

И.Г. Сахно, канд. техн. наук, доцент

(ГВУЗ «ДонНТУ»)

**ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКОСТИ ОХРАННОГО СООРУЖЕНИЯ НА
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОРОДНОГО
МАССИВА ВОКРУГ ВЫРАБОТОК, ПОДДЕРЖИВАЕМЫХ ЗА ЛАВОЙ**

I.G. Sakhno, канд. техн. наук, доцент

(ДВНЗ «ДонНТУ»)

**ВПЛИВ ЖОРСТКОСТІ ОХОРОННОЇ СПОРУДИ НА НАПРУЖЕНО-
ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ПОРОДНОГО МАСИВУ НАВКОЛО
ВИРОБОК, ЯКІ ПІДТРИМУЮТЬСЯ ЗА ЛАВОЮ**

I.G. Sakhno, Ph.D. (Tech.), Associate Professor

(SHEE «DonNTU»)

**IMPACT OF RIGIDITY OF A PROTECTIVE CONSTRUCTION ON THE
STRESS-STRAIN STATE OF THE ROCK MASS AROUND THE
ROADWAYS SUPPORTED AFTER THE LONGWALL**

Аннотация. Важнейшей задачей, стоящей перед угольной отраслью Украины традиционно является обеспечение эксплуатационного состояния горных выработок и повышение их надежности. Целью исследований, представленных в статье, является изучение изменения геомеханической ситуации вокруг подготовительной выработки при ее переходе в зону поддержания позади очистного забоя и установление влияния жесткости охранного сооружения на устойчивость подготовительной выработки за лавой.

Исследование проводилось методом конечных элементов. В результате моделирования установлено, что при поддержании выработок за лавой локализация максимальных напряжений и вид объемного напряженного состояния в основной кровле, зависающей на границе с выработанным пространством, определяется жесткостью охранной полосы. Область формирования максимальных напряжений в основной кровле определяет место ее разрушения и устойчивость охраняемой выработки. При недостаточной жесткости охранной полосы или ее запоздалом включении в работу возникает необходимость разработки способов охраны направленных на принудительное обрушение основной кровли над охранной полосой с целью обеспечения устойчивости выработок за лавой. В результате проведенных исследований определена область применения способов принудительного обрушения основной кровли.

Ключевые слова: горная выработка, напряжения, деформации, разрушение, обрушение, кровля.

Введение. Долгие годы одной из основных проблем угольных шахт Украины является недостаточная эксплуатационная надежность горных выработок. Сложившееся положение с проведением и ремонтом горных выработок привело к диспропорции в распределении рабочих по отдельным видам работ.

Численность проходчиков практически сравнялась с численностью горнорабочих очистного забоя, а число работников вспомогательных служб за счет рабочих по ремонту выработок превысила 70% от общей численности рабочих по добыче [1].

Поэтому важнейшей задачей, стоящей перед угольной отраслью Украины, наряду с наращиванием уровня добычи и обновлением шахтного фонда, традиционно является обеспечение эксплуатационного состояния горных выработок и повышение их надежности. Известно, что наибольшие смещения наблюдаются в подготовительных выработках. Результаты оценки состояния подготовительных горных выработок показывают, что 14-17% их находятся в неудовлетворительном состоянии. При этом выработки, поддерживаемые за лавой, ремонтируются не менее одного раза.

Устойчивость горных выработок в первую очередь определяется напряженно-деформированным состоянием (НДС) окружающего породного массива. Изменение НДС в окружающих выработку породах на больших глубинах стала причиной того, что большинство известных способов поддержания исчерпали свои возможности в части обеспечения устойчивости выработок. На современных шахтах в качестве охранных сооружений наиболее часто используются сплошные полосы, возводимые за лавой из различных материалов (бутовые полосы, полосы из искусственных элементов, литые полосы). При этом разброс модуля деформации материала охранных полос достигает трех порядков.

Целью исследований было изучение изменения (НДС) массива вокруг подготовительной выработки при переходе ее в зону поддержания позади очистного забоя, установление влияния жесткости охранных сооружений на устойчивость подготовительной выработки за лавой.

Методы исследований. Особенностью исследования геомеханических процессов является широкое распространение физического и математического моделирования. Методы физического моделирования, реализуемые в основном на эквивалентных моделях, позволяют получать качественную картину сдвижений и разрушений в породной толще. Однако реализация этих методов связана с большой трудоемкостью изготовления моделей, их тарировки, значительными затратами времени и относительно небольшим количеством получаемой информации. Кроме того, при применении этого метода достаточно сложно обеспечить точность условий приготовления эквивалентного материала и пригрузки модели при проведении серии однотипных экспериментов.

Математическое моделирование, реализуемое с помощью аналитических и численных методов, является одним из основных современных инструментов, позволяющих исследовать напряженно-деформированное состояние породного массива.

В геомеханике в последнее время широко используются численные методы моделирования. Из них лидирующее положение занимает метод конечных элементов (МКЭ) [2], с помощью которого и решалась поставленная задача. Реализация МКЭ осуществлялась в программном комплексе ANSYS.

Теоретическая часть.

