

УДК 622.831.312

Малышева Н. Н.

(ДонГТУ, г. Донецк, ДНР, grm@mine.donntu.org)

ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ ВСТУПЛЕНИЯ В РАБОТУ ОХРАННОГО СООРУЖЕНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОДДЕРЖАНИЯ ВЫРАБОТКИ В УСЛОВИЯХ ШАХТЫ «РАССВЕТ-1»

Работа посвящена исследованию влияния времени вступления в работу охранного сооружения (наличия/отсутствия зазора между кровлей и охранным сооружением, а также его несущей способности) на эффективность поддержания выработки. Предложено охранное сооружение, вступающее в работу в течение суток. Обоснованы его рациональные параметры.

Ключевые слова: охранное сооружение, тумба с распором, ANSYS, доля объяснённой дисперсии, модуль деформации.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. В настоящее время ввиду ограниченности средств, как в экономическом, так и в материальном аспектах, на шахтах одной из главных проблем является обеспечение устойчивости подготовительных выработок в выработанном пространстве. За время отработки выемочного участка в выработках производят до двух-трёх перекреплений, что существенно оказывает влияние на рост травматизма при проведении ремонтных работ, которые практически выполняются вручную. Поэтому исследования, направленные на разработку способов и средств по обеспечению устойчивости подготовительных выработок, являются актуальными и перспективными.

Постановка задачи. Одним из способов, повышающих устойчивость выработки, может быть использование такого охранного сооружения, которое быстро включалось бы в работу. В качестве такого охранного сооружения были предложены тумбы с распором [1, 2].

В связи с этим **целью** настоящей работы являлось установление рациональных параметров данных сооружений.

Объект исследования — напряжённо-деформированное состояние массива пород при применении охранного сооружения, которое быстро включается в работу по поддержанию выработки.

Предмет исследования — рациональные параметры охранного сооружения, которое быстро включается в работу по поддержанию выработки.

Задачи исследования:

- установление более полной картины сдвижений с учётом всех опор, которые находятся в плоскости пласта;
- исследование влияния времени вступления в работу охранного сооружения (наличия/отсутствия зазора между кровлей и охранным сооружением) на эффективность поддержания выработки;
- обоснование критерия для выбора рациональных параметров тумб с распором;
- выделение роли охранного сооружения среди всех искусственных и естественных опор;
- исследование влияния несущей способности предлагаемого охранного сооружения на эффективность поддержания выработки;
- установление его рациональных параметров.

Изложение материала и его результаты. Для того чтобы решить первую задачу, было проведено численное моделирование механизма разрушения массива вокруг подготовительной выработки. Решение поставленной задачи выполнялось с использованием программного комплекса ANSYS [3].

Участок массива, рассмотренный в статье [2], был расширен. В него были включены лава и участок выработки впереди

неё. Линейные размеры модели составили: длина участка выработки впереди лавы — не менее длины зоны опорного давления $l_{on}=50$ м [4]; длина участка выработки за лавой принималась равной шагу первичной посадки ($Ш_0=50$ м) для первой пары моделей с шахтным и предлагаемым вариантом охранного сооружения, а для второй пары — шагу последующих посадок ($Ш_n=15$ м); размер участка массива в кровлю, почву и бока выработки принимался равным не менее четырёх наибольших размеров выработки — 30 м, — чтобы быть соизмеримым с остальными размерами модели. Дополнительными исходными данными для решения нелинейной стационарной пространственной задачи механики деформируемого твёрдого тела были параметры механических свойств горных пород (прочность на сжатие $\sigma_{сж}$, прочность на растяжение σ_p , модуль упругости E , коэффициент Пуассона μ , сцепление C , угол внутреннего трения φ , угол дилатансии δ , плотность γ) [5–9] и охранных сооружений (табл. 1)

Паспорт участка был разбит на блоки (рис. 1). Для каждого блока были определены несущая способность, модуль деформации и объёмный вес. Результаты расчётов сведены в таблицу 1.

