Гремячинского ГОК, может быть выполнена по формуле (1). Для этого преобразуем её к виду:

$$U = (U_0 + V(T_{\text{сл}} - 1))k_{\text{в}}, \quad (2)$$

где $U_0 = 535B\varepsilon_{\theta}$ – смещение элемента горной выработки за первый год службы, мм; $V = kU_0$ – скорость смещения элемента горной выработки по истечении первого года службы, мм/год.

Необходимо отметить, что физический смысл коэффициента k – это отношение скорости смещения элемента горной выработки по истечении первого года службы к средней скорости смещения в течение первого года службы выработки: $k = \frac{V}{V_0} = \frac{V \cdot 1 \text{ год}}{U_0} = \frac{V}{U_0}$.

Анализируя выражение (2), можно сделать вывод о том, что при использовании методического подхода, заложенного в СП 91.13330.2012, для прогнозной оценки смещений элемента горной выработки в условиях рудника Гремячинского ГОК должны подлежать уточнению относительные деформации пород ε_{θ} за первый год службы выработки, а также коэффициент k .

На основе анализа результатов натуральных наблюдений получена зависимость k от $\frac{m_c}{B}$ (рис. 1):

$$k = a \cdot \frac{m_c}{B} + b, \quad (3)$$

где m_c – мощность пачки соляных пород в кровле выработки, м; B – ширина выработки в проходке, м; $a = -0,130$, $b = 0,336$ – параметры аппроксимации, $R^2 = 0,30$.

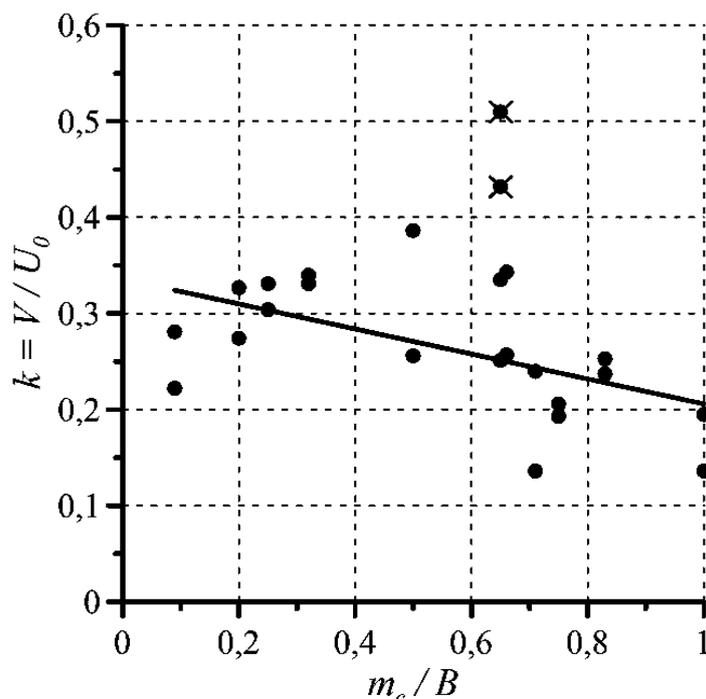


Рис. 1. Зависимость k от $\frac{m_c}{B}$: ● – натурные данные

Относительные деформации пород за первый год службы выработки в соответствии с СП 91.13330.2012 определяются в зависимости от расчетной глубины рас-

положения выработки H_p и расчетного сопротивления пород сжатию R_c . Результаты расчета относительной деформации пород за первый год службы выработок ε_θ по данным натуральных наблюдений и зависимость, представленная в СП 91.13330.2012, приведены на рис. 2.

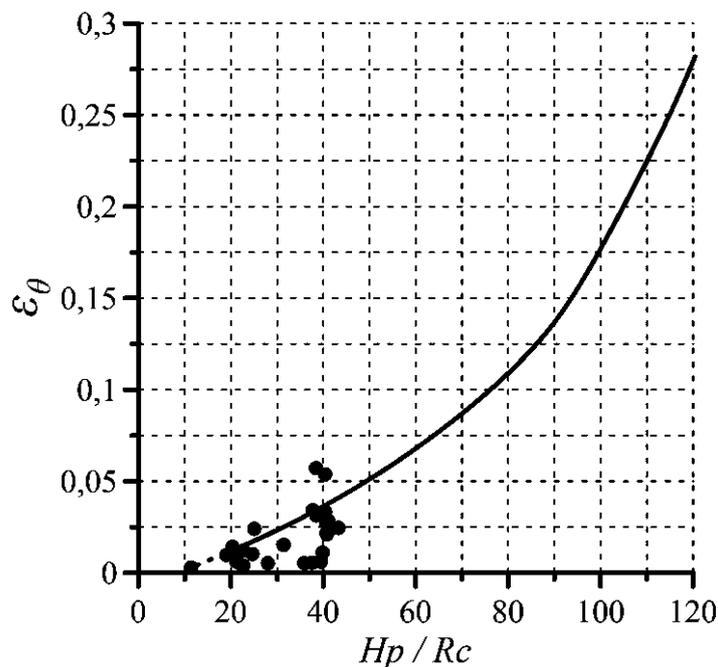


Рис. 2. Относительная деформация пород за первый год службы выработки: H_p – расчетная глубина расположения выработки; R_c – расчетное сопротивление пород сжатию;
● – натуральные данные; — — по данным СП 91.13330.2012; --- – участок экстраполяции

На основе анализа результатов исследований, представленных на рис. 2, можно сделать вывод о том, что на текущем этапе изученности Гремячинского месторождения при определении относительных деформаций пород ε_θ за первый год службы выработки, зависимость, представленная в СП 91.13330.2012, дает удовлетворительное соответствие результатам натуральных наблюдений и может быть использована для прогноз-ной оценки величин накопленных смещений элементов горных выработок.