Моделировалась выработка арочной формы, поддерживаемая за лавой отра-

батывающей пласт угля мощностью 1,5м на глубине 800м. Залегание пород условно принято горизонтальным. Непосредственная кровля представлена алевролитом мощностью 2,5м, прочностью на одноосное сжатие 40МПа. Основная кровля - песчаник мощностью 6,0м, прочностью 70МПа. Породы почвы - аргиллит с прочностью на одноосное сжатие 40МПа. Согласно описанной структурной колонке пласта для каждого слоя задавались модуль деформации (МПа), коэффициент поперечной деформации (Пуассона), угол внутреннего трения, коэффициент сцепления, угол дилатансии. Исходные данные для моделирования были взяты из кадастра физических свойств горных пород [3] для условий Донецко-Макеевского угленосного района. Материал, имитирующий горные породы, описывали базовой изотропной моделью Друкера-Прагера. Решалась объемная задача в нелинейной постановке. Рассматривается геомеханическая ситуация формирующаяся в массиве за лавой после выемки угля и обрушения непосредственной кровли. При этом исходили из предположения, что непосредственная кровля, имеющая относительно невысокую прочность обрушается без существенных зависимостей в выработанном пространстве.

Моделировали НДС пород вмещающих подготовительную выработку за лавой в зависимости от типа охранного сооружения. В качестве способа охраны выработки принята сплошная полоса. Так как охранные полосы могут иметь различную ширину, усадку и податливость, их интегральным показателем приемлем удельную жесткость полосы в направлении нормальном напластованию. Эта характеристика позволяет оценивать способность элемента сопротивляться деформации при внешнем воздействии, являясь, по сути, величиной обратной податливости. Удельную жесткость будем определять как произведение модуля деформации на единицу площади сечения полосы. В модели предполагается моментальное вступление в работу охранной полосы с заданным режимом деформирования. Моделируемые способы охраны приведены в таблице 1.

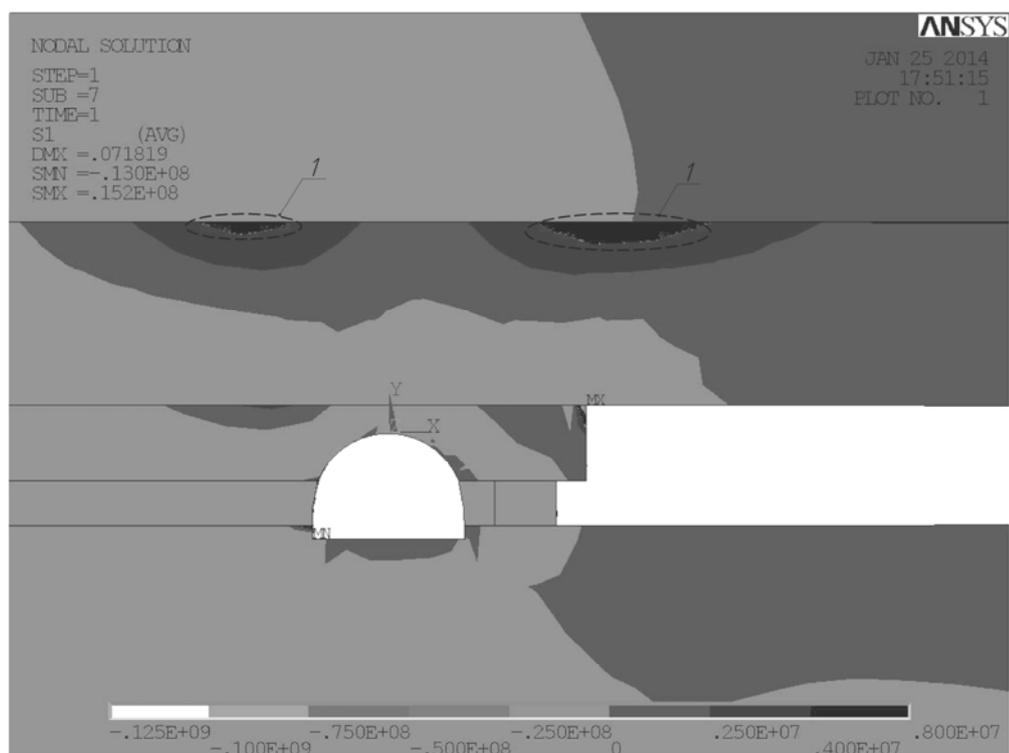
Таблица 1 – Моделируемые охранные сооружения

№ п/п	Способ охраны	Удельная жесткость полосы, $c_{п}$ ГН
1	Литая полоса из быстротвердеющих материалов	12
2	Полоса из БЖБТ с деревянными прокладками	6
3	Угольный целик (до момента разрушения)	2
4	Полоса из породных полублоков	1,2
5	Бутокостры	0,6
6	Бутовая полоса (пневмозакладка)	0,2
7	Бутовая полоса (механическая закладка)	0,02

В настоящее время нет единого мнения о наиболее приемлемой теории прочности для горных пород в объемном поле напряжений, существующие классические теории прочности дают заниженные значения предельных напряжений в 3-8 раз в зависимости от вида объемного напряженного состояния. При

этом предел прочности зависит от соотношений компонент тензора напряжений. Поэтому анализ напряжений вокруг выработки проводился по картинам распределения алгебраически наибольших (растягивающих) главных напряжений – $S1$ (σ_1) (I теория прочности), по эквивалентным напряжениям – SEQV (IV теория прочности, или критерий максимальной энергии формоизменения), и по интенсивности напряжений – SINT, (теория максимальных касательных напряжений, III теория прочности). Во всех этих гипотезах рассчитанные напряжения необходимо сравнивать с пределом прочности (текучести) при простом растяжении.

Результаты и их обсуждение. На рис. 1-3 представлены картины распределения напряжений вокруг охраняемой выработки при длине зависающей консоли 30м, рассчитанные по разным теориям прочности при жесткости охранной полосы 2ГН.



