

УДК 622.831.312

асс. Малышева Н. Н.
(ДонГТУ, г. Донецк, ДНР, rpm@mine.donntu.org)

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

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 охранный сооружение, вступающее в работу в течение суток. Обоснованы его рациональные параметры.

Ключевые слова: охранный сооружение, тумба с распором, Ansys, площадь под кривой, доля объясненной дисперсии, модуль деформации.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Эксплуатационное состояние подготовительных выработок обуславливается в основном эффективностью работы околоштрекового охранного сооружения. Традиционно применяемые способы охраны выработок, проводимые за лавой, — бутовые полосы, костры, бутокости, БЖБТ и др. Несмотря на различие в технологии сооружения и разную жёсткость охранных сооружений, все они вступают в работу не сразу после возведения, а после исчерпания зазоров и определённой усадки полосы, которое реализуется за счёт сближения кровли и почвы. При этом несущая способность полос возрастает со временем и достигает рабочего режима на значительном расстоянии от лавы. Отсутствие существенного сопротивления смещения пород кровли в направлении извлечённого лавой пласта приводит к их прогибу, расслоению, вызывает рост зоны разрушения вглубь массива, что обуславливает асимметричное нагружение крепи выработки и значительную потерю её высоты. Это приводит к необходимости проведения дополнительных мероприятий, направленных на обеспечение эксплуатационного состояния выработок.

Таким образом, разработка новых и модернизация существующих способов охраны и поддержания горных выработок после прохода очистного забоя, позво-

ляющих минимизировать или ликвидировать указанные недостатки, является одной из актуальных задач.

Постановка задачи. В статье [1] было предложено охранный сооружение, вступающее в работу в течение суток (тумбы с распором [2, 3]). Была подтверждена эффективность использования его в качестве основного охранного сооружения. Направлением дальнейших исследований являлось установление эффективности использования тумб с распором в качестве дополнительного охранного сооружения и определение его рациональных параметров.

В связи с этим *целью* настоящей работы явилось определение рациональных параметров тумб с распором, которые используются в качестве дополнительного охранного сооружения.

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 (тумб с распором).

Задачи исследования:

– установление более полной картины сдвижений с учётом всех опор, которые находятся в плоскости пласта;

– исследование влияния времени вступления в работу охранного сооружения (на-

личия/отсутствия зазора между кровлей и охранным сооружением) на эффективность поддержания выработки;

– исследование влияния несущей способности предлагаемого охранного сооружения на эффективность поддержания выработки;

– установление его рациональных параметров.

Изложение материала и его результаты. Для решения первой задачи было проведено численное моделирование механизма разрушения массива вокруг подготовительной выработки. В качестве программ-

ного продукта для решения инженерной задачи был выбран Ansys [4]. Моделировался аналогичный [1] участок массива с использованием горно-геологических условий шахты «Щегловская-Глубокая». Внутри этого участка воспроизводился паспорт поддержания 5-го западного конвейерного штрека пл. m_3 .