После геометрического построения модели, задания свойств материалов и присвоения получившимся объёмам их свойств модель разбивалась объёмными элементами без промежуточных узлов на гранях Solid45 (этот тип элемента поддерживает модель Друкера — Прагера). Затем между соприкасающимися объёмами в модели создавались контактные пары, использующие стандартный тип контакта. После этого модель закреплялась по нижней и боковым граням во избежание перемещений. На верхнюю грань модели прикладывалась равномерно распределённая нагрузка ($P=12,8$ МПа), моделирующая вес оставшихся до поверхности пород. Кроме того, к модели была применена объёмная нагрузка в виде поля гравитацион-

ных сил. Далее выбирался тип анализа (статический) и его опций (включены эффекты большой деформации и предварительного напряжения, использовался полный Ньютон — Рафсон с несимметричными матрицами элементов), указывались опции для шага нагружения (расчёт всех элементов решения, плавное приложение нагрузки и разбивка шага нагрузки на подшаги), после чего производился расчёт.

При решении второй задачи измерялись следующие параметры: максимальный зазор (gap_{max} , м) максимальные контактные давления ($P_{cont. max}$, МПа) и их расположение (x, y, z) для каждой контактной пары в отдельности и для модели в целом, а также максимальные сжимающие (σ_3 , Па) и растягивающие напряжения (σ_1 , Па) и их расположение (x, y, z) для каждого объёма в модели и для модели в целом.

С помощью теории прочности Мора $\sigma_{np} \leq [\sigma]$ [10] были вычислены: объём разрушенных от сжатия и растяжения элементов в породных слоях и в охранных сооружениях; объём разрушенных от сжатия контактных элементов для каждой контактной пары в отдельности; процент расслоившихся контактных элементов; процент поверхности охранного сооружения, которое работает, и при каком давлении это происходит.

Анализ результатов решения второй задачи позволил сделать следующие выводы: при использовании тумб с распором устье магистральной трещины формируется не от растяжения в основной кровле на контакте её с непосредственной, а от сжатия в непосредственной кровле на контакте её с дополнительным охранным сооружением со стороны выработанного пространства. Это происходит вследствие того, что тумбы с распором включаются в работу раньше традиционного охранного сооружения, снимают нагрузку с дополнительного охранного сооружения и с пласта со стороны массива и принимают её на себя. Полученный положительный эффект от использования тумб с распором был следствием того, что тумбы всей своей поверх-

ностью с первого подшага нагрузки включаются в работу по поддержанию выработки, в то время как БЖБТ тратят на это 47 % от шага нагрузки при $Ш_0 = 50$ м и 71 % от шага нагрузки при $Ш_n = 15$ м.

Кроме того, анализ результатов позволил сделать следующие выводы: с одной стороны, БЖБТ менее эффективны тумб с распором, т. к. они не разрушаются из-за того, что практически не участвуют в поддержании выработки (рис. 2, а); с другой — использование тумб с распором незначительно уменьшает разрушение от сжатия (рис. 2, а) и от растяжения (рис. 2, б), что исключает применение объёма разрушенных элементов в качестве критерия при выборе рациональных параметров тумб с распором.

Для того чтобы решить третью задачу, при поиске нового критерия была прове-

дена линейная регрессия. Для неё в качестве зависимой переменной были использованы вертикальные смещения в своде выработки: 25 точек перед лавой, 25 точек за лавой; в качестве независимой переменной — контактные давления на опоре: 50 точек с максимальным значением контактного давления. Линейная регрессия была осуществлена для всех искусственных и естественных опор в плоскости пласта для всех подшагов нагружения. Её результатами были доля объяснённой дисперсии и знак коэффициента при независимой переменной. В 85,6 % случаев знак коэффициента при независимой переменной был отрицательным. Это означает, что увеличение контактных давлений на опоре ведёт к уменьшению смещений в кровле выработки.