1 – область максимальных растягивающих напряжений

Рисунок 1 – Распределение главных напряжений $S1$ (σ_1) вокруг горной выработки под-держиваемой за лавой при удельной жесткости полосы 2 ГН

Из рисунка 1 видно, что в верхней части основной кровли формируются две области максимальных главных напряжений $S1$ (σ_1), напряжения в которых достигают предельных. При этом над охранной полосой эта область имеет больший размер и возникающие в ней напряжения больше. Это может свидетельствовать о вероятном месте обрушения консоли над охранной полосой. Анализ рисунков 2 и 3 показывает, что в кровле в тех же местах формируются максимальные напряжения SINT и SEQV, однако абсолютная величина этих напряжений больше над угольным пластом.

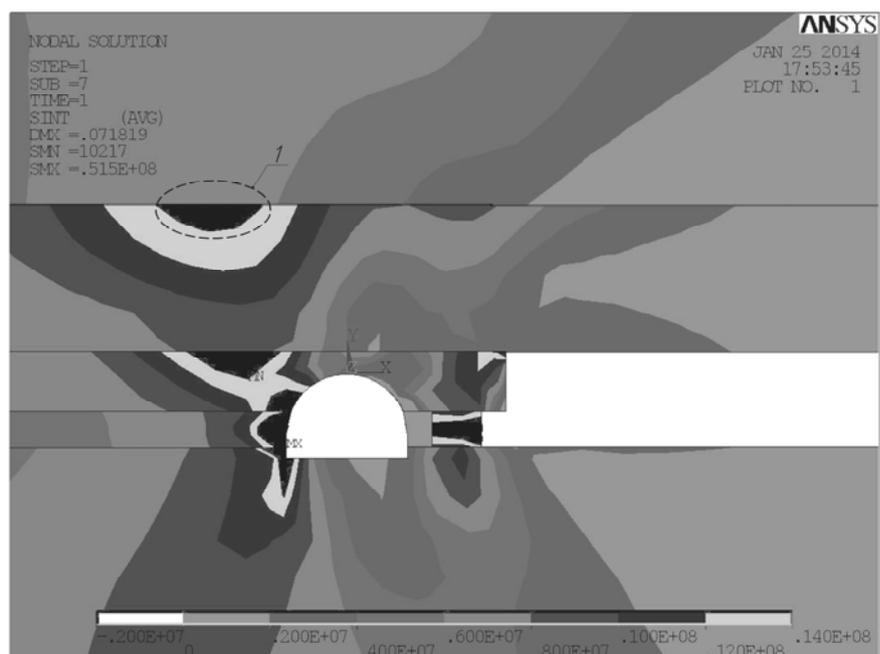
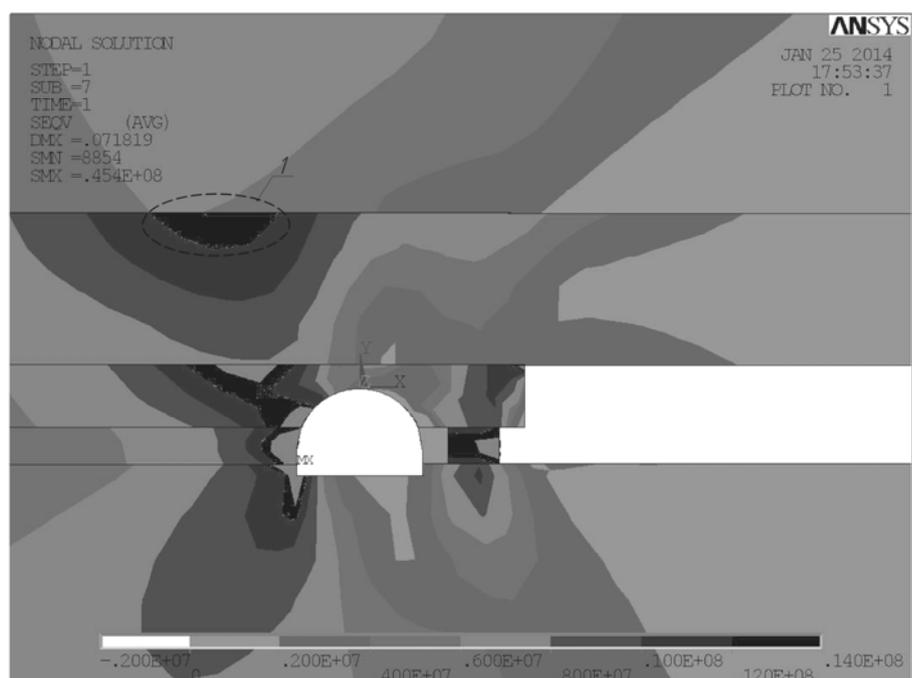


Рисунок 2 – Распределение напряжений SINT вокруг горной выработки поддерживаемой за лавой при удельной жесткости полосы 2 ГН



