

МЕХАНИКА ГОРНЫХ ПОРОД

УДК 622.02+622.2

DOI:10.7242/echo.2024.3.3

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ КРЕПЛЕНИЯ КРОВЛИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК РУДНИКА ГРЕМЯЧИНСКОГО ГОК

В.С. Кузьминых

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Разработан программный модуль для автоматизации расчетов и определения параметров крепи кровли горных выработок и их сопряжений в условиях Гремячинского месторождения калийных солей.

Ключевые слова: горная выработка, расчетный модуль, кровля, параметры крепи.

Большая глубина залегания калийного пласта Гремячинского ГОК относится к отрицательным факторам, которые могут оказывать негативное влияние на устойчивость кровли горных выработок, что, в свою очередь, может приводить к ее обрушению и, как следствие, угрожать безопасности рабочих, а также приводить к повреждению техники и оборудования [1]. В связи с этим особую актуальность приобретают вопросы, связанные с обеспечением способности выработок функционировать в определенных условиях с заданными параметрами в течение всего технологического срока службы. С целью обеспечения устойчивого состояния выработок и создания безопасных условий ведения горных работ было разработано «Положение по креплению и поддержанию горных выработок в условиях соляных пород на руднике Гремячинского ГОК» [2]. Данный документ определяет обязательные для исполнения положения о порядке, технологии, механизации и параметрах технологии производства работ при креплении горных выработок в соляных породах Гремячинского рудника. Положение подразумевает наличие у проектировщиков горных выработок, а также у выполняющих работы по креплению, ремонту и поддержанию горных выработок на руднике Гремячинского ГОК, в том числе специалистов, осуществляющих контроль за выполнением этих работ, определенного уровня знаний и подготовки в области горного дела. Выбор и расчет параметров крепи по данному положению весьма трудоемкий процесс и занимает значительную часть рабочего времени. С целью оперативной разработки паспортов крепления горных выработок и удобства пользования Положением был разработан модуль для расчета параметров крепи.

Расчетный модуль представляет собой программный продукт на базе Microsoft Excel. Основным преимуществом данного редактора является общедоступность и простота в использовании, также данная платформа располагает мощным интерфейсом с множеством опций для решения поставленных задач.

Программный модуль состоит из следующих разделов-вкладок:

- «Исходные данные»;
- «Категория состояния выработки»;
- «Расчет параметров анкерной крепи кровли»;
- «Расчет параметров арочной крепи».

В разделе «Исходные данные» (рис. 1) пользователь вносит следующие основные горно-геологические и горнотехнические условия, в которых пройдена (проектируется) горная выработка (сопряжение горных выработок):

- глубина заложения горной выработки;
- форма и размеры выработки;
- способ проходки;
- срок службы;
- характер и степень влияния других выработок и прочих дополнительных воздействий;
- геологическое строение и значения физико-механических свойств вмещающих пород.

Для удобства часть данных пользователь выбирает из выпадающего списка и только количественные значения вносит вручную.

Исходные данные для расчёта			
очистная горная выработка	–	НЕТ	
глубина заложения выработки, м	–	1100,0	
ширина выработки в проходке, м	–	6,0	
высота выработки в проходке, м	–	3,7	
способ проходки выработки	–	Урал-20Р-14	
расстояние между выработками (ширина целика)	–	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> Урал-20Р-14 Урал-20Р-12 КП330 (Sandvik MH621) БВР </div>	
ширина смежной выработки в проходке, м	–	10,0	
срок службы выработки, лет	–	НЕТ	
влияние сопряжения	–	НЕТ	
расстояние от рассматриваемого поперечного сечения выработки до границы сопряжения, м	–		
расчетная ширина сопряжения, м	–		
влияние очистных работ	–	НЕТ	
Геологическое строение и значения физико-механических свойств пород кровли в пределах расстояния, равного ширине выработки в проходке (6,0 м)			
Порода	Мощность слоя, м	Предел прочности на сжатие, МПа	Удельный вес, МН/м ³
каменная соль (зона замещения)	0,70	29,00	0,022
ангидрит-галит	1,00	35,00	0,024
ангидрит-доломит с включениями галита	2,00	40,00	0,025
ангидрит-доломит	2,00	50,00	0,026
доломит	3,00	80,00	0,026

Рис. 1. Ввод исходных данных

Раздел «Категория состояния выработки» отражает основные особенности деформирования кровли, боков и почвы в фактических горно-геологических и горнотехнических условиях рудника Гремячинского ГОК.