Таблица 1

Свойства горных пород и охранных сооружений для условий шахты «Рассвет-1»

место	слой	порода	m , м	$\sigma_{сж}$, МПа	σ_p , МПа	E , МПа	μ	C , МПа	φ , °	δ , °	γ , кг/м ³
почва	0	Гл. сл.	10,36	60	10,41	27,85e3	0,14	12,5	45	45	2,73e3
	1	Песч. сл.	16,5	65	14,8	26,9e3	0,24	15,51	38,98	38,98	2,7e3
	2	Песчаник	4,5	85	16,34	22,77e3	0,395	18,63	42,66	42,66	2,62e3
	3	Песч. сл.	1,5	55	14,8	24,04e3	0,255	14,27	35,16	35,16	2,7e3
	4	Песч. сл.	0,6	50	14,9	22,62e3	0,263	13,65	32,74	32,74	2,7e3
пласт	5	Уголь	0,73	15	1,5	0,42e3	0,08	9,9	38	28	1,52e3
кровля	6	Песчаник	2	66	12,49	18,51e3	0,372	14,35	43	43	2,62e3
	7	Песчаник	11	85	16,34	22,77e3	0,395	18,63	42,66	42,66	2,62e3
	8	Песч. сл.	1,6	70	14,9	28,33e3	0,232	16,15	40,47	40,47	2,7e3
	9	Известняк	1,7	80	14,2	22,56e3	0,17	17	44,31	44,31	2,67e3
	10	Песч. сл.	16,33	65	14,8	26,90e3	0,24	15,51	38,98	38,98	2,7e3
блок 1			–	0,52	–	4,74	0,3	–	–	–	117,7
блок 2			–	0,18	–	1,8	0,3	–	–	–	184,3
блок 3_1			–	2,18	–	24,43	0,3	–	–	–	195,5
блок 3_2			–	0,98	–	11,14	0,3	–	–	–	98,6
блок 4_1			–	0,98	–	11,19	0,3	–	–	–	282,7
блок 4_2			–	0,24	–	1,99	0,3	–	–	–	322,4
блок 4_3			–	0,93	–	10,64	0,3	–	–	–	271,8
блок 5			–	9,51	–	943,26	0,3	–	–	–	171,1
блок 6			–	11,59	–	146,89	0,3	–	–	–	78,9
блок 7 (шахтный/ предлагаемый вариант)			–	11,36/ 24,04	–	133,55/ 269,37	0,3	–	–	–	200,3/ 417,7

Для того чтобы решить четвертую задачу, были построены графики зависимости доли объяснённой дисперсии от давления на верхнюю грань модели, которые показывали вклад опоры в поддержание выработки. Они позволили выделить главные и вспомогательные опоры. К главным относятся те, на которые кровля опускается в первую очередь и вклад которых в поддержание выработки не уменьшается даже после того, как напряжения во всех её элементах не превысят предел прочности на сжатие (пласт со стороны выработанного пространства; крепь в лаве (рис. 3, а); крепь в нише, расположенная напротив костров). К вспомогательным опорам относятся те, вклад которых в поддержание выработки уменьшается по мере их разрушения (пласт со стороны массива; костры; органная крепь, БЖБТ и тумбы с распором (рис. 3, б), а также крепь в нише, расположенная напротив). Таким образом, тумбы с распором относятся к вспомогательным опорам. Очевидно, что для них увеличение площади под кривой доли объяснённой дисперсии означает увеличение работы по поддержанию выработки, которая может служить критерием при выборе их рациональных параметров. Увеличение площади под кривой разру-

шения естественных и искусственных опор и слоёв пород будет означать, что начало разрушения наступило раньше.

Для того чтобы решить пятую задачу, для данных горно-геологических условий при шаге первой и последующих посадок кровли, были отработаны ещё 48 моделей (для шага первой посадки — 24 модели, ещё 24 модели — для шага последующих посадок). Эти модели различались модулем деформации предлагаемого охранного сооружения. Такое количество моделей обусловлено построением шести латинских кубов. Для каждого количества рядов тумб с распором (с расположением распорного элемента сверху охранного сооружения [1]) $n_{ряд}^{оп} = 1; 2; 3$ для каждого диаметра породы $d_{пор} = 5...10$ мм; $10...20$ мм был составлен латинский куб, в котором два параметра (диаметр трубки $d_{мп}$, м и шаг установки опалубок $L_{он}$, м) варьировались на четырёх уровнях. Диаметр опалубки был постоянным и равным диаметру стандартной бочки из-под масла $D_{он} = 0,57$ м [11], которую можно получить бесплатно. Далее были построены графики зависимости площади под кривой доли объяснённой дисперсии от модуля деформации тумб (рис. 4).