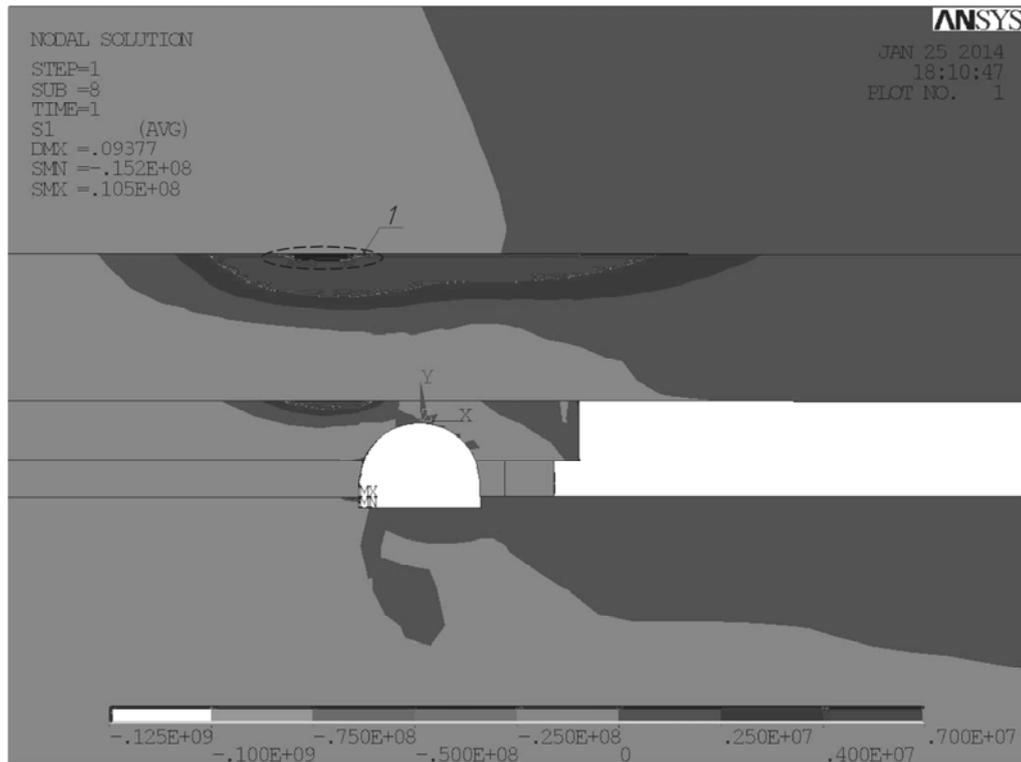
1 – область максимальных напряжений

То-же, что и на 1 рисунке

Рисунок 3 – Распределение напряжений SEQV вокруг горной выработки, поддерживаемой за лавой при удельной жесткости полосы 2 ГН

В области максимальных напряжений превышение над предельными более чем в 2 раза. Это может свидетельствовать об обрушении консоли со стороны пласта.

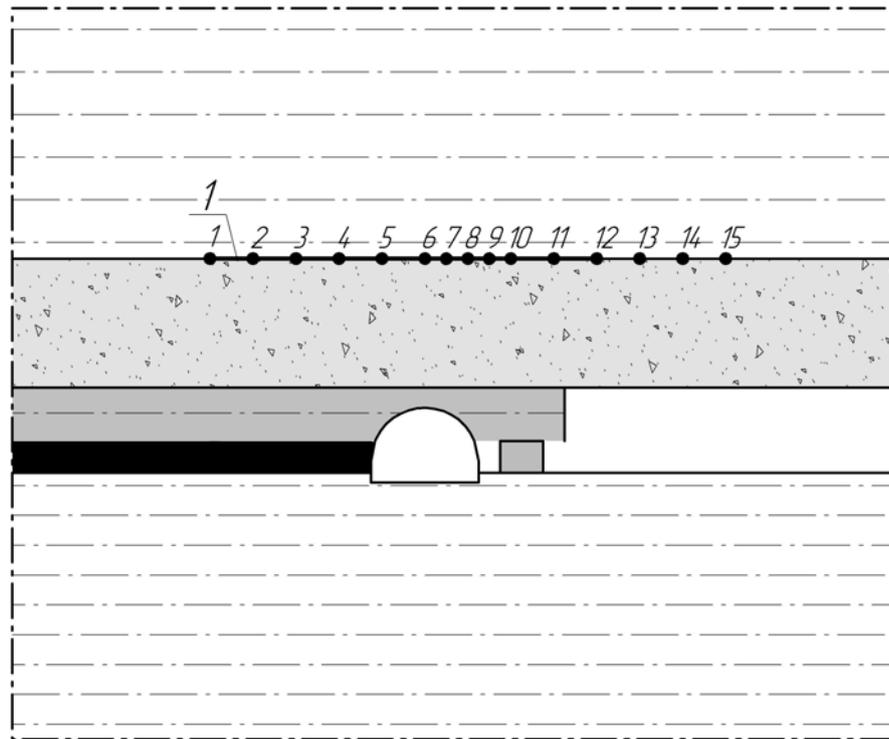
Изменение жесткости охранного сооружения приводит к смещению области максимальных напряжений в основной кровле относительно охраняемой подготовительной выработки, что наглядно видно на рисунке 4. Так при охране выработки бутовой полосой возводимой с помощью пневмозакладки область максимальных напряжений $S1$ (σ_1) смещается в сторону нетронутого пласта.