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

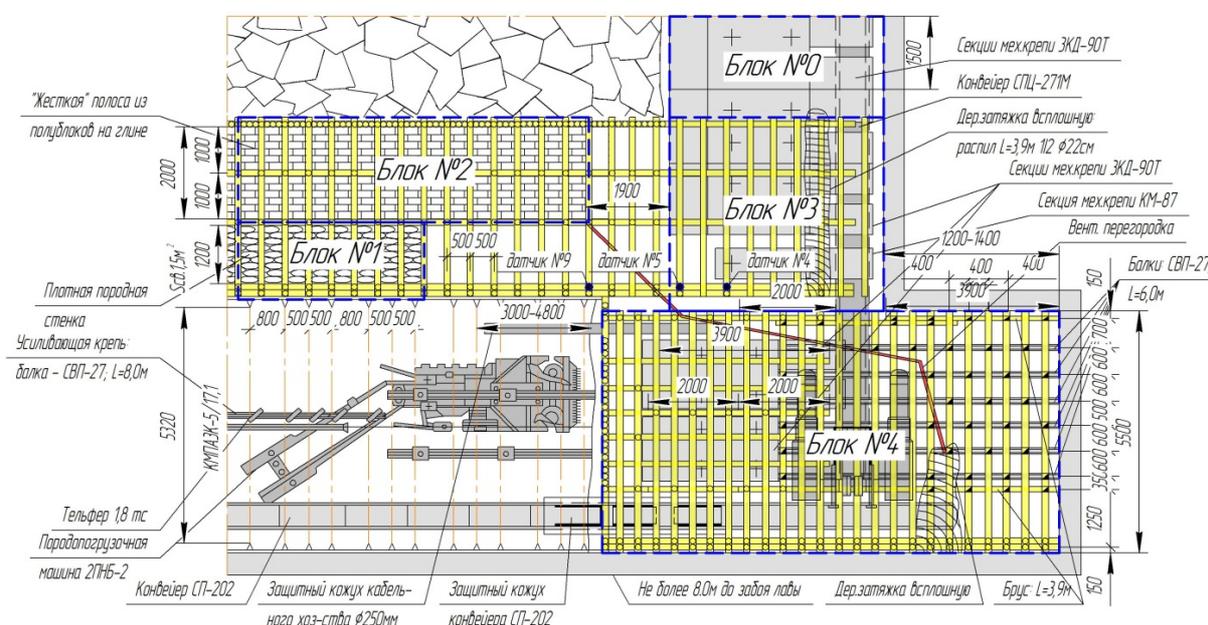


Рисунок 1 Разделение паспорта поддержания 5-го западного конвейерного штрека пл. m_3 на блоки

Таблица 1

Свойства горных пород и охранных сооружений для условий шахты «Щегловская-Глубокая»

Место	Слой	Порода	m , м	$\sigma_{сж}$, МПа	σ_p , МПа	E , МПа	μ	C , МПа	φ , °	δ , °	γ , кг/м ³
почва	1	Песч. сл.	25,31	68	15	27,22e3	0,235	15,97	39,68	39,68	2,73e3
	2	Песч. сл.	3,9	65	14,8	26,90e3	0,240	15,51	38,98	38,98	2,7e3
пласт	3	Уголь	1,52	15	1,5	0,42e3	0,08	9,9	38	28	1,32e3
кровля	4	Гл. сл.	13,28	60	10,4	27,85e3	0,140	12,50	45	45	2,73e3
	5	Песч. сл.	19,35	65	14,8	26,90e3	0,240	15,51	38,98	38,98	2,7e3
блок 0			–	0,8	–	7,02	0,3	–	–	–	840,95
блок 1 (шахтный/ предлагаемый вариант)			–	2,22/ 17,6	–	63,25/ 171,77	0,3	–	–	–	1996,9/ 649,15
блок 2			–	3,86	–	35,37	0,3	–	–	–	856,47
блок 3			–	0,99	–	14,95	0,3	–	–	–	721,11
блок 4			–	0,14	–	7,38	0,3	–	–	–	396,95

Порядок построения моделей, измеряемые параметры, а также критерий для выбора рациональных параметров были такими же, как и в [1].

Для того чтобы решить вторую и третью задачи, были построены графики зависимости площади под кривой доли объясненной дисперсии от модуля деформации тумб (рис. 2, а, б).

Анализ графиков показал, что при шаге первой посадки ($Ш_0 = 50$ м) площадь под кривой доли объясненной дисперсии для шахтного варианта охранного сооружения больше, чем у предлагаемых вариантов вне зависимости от модуля их деформации (рис. 2, а). Для выяснения причины этого сравнивали механизм разрушения массива вокруг выработки при использовании в качестве дополнительного охранного сооружения бутовой полосы и тумб с распором с минимальным модулем деформации, а также влияние увеличения модуля на изменение механизма разрушения.

Анализ результатов решения второй и третьей задач позволил сделать следующие выводы:

1. Тумбы с распором включаются в работу раньше бутовой полосы, что приводит к их быстрому разрушению: давление на контактах «тумба с распором — непосред-

ственная кровля», «тумба с распором — непосредственная почва» увеличивается. Чем выше модуль деформации тумб, тем давление на контактах выше. В результате сжимающие напряжения в тумбе увеличиваются. Чем выше модуль деформации тумб, тем сжимающие напряжения выше. Это ведет к тому, что разрушение тумбы наступает раньше и после разрушения её работа по поддержанию выработки уменьшается.

2. Использование тумб с максимальным модулем деформации $E_{деф. max} = 233$ МПа позволяет до момента их разрушения:

- уменьшить консоль (сжимающие напряжения в непосредственной кровле переносятся в горизонтальном направлении от выработанного пространства к выработке, в вертикальном — от кровли к почве;
- сформировать магистральную трещину.

При использовании тумб с распором разрушение происходит *не от растяжения* (процент расслоившихся элементов на контакте «основная кровля — непосредственная кровля» уменьшается). В результате площадь под кривой разрушения от растяжения для непосредственной кровли со стороны выработанного пространства уменьшается), *а от сжатия* (сжимающие напряжения в непосредственной кровле увеличиваются).