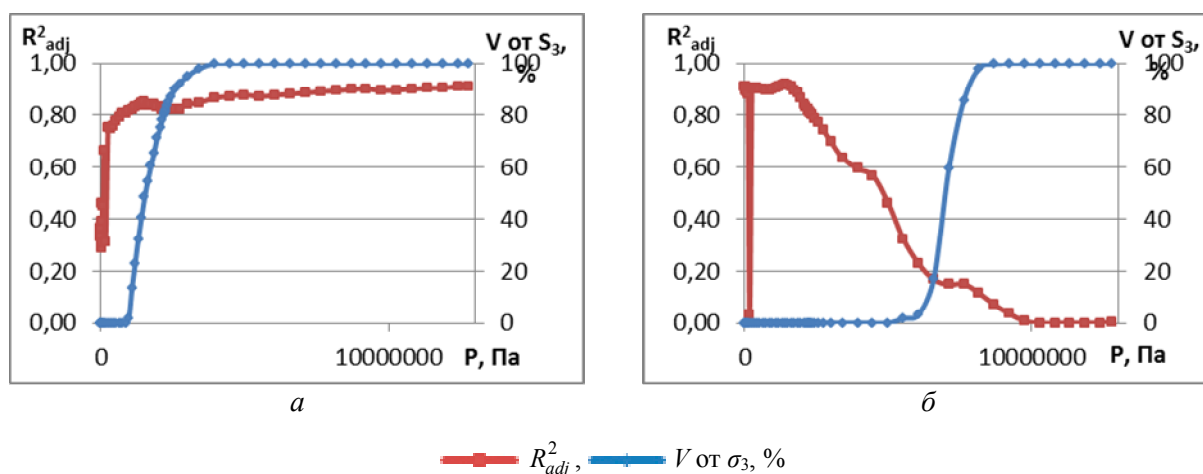


Рисунок 3 График зависимости доли объяснённой дисперсии R_{adj}^2 и объёма разрушенных от сжатия V от σ_3 , % элементов от давления, прикладываемого к верхней грани модели P , Па (предлагаемый вариант): а) для блока 1, б) для блока 7

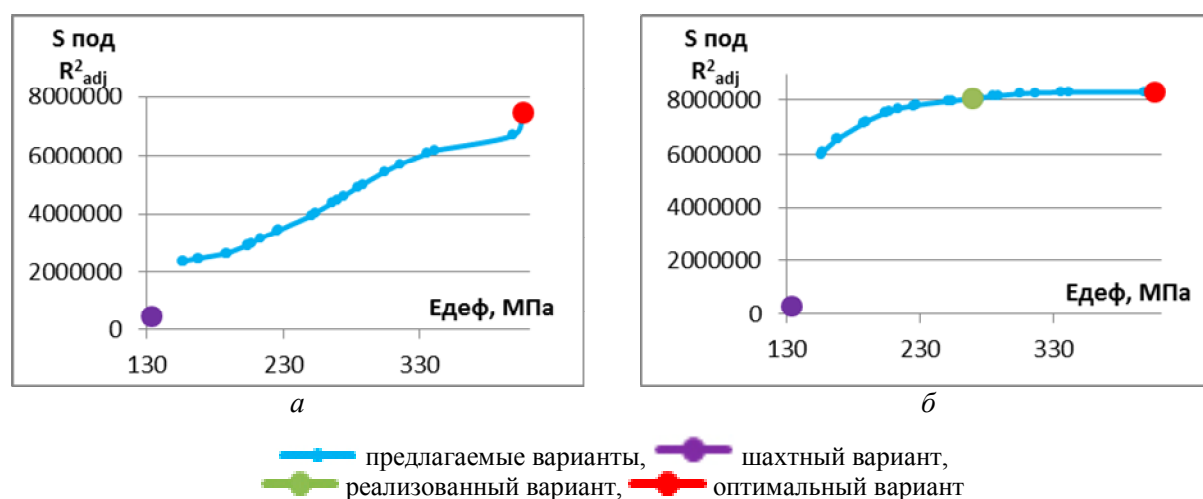


Рисунок 4 График зависимости площади под кривой доли объяснённой дисперсии S под R^2_{adj} от модуля деформации тумбы с распором $E_{деф}$, Па: а) $Ш_0 = 50$ м, б) $Ш_n = 15$ м

Анализ графиков показал, что увеличение модуля деформации с распором ведёт к увеличению площади под кривой доли объяснённой дисперсии, как при шаге первой посадки ($Ш_0 = 50$ м), так и при шаге последующих посадок кровли ($Ш_n = 15$ м).