1 – область максимальных растягивающих напряжений

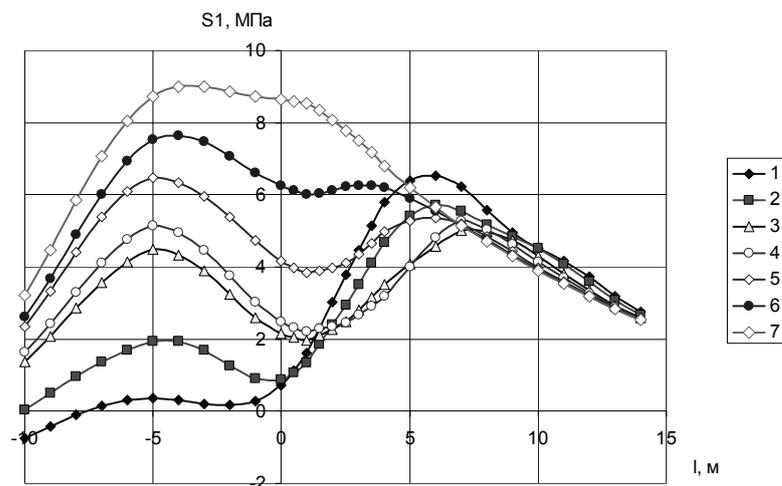
Рисунок 4 – Распределение главных напряжений $S1$ (σ_1) вокруг горной выработки под-держиваемой за лавой при удельной жесткости полосы 0,2 ГН

Для оценки влияния жесткости охранного сооружения на локализацию области максимальных напряжений в основной кровле, и соответственно вероятное место разрушений кровли проанализируем напряжения, формирующиеся в верхней части зависающей консоли основной кровли. Точки фиксации напряжений приведены на рисунке 5. Начало координат на рисунке 5 соответствует центру свода арочной крепи.



1 – линия в верхней части зависающей консоли основной кровли
 Рисунок 5 – Схема модели с точками фиксации напряжений

На рисунках 6 и 7 приведены графики изменения расчетных напряжений (σ_1), и SEQV в модели по линии 1, проведенной посредине верхней грани слоя основной кровли. Ось ординат на графике соответствует поперечной оси сечения охраняемой выработки. Положительное направление оси абсцисс совпадает с направлением от выработки на выработанное пространство лавы.



1 – 12ГН, 2 – 6ГН, 3 – 2 ГН, 4 – 1,2ГН, 5 – 0,6ГН, 6 – 0,2ГН, 7 – 0,02ГН.

То-же, что и на 1 рисунке, оси – по краям

Рисунок 6 - Расчетные напряжения S_1 (σ_1) по линии 1, проведенной по верхней грани слоя основной кровли, при жесткости охранной полосы соответственно

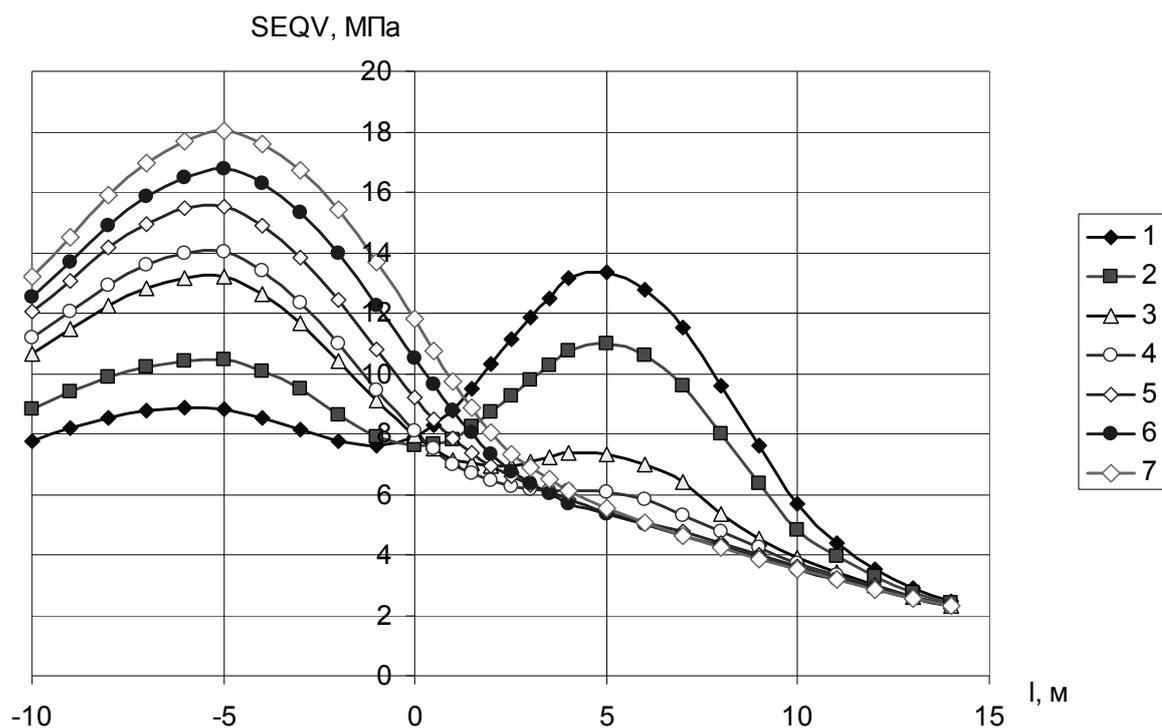


Рисунок 7 – Расчетные напряжения SEQV по линии 1, проведенной по верхней грани слоя основной кровли, при жесткости охранный полосы соответственно 1 – 12ГН, 2 – 6ГН, 3 – 2 ГН, 4 – 1,2ГН, 5 – 0,6ГН, 6 – 0,2ГН, 7 – 0,02ГН

Из рисунков видно, что в кровле формируются две области максимальных напряжений (σ_1) и). Место их локализации над охранный полосой (точка 11 рис. 5, горизонтальная координата 6 рис. 6, 7), и над пластом (между точками 3 и 4 рис. 5, горизонтальная координата -5 рис. 6, 7).