Обобщая изложенное, категория состояния кровли горных выработок, пройденных в условиях соляных пород рудника Гремячинского ГОК, определяется в следующем порядке:

- определение геологического типа кровли выработки по табл. 1;
- определение расчетных смещений на контуре поперечного сечения выработки за весь срок ее эксплуатации без крепи по формуле (2) с использованием зависимости (3) и рис. 2;
- определение категории устойчивости кровли выработки в зависимости от величины расчетных смещений и отношения $\frac{m_c}{B}$ по рис. 3 (для геологического типа IV $\frac{m_c}{B} = 0$).

В зависимости от геологического типа (ГI, ГII, ГIII или ГIV) и категории устойчивости кровли (I, II, III или IV) для условий рудника Гремячинского ГОК возможны следующие категории состояния кровли выработки:

- ГI-I, ГI-II, ГI-III, ГI-IV;
- ГII-I, ГII-II, ГII-III, ГII-IV;
- ГIII-I, ГIII-II, ГIII-III, ГIII-IV;
- ГIV-I, ГIV-II, ГIV-III, ГIV-IV.

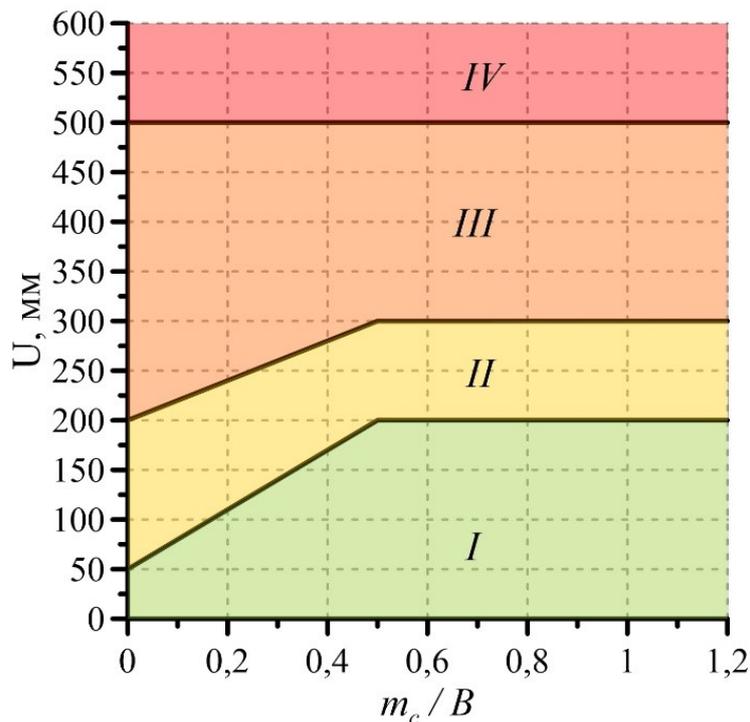


Рис. 3. Определение категории устойчивости кровли выработки:
 I – устойчивое состояние; II – среднеустойчивое состояние;
 III – неустойчивое состояние; IV – очень неустойчивое состояние

Предложенный подход к оценке категории состояния кровли был использован при обосновании способов охраны и крепления горных выработок в условиях рудника Гремячинского ГОК с учетом фактического геологического строения вмещающих выработки пород, форм и интенсивности проявления горного давления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Токсаров В.Н., Морозов И.А., Бельтюков Н.Л., Ударцев А.А. Исследование деформирования подземных горных выработок в условиях Гремячинского месторождения калийных солей // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – № 7. – С. 113-124. – DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-113-124.
2. Морозов И.А. Об оценке устойчивости горных выработок в условиях глубоких калийных рудников // Горное эхо. – 2023. – № 4 (93). – С. 47-51. – DOI: 10.7242/echo.2023.4.6.
3. Морозов И.А., Паньков И.Л., Токсаров В.Н. Изучение устойчивости горных выработок в соляных породах // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2021. – № 9. – С. 36-47. – DOI: 10.25018/0236-1493-2021-9-0-36.
4. Морозов И.А., Токсаров В.Н., Поляков И.В., Лифшиц Е.Л. Оценка влияния очистных работ на устойчивость горных выработок калийного рудника // Изв. Тульского гос. ун-та. Науки о Земле. – 2024. – № 1. – С. 226-237.
5. Морозов И.А., Ударцев А.А., Паньков И.Л. Анализ деформирования соляных пород Гремячинского и Верхнекамского месторождений в лабораторных условиях // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – № 10. – С. 16-28. – DOI: 10.25018/0236-1493-2020-10-0-16-28.
6. Морозов И.А., Токсаров В.Н., Поляков И.В., Паньков И.Л. Проявления горного давления в условиях глубокого калийного рудника // Горный журнал. – 2023. – № 11. – С. 15-20. – DOI: 10.17580/gzh.2023.11.02.