Для того чтобы решить шестую задачу, были рассчитаны суммарные затраты на материалы и оплату труда для шахтного и предлагаемого вариантов, а также затраты при варьировании параметров последнего. Оказалось, что даже самый дорогой вариант реализации тумб с распором дешевле реализации шахтного варианта охранного сооружения в 3,94 раза.

Поскольку затраты на реализацию предлагаемого способа в данных горно-геологических условиях не являются ограничивающим фактором, то рациональными параметрами будут те, что соответствуют максимальному модулю деформации тумб ($E_{деф.макс} = 405$ МПа), а именно: диаметр опалубки $D_{он} = 0,57$ м, высота опалубки $H_{он} = 0,55$ м, шаг установки опалубок $L_{он} = 0,8$ м, диаметр трубки $d_{тр} = 0,14$ м, диаметр породы $d_{пор} = 5...10$ мм, количество рядов опалубок $n_{ряд}^{он} = 3$.

Выводы и направление дальнейших исследований. Выполненные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. При использовании тумб с распором устье магистральной трещины формируется не от растяжения в основной кровле на контакте её с непосредственной, а от сжатия в непосредственной кровле на контакте её с дополнительным охранном сооружением со стороны выработанного пространства. Это происходит вследствие того, что тумбы с распором включаются в работу раньше традиционного охранного сооружения, снимают нагрузку с дополнительного охранного сооружения и с пласта со стороны массива и принимают её на себя. Полученный положительный эффект от использования тумб с распором был следствием того, что тумбы всей своей поверхностью с первого подшага нагрузки включаются в работу по поддержанию выработки, в то время как БЖБТ тратят на это 47 % от шага нагрузки при $Ш_0 = 50$ м и 71 % от шага нагрузки при $Ш_n = 15$ м.

2. Теснота связи между вертикальными смещениями в своде выработки и контактными давлениями на естественной или искусственной опоре, выраженная как доля объяснённой дисперсии, отражает вклад опоры в поддержание выработки.

3. По изменению доли объяснённой дисперсии на протяжении шага нагружения модели опоры делятся на главные и вспомога-

тельные. К главным относятся те, на которые кровля опускается в первую очередь и вклад которых в поддержание выработки не уменьшается даже после того, как напряжения во всех её элементах не превысят предел прочности на сжатие. К вспомогательным опорам относятся те, вклад которых в поддержание выработки уменьшается по мере их разрушения. Тумбы с распором относятся к вспомогательным опорам.

4. Увеличение площади под кривой доли объяснённой дисперсии означает увеличение работы по поддержанию выработки. Таким образом, площадь под кривой доли объяснённой дисперсии — критерий при выборе рациональных параметров тумб с распором.

5. В условиях шахты «Рассвет-1» увеличение модуля деформации тумб с распором ведёт к увеличению площади под кривой доли объяснённой дисперсии. В

данных горно-геологических условиях затраты на реализацию предлагаемого способа не являются ограничивающим фактором, и рациональными параметрами тумб являются те, которые дают максимальный модуль деформации ($E_{деф.макс} = 405$ МПа): диаметр опалубки $D_{оп} = 0,57$ м, высота опалубки $H_{оп} = 0,55$ м, шаг установки опалубок $L_{оп} = 0,8$ м, диаметр трубки $d_{тр} = 0,14$ м, диаметр породы $d_{пор} = 5...10$ мм, количество рядов опалубок $n_{ряд}^{оп} = 3$.

Поскольку выполненные исследования подтвердили эффективность использования тумб с распором в качестве основного охранного сооружения, то дальнейшие исследования будут направлены на установление эффективности их использования в качестве дополнительного охранного сооружения и определения их рациональных параметров.