Сравнение показывает, что с точки зрения первой теории прочности (рис. 6) равновероятно разрушение и над охранный полосой и над пластом при жесткости полосы 1,2ГН, так как максимальные растягивающие напряжения одинаковы и составляют 5,15МПа. С позиций энергетической теории прочности (рис. 7) равновероятно разрушение над охранным сооружением и пластом при жесткости полосы 6ГН, максимальные напряжения около 10,5МПа. Таким образом, разница при принятии различных теорий прочности в 5 раз. Поскольку породы находятся в объемном поле напряжений для выбора более подходящей теории прочности для дальнейшего анализа проанализируем графики зависимости параметра напряженного состояния Лоде-Надаи μ_c для основной кровли по линии 1 (рис. 8) и в точках максимумов напряжений (рис. 9) от жесткости охранный полосой. Известно, что наименее энергоемкий вид объемного напряженного состояния «обобщенный сдвиг» [4].

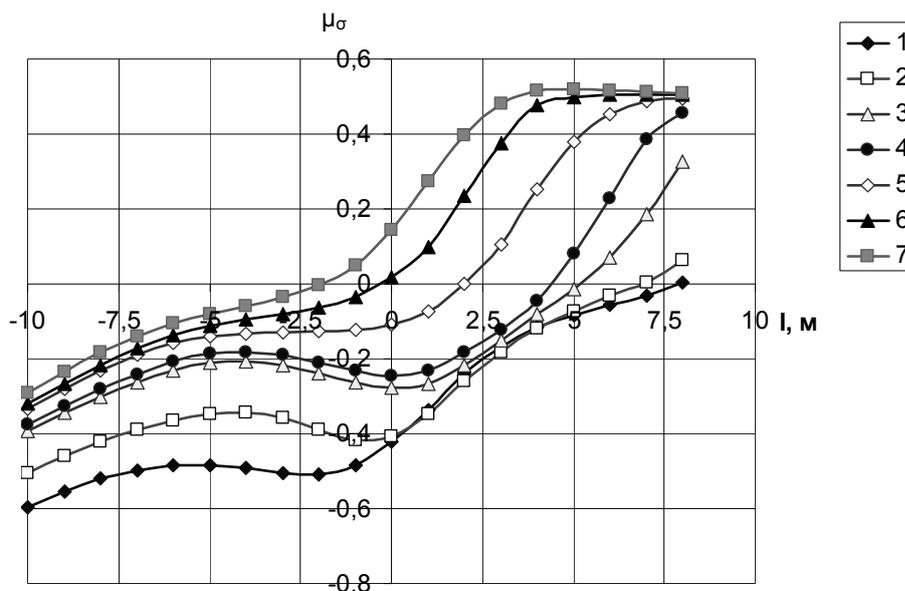


Рисунок 8 - Зависимость вида напряженного состояния μ_σ в основной кровле по линии 1, проведенной по верхней грани слоя основной кровли, при жесткости охранной полосы соответственно 1 – 12ГН, 2 – 6ГН, 3 – 2 ГН, 4 – 1,2ГН, 5 – 0,6ГН, 6 – 0,2ГН, 7 – 0,02ГН при длине консоли 30м

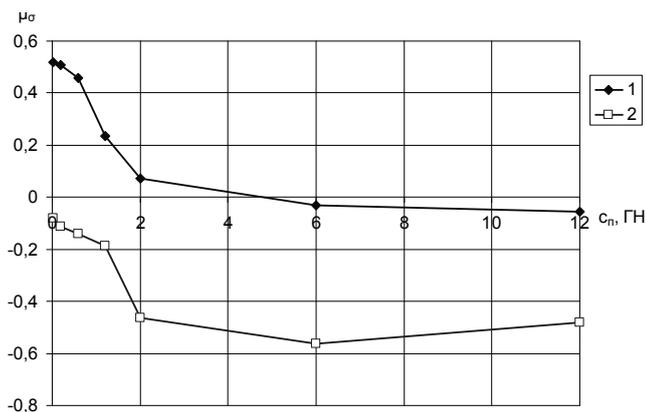


Рисунок 9 - Зависимость вида напряженного состояния μ_σ в точках 11 (1) и между точками 3 и 4(2) по линии 1 от жесткости охранной полосы

Из графиков видно, что породы основной кровли в области максимальных напряжений над охранной полосой (точка 11 рис. 5) при жесткости полосы от 12 до 2 ГН находятся в состоянии близком к обобщенному сдвигу, уменьшение жесткости полосы менее 2ГН приводит к переходу напряженного состояния ближе к обобщенному растяжению, которое является наиболее энергоемким для разрушения. В тоже время область пород основной кровли над пластом (между точками 3 и 4 рис. 5) при жесткости полосы от 12 до 2 ГН находятся в состоянии между обобщенным сжатием и обобщенным сдвигом, а снижение жесткости менее 2 приводит к приближению напряженного состояния к обобщенному сдвигу. Из рисунка 9 можно сделать вывод, что при возникновении одинаковых напряжений в областях максимумов, при диапазоне жесткости полосы 12-2ГН, более вероятно обрушение над охранной полосой. Учитывая соотношение компонент тензора в области максимальных напряжений в основной

кровле и механизм обрушения консоли, а также то, что предел прочности горных пород на растяжение меньше предела прочности на сжатие примерно на порядок примем в качестве критерия для дальнейшего анализа первую теорию прочности.