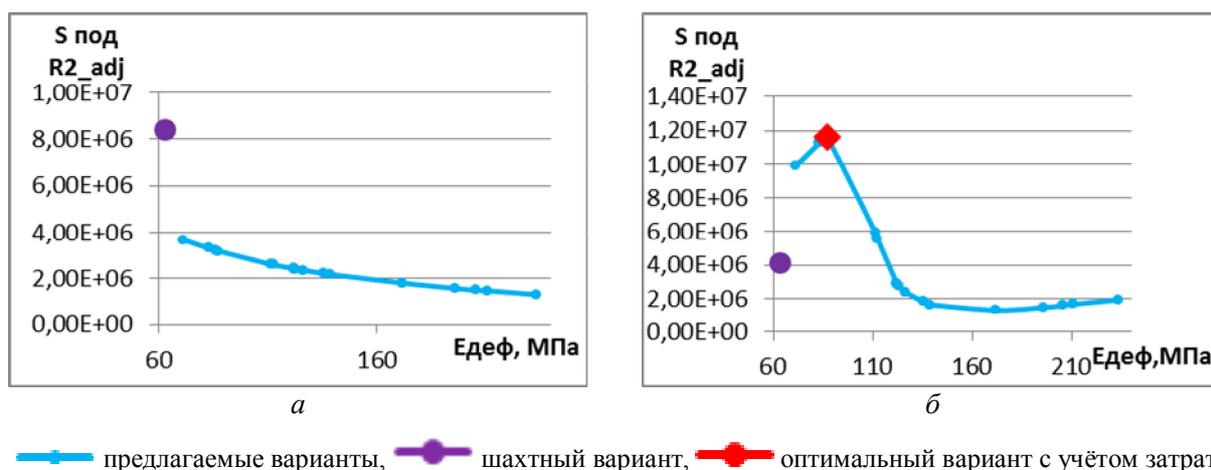


Рисунок 2 График зависимости площади под кривой доли объяснённой дисперсии S под R^2_{adj} от модуля деформации тумбы с распором $E_{деф}$, Па : а) $Ш_0 = 50$ м, б) $Ш_n = 15$ м

Для того чтобы решить четвертую задачу, были рассчитаны суммарные затраты на материалы и оплату труда для предлагаемого и шахтного варианта, а также затраты для туб с распором при варьировании их параметров. Оказалось, что только один вариант реализации туб с распором дешевле реализации шахтного варианта охранного сооружения.

Поскольку затраты на реализацию предлагаемого способа в данных горно-геологических условиях являются ограничивающим фактором, то использование туб с максимальным модулем деформации является экономически нецелесообразным. Однако введение в экономическое сравнение затрат на ремонт выработки может изменить данное утверждение. Определение величины затрат на ремонт выработки при шахтном и предлагаемом вариантах охранного сооружения при шаге первой посадки ($Ш_0 = 50$ м) требует дополнительных шахтных наблюдений за смещениями пород в выработку.

При шаге последующих посадок кровли ($Ш_n = 15$ м) для туб при модуле их деформации $E_{деф.} = 71–86$ МПа площадь под кривой доли объясненной дисперсии больше, чем у шахтного варианта. Она возрастает, достигая своего максимума при $E_{деф.} = 86$ МПа. Дальнейшее увеличение модуля деформации туб ведет к уменьшению площади под кривой, и она достигает своего минимума при $E_{деф.} = 172$ МПа, что соответствует параметрам охранного сооружения, реализованного на шахте «Рассвет-1» (рис. 2, б).

Для выяснения причины такого изменения площади под кривой сравнивали механизм разрушения массива вокруг выработки при использовании бутовой полосы и туб с распором с модулем деформации $E_{деф.} = 86$ МПа, а также влияние изменения модуля от $E_{деф.} = 86$ МПа до $E_{деф.} = 172$ МПа на изменение механизма разрушения.

Анализ результатов решения четвертой задачи позволил сделать следующие выводы:

1. Так же, как и при шаге первой посадки $Ш_0 = 50$ м, давление на контактах «тум-

ба с распором — непосредственная кровля» с ростом модуля деформации увеличивается. Чем выше модуль деформации туб, тем давление на контакте больше. В результате этого сжимающие напряжения в тубе также увеличиваются. Однако в отличие от шага первой посадки $Ш_0 = 50$ м давление на контакте «тумба с распором — непосредственная почва» при применении тубы с $E_{деф.} = 86$ МПа увеличивается до тех пор, пока не произойдет ее разрушение, а при увеличении модуля от $E_{деф.} = 86$ МПа до $E_{деф.} = 172$ МПа давление увеличивается вне зависимости от ее разрушения.

2. В отличие от шага первой посадки $Ш_0 = 50$ м уменьшение консоли и формирование магистральной трещины происходит от сжатия, а не от растяжения при модуле деформации $E_{деф.} \geq 86$ МПа.

Сжимающие напряжения в непосредственной кровле при применении тубы с $E_{деф.} = 86$ МПа меньше, чем при применении шахтного варианта охранного сооружения до тех пор, пока не произойдет ее разрушение. При увеличении модуля от $E_{деф.} = 86$ МПа до $E_{деф.} = 172$ МПа сжимающие напряжения в непосредственной кровле больше, чем при применении шахтного варианта вне зависимости от разрушения туб.