Библиографический список

1. Касьян, Н. Н. Лабораторные исследования несущей способности охранных сооружений с распорным элементом [Текст] / Н. Н. Касьян, Н. Н. Малышева, И. Г. Сахно // Геотехническая механика : межвед. сб. науч. тр. — Днепропетровск : ИГТМ НАНУ, 2012. — Вып. 105. — С. 161–168.
2. Сахно, И. Г. Изучение динамики развития деформационных процессов и трещинообразования в породном массиве вокруг выработки, поддерживаемой за лавой [Текст] / И. Г. Сахно, Н. Н. Малышева, В. Е. Нефёдов // Науковий вісник Національного гірничого університету. — 2014. — № 6. — С. 46–51.
3. Каплун, А. Б. ANSYS в руках инженера [Текст] : практическое руководство / А. Б. Каплун, Е. М. Морозов, М. А. Олферьева. — М. : Едиториал УРСС, 2003. — 272 с.
4. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР [Текст]. — Л. : ВНИМИ, 1986. — 222 с.
5. Охрана капитальных выработок от влияния очистных работ [Текст] / Ю. М. Басинский, В. Ф. Водянов, В. М. Кулешов и др. — К. : Техника, 1983. — 140 с.
6. Исследования физико-механических свойств горных пород глубоких шахт Донбасса [Текст] / И. Л. Черняк, Р. И. Григорьев, Р. А. Фрумкин, В. А. Дорыкин, Нгуен Зань Фьен // Технология добычи угля подземным способом. — 1967. — № 7. — С. 35–39.
7. СП 64.13330.2011. Строительные нормы и правила. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80 [Текст]. — М. : [б.и.], 2011. — 92 с.
8. СНиП II-V.4-71. Строительные нормы и правила. Часть II, раздел В, глава 4. Деревянные конструкции. Нормы проектирования [Текст]. — М. : [б.и.], 2014. — 33 с.
9. Канин, В. А. Физико-технические основы охраны выемочных выработок в условиях неустойчивых пород : дис. ... докт. техн. наук : 05.15.02 / Канин Владимир Алексеевич. — Донецк, 2010. — 364 с.
10. Изучаем сопротивление материалов [Электронный ресурс] : теория прочности Мора. — Режим доступа: <http://sopromat.in.ua/handbook/teoriya-prochnosti-mora> (дата обращения: 08.11.2017).

11. ГОСТ 13950-91. Бочки стальные сварные и закатные с гофрами на корпусе. Технические условия [Текст]. — Введ. 1993-01-01. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 2002. — 34 с.

© Малышева Н. Н.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. зав. каф. СЗПСиГ ДонНТУ Борщевским С. В., к.т.н., доц. каф. РМПИ ДонГТУ Леоновым А. А.

Статья поступила в редакцию 13.02.20.

Малышева Н. М. (ДонНТУ, м. Донецьк, ДНР, rpm@mine.donntu.org)

ВПЛИВ ЧАСУ ВСТУПУ В РОБОТУ ОХОРОННОЇ СПОРУДИ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПІДТРИМАННЯ ВИРОБКИ В УМОВАХ ШАХТИ «РАССВЕТ-1»

Роботу присвячено дослідженню впливу часу вступу в роботу охоронної споруди (наявності/відсутності зазору між покрівлею і охоронною спорудою, а також її несучої здатності) на ефективність підтримання виробки. Запропоновано охоронну споруду, яка вступає в роботу протягом доби. Обґрунтовано її раціональні параметри.

Ключові слова: охоронна споруда, тумба з розпором, ANSYS, частка поясненої дисперсії, модуль деформації.

Malysheva N. N. (DonNTU, Donetsk, DPR, rpm@mine.donntu.org)

INFLUENCE OF TIME OF PILLAR ENTRY INTO SERVICE ON THE EFFICIENCY MAINTENANCE OF WORKING IN MINE “RASSVET-1”

The paper is devoted to study the influence of time of pillar entry into service (presence/absence of a clearance between the roof and the pillar and its load-bearing strength) on the efficiency maintenance of working. The pillar that comes into service within a day is proposed. Its rational parameters are justified.

Key words: pillar, pedestal with strut, Ansys, fraction of explained variance, modulus of deformation.