Таким образом, для рассмотренного случая можно сделать вывод, что при жесткости охранной полосы от 12 до 2 ГН (везде пробелы перед е. изм.) область максимальных напряжений формируется в породах основной кровли над охранном сооружением, в верхней части, зависающей породной консоли (точка 11 рис. 5), при этом породы в области максимума находятся в состоянии обобщенного сдвига. Образование области максимальных напряжений обусловлено изгибом основной кровли в выработанном пространстве после выемки угля. Вероятно первичное разрушение пород основной кровли именно в этом месте. Это обеспечит обрушение зависающей основной кровли в выработанное пространство, что приведет к снижению нагрузки на охранную полосу и контур охраняемой подготовительной выработки. Это позволит обеспечить дальнейшую устойчивость выработки.

При жесткости полосы от 2ГН до 1,2 ГН возникновение первичного разрушения равновероятно и над охранном сооружением и над пластом, и будет определяться структурным строением пород.

При жесткости полосы менее 1,2ГН область максимальных напряжений формируется в породах основной кровли над пластом, в верхней части, зависающей породной консоли (между точками 3 и 4 рис. 5). Породы также находятся в состоянии близком к обобщенному сдвигу. Вероятно первичное разрушение пород основной кровли над пластом. После обрушения основной кровли в этом случае вес породной консоли частично ляжет на приконтурные породы и охранное сооружение, что вызовет асимметричное нагружение крепи подготовительной выработки и ее деформирование, дальнейшее развитие геомеханических процессов вокруг выработки приведет к потере устойчивости охраняемой выработки.

Очевидно, что полученные результаты определяются не только жесткостью полосы c_n , но и жесткостью угольного пласта c_y , которая может колебаться, поэтому более верно делать выводы не по абсолютным величинам жесткости охранной полосы, а по ее отношению к жесткости угля. В решаемой задаче жесткость угольного пласта составляла 2,0 ГН. Таким образом, полученные результаты можно свести к выводу, что при жесткости полосы больше чем угольного пласта $\frac{c_n}{c_y} > 1$ разрушение основной кровли будет происходить над охранной полосой, что позволит сохранить устойчивость выработки. В случае, когда жесткость полосы ниже жесткости угля $\frac{c_n}{c_y} < 1$ разрушение происходит над угольным пластом, что приводит к значительной потере сечения выработки. А при одинаковой жесткости угля и охранной полосы возникновение разрушения равновероятно над охранном сооружением и над пластом и будет определяться структурным строением пород.

Из результатов исследований следует, что наиболее эффективными способами охраны выработок за лавой являются жесткие сооружения – БЖБТ и литые полосы. При условии их возведения сразу после выемки угля и моментального вступления в рабочий режим деформирования в основной кровле на границе с выработанным пространством формируются условия для ее обрушения над охранной полосой, что создает предпосылки для обеспечения устойчивости выработок за лавой. В случае недостаточной жесткости охранной полосы или ее запоздалом включении в работу для поддержания выработок за лавой необходимо применять дополнительные мероприятия для принудительного обрушения консоли основной кровли со стороны выработанного пространства.

Выводы. Результаты проведенных исследований показывают, что при поддержании выработок за лавой распределение напряжений и вид объемного напряженного состояния в основной кровле, зависящей на границе с выработанным пространством, в большой степени определяется жесткостью охранной полосы. Область формирования максимальных напряжений в основной кровле определяет место ее разрушения и устойчивость охраняемой выработки.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что при жесткости полосы больше чем угольного пласта $\frac{c_n}{c_y} > 1$ разрушение основной кровли будет происходить над охранной полосой, что позволит сохранить устойчивость выработки. В случае, когда жесткость полосы ниже жесткости угля $\frac{c_n}{c_y} < 1$ разру-

шение основной кровли происходит над угольным пластом, что приводит к значительной потере сечения выработки. А при одинаковой жесткости угля и охранной полосы возникновение разрушения равновероятно над охранным сооружением и над пластом и будет определяться структурным строением пород.

Отсюда вытекает необходимость разработки способов охраны направленных на принудительное обрушение основной кровли над охранной полосой с целью обеспечения устойчивости выработок за лавой и определяется область применения этих способов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабиюк, Г. В. Управление надежностью горных выработок: монография / Г.В. Бабиюк. – Донецк: Світ книги, 2012. – 420 с.
2. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике / О. Зенкевич. – М.: Мир, 1975. – 539с.
3. Мельников Н. В. Справочник (кадастр) физических свойств горных пород / Н. В. Мельников, В. В. Ржевский, М. М. Протодьяконов – М.: Недра, 1975. 279 с.
4. Норель, Б.К. Изменение механической прочности угольного пласта в массиве / Б.К. Норель, М.: Наука, 1982, 128с

REFERENCES

1. Babijuk, G.V. (2012), *Upravleniye nadezhnostyju gornyx vyrabotok* [Dependability management of mine workings], Svit knigi, Donetsk, Ukraine.
2. Zienkiewicz, O. (1975), *Metod konechnikh elementov v tekhnike* [The finite element method in the technique], Mir, Moscow, SU.
3. Melnikov, N. V., Rzhetskij V. V. and Protod'jakonov M. M. (1975), *Spravochnik (kadastr) fizicheskikh svojstv gornyh porod* [Handbook (cadastre) physical properties of rocks], Nedra, Moscow, SU.

4. Norel, B.K. (1982), *Izmeneniye mekhanicheskoy prochnosti ugolnogo plasta v massive* [Changing the mechanical strength of the coal seam in the array], Nauka, Moscow, SU.