Сжимающие напряжения в непосредственной кровле переносятся в горизонтальном направлении от выработанного пространства к выработке, в вертикальном — от кровли к почве.

3. При применении тубы с $E_{деф.} = 86$ МПа сжимающие напряжения переносятся в горизонтальном направлении: в тубах — от передней границы модели к месту их установки, в непосредственной кровле — от места выкладки стенки из газобетонных блоков к передней границе модели. В результате, несмотря на то, что разрушение туб наступает раньше, эффективность работы по поддержанию выработки туб и стенки из газобетонных блоков увеличивается, а пласта со стороны массива — уменьшается.

При увеличении модуля с $E_{деф.} = 86$ МПа до $E_{деф.} = 172$ МПа, несмотря на то, что разрушение тумб наступает позже, эффективность работы по поддержанию выработки тумб и стенки из газобетонных блоков уменьшается, а пласта со стороны массива — увеличивается.

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 бутовая полоса тратит на это 32 % от шага нагрузки при $Ш_0 = 50$ м и 57 % от шага нагрузки при $Ш_n = 15$ м.

Затраты на реализацию предлагаемого способа в данных горно-геологических условиях являются ограничивающим фактором. Поэтому рациональными параметрами будут те, которые дают максимальную площадь под кривой доли объясненной дисперсии (рис. 2, б) и затраты на реализацию которых меньше, чем при шахтном варианте. К ним относятся: диаметр опалубки $D_{он} = 0,5715$ м, высота опалубки $H_{он} = 1,41$ м, шаг установки опалубок $L_{он} = 1,2$ м, диаметр трубки $d_{мп} = 0,12$ м, диаметр породы $d_{ноп} = 5...10$ мм, количество рядов опалубок $n_{ряд}^{он} = 1$.

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

1. При использовании тумб с распором в качестве дополнительного охранного сооружения при шаге первой посадки ($Ш_0 = 50$ м) увеличение модуля деформации ведет к уменьшению площади под кривой доли объясненной дисперсии, при этом она для тумб с распором вне зависимости от модуля их деформации меньше, чем у традиционного охранного сооружения. Это происходит вследствие того, что тумбы с распором включаются в работу раньше традиционного охранного сооружения, что приводит к их быстрому разрушению.

Несмотря на это, использование тумб с максимальным модулем деформации

($E_{деф. max} = 233$ МПа) позволяет до момента их разрушения сформировать устье магистральной трещины не от растяжения в основной кровле на контакте её с непосредственной, а от сжатия в непосредственной кровле на контакте её с основным охранном сооружением со стороны выработанного пространства.

2. При использовании тумб с распором в качестве дополнительного охранного сооружения при шаге последующих посадок кровли ($Ш_n = 15$ м) при модуле их деформации $E_{деф.} = 71-86$ МПа площадь под кривой доли объясненной дисперсии больше, чем у шахтного варианта. Она возрастает, достигая своего максимума при $E_{деф.} = 86$ МПа. Дальнейшее увеличение модуля деформации тумб ведет к уменьшению площади под кривой, и она достигает своего минимума при $E_{деф.} = 172$ МПа.

3. Полученный положительный эффект от использования тумб с распором является следствием того, что тумбы всей своей поверхностью с первого подшага нагрузки включаются в работу по поддержанию выработки, в то время как бутовая полоса тратит на это 32 % от шага нагрузки при $Ш_0 = 50$ м и 57 % от шага нагрузки при $Ш_n = 15$ м.

4. В условиях шахты «Щегловская-Глубокая» максимальную площадь под кривой доли объясненной дисперсии дают тумбы с модулем деформации $E_{деф.} = 86$ МПа. В данных горно-геологических условиях затраты на реализацию предлагаемого способа являются ограничивающим фактором и рациональными параметрами тумб являются те, которые дают максимальную площадь под кривой доли объясненной дисперсии и затраты на реализацию которых меньше, чем при шахтном варианте: диаметр опалубки $D_{он} = 0,5715$ м, высота опалубки $H_{он} = 1,41$ м, шаг установки опалубок $L_{он} = 1,2$ м, диаметр трубки $d_{мп} = 0,12$ м, диаметр породы $d_{ноп} = 5...10$ мм, количество рядов опалубок $n_{ряд}^{он} = 1$.

Библиографический список

1. Малышева, Н. Н. Влияние времени вступления в работу охранного сооружения на эффективность поддержания выработки в условиях шахты «Рассвет-1» [Текст] / Н. Н. Малышева // Сборник научных трудов ДонГТУ. — 2020. — № 18 (61). — С. 50–57.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

© 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.

Assistant Lecturer 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 “SHCHEGLOVSKAYA-GLUBOKAYA” MINE**

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), as well 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, area under the curve, fraction of explained variance, modulus of deformation.