Определение геологического типа кровли выработки	
Суммарная мощность соляных пород, залегающих в пределах расстояния от контура выработки до подошвы ближайшего слоя не склонных к проявлению деформации ползучести пород, принимается $m_c = 1,7$ м.	
Геологический тип кровли выработки соответствует ГШ , определяется по табл. 1.	
Таблица 1 – Геологический тип кровли	
Геологический тип	Характеристика кровли в пределах расстояния B от контура
ГП	$(m_c/B) \geq 0,5$
ГП	$0,15 \leq (m_c/B) < 0,5$
ГШ	$0 \leq (m_c/B) < 0,15$
ГIV	Неоднократно переслаивающиеся ангидрит-доломитовые (доломит-ангидритовые) и соляные породы

Рис. 2. Определение геологического типа кровли

Определение категории состояния капитальных и подготовительных выработок осуществляется в два этапа. На первом этапе определяется геологический тип (рис. 2) в зависимости от мощности пачки соляных пород, оставляемой в кровле. На втором этапе определяется категория устойчивости элементов выработки (рис. 3) в зависимости от расчетной величины их смещения на контуре поперечного сечения выработки за весь срок её эксплуатации без учета воздействия крепи.

В зависимости от категории состояния горной выработки пользователь выбирает вид крепи кровли горной выработки (сопряжения горных выработок) и далее переходит по вкладке в расчет параметров выбранной крепи.

В качестве основного способа крепления горных выработок в условиях соляных пород Гремячинского месторождения рекомендуется рассматривать анкерный способ.

В разделе «Расчет параметров анкерной крепи кровли» представлены расчеты параметров анкерной крепи в зависимости от схемы работы крепи:

– схема «подвешивания» [3, 4, 5, 6]: анкеры прикрепляют породу, расположенную в пределах зоны вероятного обрушения, к устойчивой зоне породного массива и рассчитываются на восприятие нагрузок, вызванных весом пород в пределах зоны возможного обрушения;

– схема «сшивания» [3, 4, 5, 6]: анкеры скрепляют различно деформируемые зоны, слои или структурные элементы породного массива вокруг выработки, формируя упорченную зону в виде плиты, свода или арки, способную воспринять горное давление.

Выбор схемы работы анкерной крепи выполняется на основе оценки размеров зоны вероятного обрушения h_3 пород в кровле выработки:

- если $h_3 \leq L_a - l_3 - l_b$, то анкерная крепь работает по схеме I (схема «подвешивания»);
- если $h_3 > L_a - l_3 - l_b$, то анкерная крепь работает по схеме II (схема «сшивания»), где L_a – полная длина анкера, м; l_3 – величина заглубления замковой части анкера в устойчивую зону массива пород, м; l_b – длина выступающей из шпура части штанги, м.