Об авторах

Сажно Иван Георгиевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет» (ГВУЗ «ДонНТУ»), Донецк, Украина, sahno_i@mail.ru.

About the authors

Sahno Ivan Georgievich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor, State Higher Educational Institution “Donetsk National Technical University”, Donetsk, Ukraine, e-mail: sahno_i@mail.ru.

Анотація. Найважливішим завданням, що стоїть перед вугільною галуззю України традиційно є забезпечення експлуатаційного стану гірничих виробок і підвищення їх надійності. Метою досліджень, представлених у статті, є вивчення зміни геомеханічної ситуації навколо підготовчої виробки при її переході в зону підтримання позаду очисного вибою і встановлення впливу жорсткості охоронної споруди на стійкість підготовчої виробки за лавою.

Дослідження проводилося методом кінцевих (скінченних) елементів. У результаті моделювання встановлено, що при підтримці (підтриманні) виробок за лавою локалізація максимальних напруг (напружень) и т.д. і вид об'ємного напруженого стану в основній покрівлі, на кордоні з виробленим простором, визначається жорсткістю охоронної смуги. Область формування максимальних напруг в основній покрівлі визначає місце її руйнування і стійкість виробки, яка охороняється. При недостатній жорсткості охоронної смуги або її запізненому включенні в роботу виникає необхідність розробки способів охорони націлених на примусове обвалення основної покрівлі над охоронною смугою з метою забезпечення стійкості виробок за лавою. В результаті проведених досліджень визначено область застосування способів примусового обвалення основної покрівлі.

Ключові слова: гірнича виробка, напруги, деформації, руйнування, обвалення, покрівля.

Abstract. The most important challenge with which the Ukrainian coal industry traditionally faces is providing an operating stability for the mine tunnels and improving their reliability. Purpose of the research presented in this paper is to study changes in the geomechanical situation around a preparatory roadway when it enters a supporting zone behind a stope and to determine an impact of rigidity of a protective construction on stability of the preparatory roadway after the longwall.

The study was conducted by finite element method. The simulation found that at supporting the tunnel after the longwall, location of maximum stresses and type of the volume stress state in the main roof on the border with the goaf were dependent on the rigidity of protective construction. Area of the maximum stress formation in the main roof determines a point of the roof destruction and stability of the protected tunnel. In case of insufficient rigidity of the protective construction or its delayed inclusion into the work it is necessary to develop special methods of protection which can cause a forced destruction of the main roof over the protective construction and ensure the tunnel stability after the longwall. The studies defined spheres where methods of the forced destruction of the main roof can be applied.

Keywords: tunnel, stress, deformation, destruction, caving, roof.

Стаття поступила в редакцію 12.02.2014

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук К.К. Софийским

В.П. Франчук, д-р техн. наук, профессор,
А.А. Бондаренко, канд. техн. наук, доцент
(ДВУЗ «НГУ»)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ГИДРАВЛИЧЕСКОМ ГОРИЗОНТАЛЬНОМ КЛАССИФИКАТОРЕ

В.П. Франчук, д-р техн. наук, професор,
А.О. Бондаренко, канд. техн. наук, доцент
(ДВНЗ «НГУ»)

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСУ РУХУ РІДИНИ В ГІДРАВЛІЧНОМУ ГОРИЗОНТАЛЬНОМУ КЛАСИФІКАТОРІ

V.P. Franchuk, D.Sc. (Tech.), Professor,
A.O. Bondarenko, Ph.D. (Tech.), Associate Professor
(SHEE «NMU»)

THEORETICAL BASIS FOR THE LIQUID FLOWING PROCESS IN HYDRAULIC HORIZONTAL CLASSIFIER

Аннотация. Ввиду несоответствия качества природных нерудных песков, по набору основных контролируемых физико-механических свойств, действующим нормам к конечной продукции требуется переработка исходного сырья. Как правило, первичная переработка предусматривает, в том числе, отделение от песка мелких, пылеватых, глинистых, илистых (диспергированных) примесей. Наиболее предпочтительным устройством, позволяющим эффективно выделять мелкодисперсные примеси, может служить классификатор гидравлический горизонтальный. Процесс гравитационной переработки зернистых материалов в горизонтальном потоке пульпы сопровождается течением несущего потока в пределах разнонаклонных поверхностей, а также оттоком вниз сгущенной пульпы. Для корректного описания процесса разработана математическая модель движения потока в проточной части классификатора, с применением уравнения Эйлера для идеальной (невязкой) жидкости. В результате математического моделирования получены теоретические зависимости для скорости и ускорения потока, разделенного на характерные участки: разделения, осаждения, истечения. Целью работы явилось разработка математической модели движения несущего горизонтального потока на участках разделения, осаждения и истечения проточной части классификатора гидравлического горизонтального. Разработанная математическая модель позволяет получить значения скоростей и ускорений потока в характерных участках процесса, это позволит обосновать рациональные параметры устройства, применяемого для гравитационной переработки зернистых материалов.

Ключевые слова: гравитационное разделение, классификатор горизонтальный, математическое моделирование, поток жидкости.

Актуальность. Исходное качество природных нерудных песков, по набору основных контролируемых физико-механических свойств (модуль крупности, процент глинистых и пылевидных частиц и др.) часто не соответствует действующим нормам к конечной продукции. В связи с этим необходима переработка исходного сырья, которая предусматривает обычно отделение от песка крупных включений, например гравийных фракций, мелких пылеватых и глинистых (диспергированных) примесей, комовой глины, растительных включений и примесей ракушки.