Определение категории устойчивости кровли выработки	
Расчетное сопротивление пород кровли выработки сжатию определяется по формуле:	
$R_c = R \cdot k_c = 34,58$ МПа,	
где $R = 43,22$	– среднее значение сопротивления пород кровли сжатию, МПа;
$k_c = 0,8$	– коэффициент, учитывающий дополнительную нарушенность массив пород поверхностями без сцепления, либо с малой связностью определяется по табл. 2
Таблица 2 – Определение значений k_c	
Среднее расстояние между поверхностями ослабления пород, м	Значения k_c
Более 1,5	0,9
От 1,5 до 1,0	0,8
От 1,0 до 0,5	0,6
От 0,5 до 0,1	0,4
Менее 0,1	0,2
Смещение кровли выработки за весь срок её службы без крепи определяется по формуле:	
$U = 535 \cdot B \cdot \varepsilon_\theta \cdot (1 + k \cdot (T_{сл} - 1)) \cdot k_B \cdot k_{оч} = 333$ мм,	
где $B = 6,0$	– ширина выработки в проходке, м;
$\varepsilon_\theta = 0,028$	– относительные деформации пород кровли выработки за первый год ее службы, определяются по графику на рис. 1 в зависимости от отношения $H_p/R_c = 31,81$ (значение H_p принимается равным глубине заложения кровли выработки);
$T_{сл} = 10,0$	– срок службы выработки, лет;
$k_B = 1,00$	– коэффициент воздействия других выработок;
$k_{оч} = 1,00$	– коэффициент влияния очистных работ (вне зоны влияния очистных работ – 1,0; в зоне влияния очистных работ – 1,4);
$k = 0,300$	– коэффициент влияния мощности пачки соляных пород в кровле выработки.

Рис. 3. Определение категории устойчивости кровли

Результатом расчетов в разделе «Расчет параметров анкерной крепи» (рис. 4), являются следующие показатели:

- тип анкера;
- длина анкера;
- расстояние между анкерами в ряду;
- схема установки анкеров;
- количество рядов анкеров.

Раздел «Расчет параметров арочной крепи» представляет собой методику по определению и проверке условий применения металлической податливой крепи из специального взаимозаменяемого профиля (СВП). Результатирующим итогом работы в данном разделе является:

- определение типа крепи;
- определение шага установки рам.

По итогам проделанной работы можно сделать вывод о том, что разработанный модуль для расчетов параметров крепления кровли горных выработок (сопряжения горных выработок) позволяет:

- оперативно определять параметры крепи при изменении горно-геологических и горнотехнических условий;
- производить расчет строго в соответствии с нормативными документами;
- автоматизировать часть работы специалистов, участвующих в поддержании горных выработок в устойчивом состоянии, на протяжении всего периода их эксплуатации;
- быстро конфигурировать и настраивать разделы и расчеты, если того требуют новые нормативные документы;
- сводить к минимуму возможность совершения ошибок при расчетах;
- экономить на приобретении и установке сложного и дорогого специализированного программного обеспечения;
- свободно экспортировать и отправлять на печать как самостоятельный документ;
- пользоваться программой без дополнительного обучения;
- предоставлять минимальный, но достаточный объем информации для принятия срочных управленческих решений.

Квадратная сетка установки анкеров в один этап		
Количество анкеров в ряду (n) определяется как расчетное число анкеров (n_p) в ряду, округленное в большую сторону до ближайшего целого:		
$n = 5 \text{ шт.}$		
Ромбическая сетка установки анкеров		
Количество анкеров в ряду (n) определяется как расчетное число анкеров (n_p) в ряду, округленное в большую сторону до 0,5:		
Установка анкеров по ромбической сетке не допускается.		
(не выполняется условие применения ромбической сетки анкерования)		
Поэтапная установка анкеров		
Количество анкеров в ряду (n) определяется как расчетное число анкеров (n_p) в ряду, округленное в большую сторону до ближайшего целого четного:		
Поэтапная установка анкеров не допускается.		
(не выполняется условие применения поэтапной установки анкеров)		
Параметры анкерного крепления кровли выработки по схеме «подвешивания»		
тип применяемого анкера	–	КРА
вид применяемого анкера	–	КРА-16
принятая длина анкера, м	–	1,80
принятое расстояние между анкерами*, м	–	1,10
принятое количество анкеров в ряду, шт.	–	5
Примечание: нет		
*расстояние между клинораспорными анкерами не рекомендуется принимать менее 0,8 м.		

Рис. 4. Параметры анкерной крепи

В дальнейшем модернизация данного расчетного модуля будет направлена на интеграцию в него графического редактора для возможности отображения схем крепления, что позволит приблизиться к получению полноценного паспорта крепления горной вы-

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:

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