

ВЛИЯНИЕ ДЛИНЫ КОНСОЛИ ОСНОВНОЙ КРОВЛИ НАД ПОДДЕРЖИВАЕМОЙ ЗА ЛАВОЙ ВЫРАБОТКОЙ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ МАССИВА

*И.Г. Сахно, ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», Украина
Е.В. Гладкая, А.В. Молодецкий, «Институт физики горных процессов НАН Украины»,
Украина*

Целью исследований, представленных в статье, является изучение изменения геомеханической ситуации вокруг подготовительной выработки при ее переходе в зону поддержания позади очистного забоя. Исследование проводилось методом конечных элементов.

В современных условиях энергетическая независимость государства определяется не только наличием ресурсов энергосырья, но и эффективностью их извлечения и переработки. Наиболее освоенными в стране являются запасы угля. При этом наряду с наращиванием объемов добычи, одной из важнейших проблем угольной отрасли Украины традиционно является обеспечение эксплуатационного состояния горных выработок.

Известно, что наибольшие смещения наблюдаются в выработках, примыкающих к очистным забоям. Результаты оценки состояния подготовительных горных выработок шахт Украины показывают, что 14-17% их находятся в неудовлетворительном состоянии. При этом выработки, поддерживаемые за лавой, ремонтируются не менее одного раза.

Деформирование контура горных выработок в первую очередь определяется напряженно-деформированным состоянием (НДС) окружающего породного массива. Изменение НДС в окружающих выработку породах стало причиной того, что большинство современных способов поддержания исчерпали свои возможности в части обеспечения устойчивости выработок. В настоящее время выработки, поддерживаемые за лавой, охраняются разными по конструкции и характеристикам сооружениями, режим работы которых зависит от нагрузки со стороны вмещающих пород и оказывает существенное влияние на состояние выработок.

Целью исследований было изучение изменения НДС массива вокруг подготовительной выработки при переходе ее в зону поддержания позади очистного забоя и нагрузки на охранное сооружение в зависимости от длины зависающей консоли основной кровли.

Задачи горной геомеханики в основном решаются методами математического и физического моделирования. Математическое моделирование, реализуемое с помощью аналитических и численных методов, является одним из основных современных инструментов, позволяющих исследовать напряженно-деформированное состояние породного массива. При этом численные методы в последнее десятилетие используются особенно широко. Лидирующее положение среди них занимает метод конечных элементов (МКЭ) [1], который реализован в большинстве программных продуктов автоматизированного расчета НДС. Задача, поставленная в статье, решалась с помощью МКЭ в программном комплексе ANSYS.

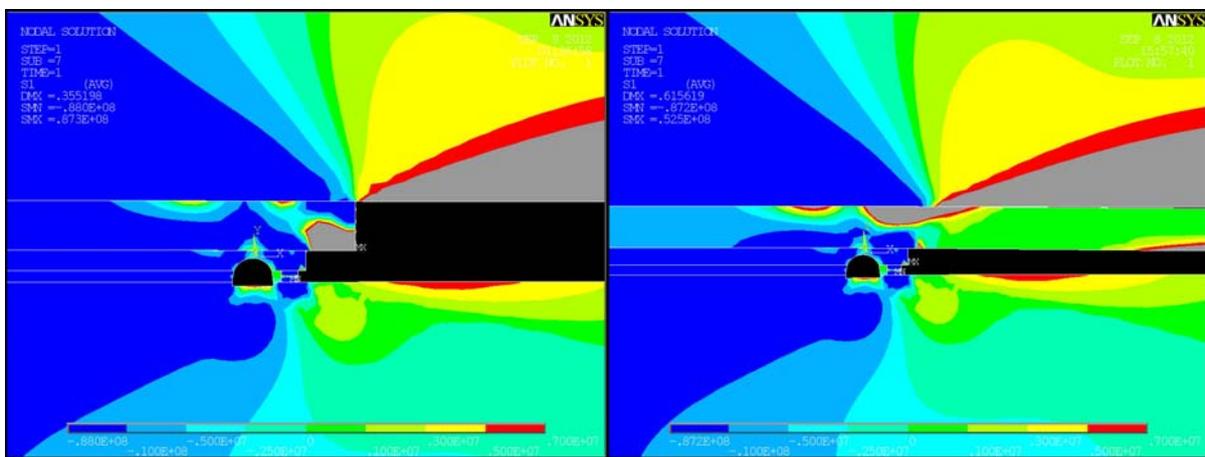
Моделировался штрек арочного сечения, поддерживаемый за лавой, отрабатывающей условный горизонтальный пласт угля мощностью 1,5 м на глубине 800 м. Непосредственная кровля представлена алевролитом мощностью 2,5 м, прочностью на одноосное сжатие 40 МПа. Основная кровля - песчаник мощностью 6,0 м, прочностью 70 МПа. Породы почвы - аргиллит с прочностью на одноосное сжатие 40 МПа. Материал, имитирующий горные породы, описывали базовой изотропной моделью Друкера-Прагера. Согласно описанной структуре каждому слою задавались модуль деформации, коэффициент поперечной деформации (Пуассона), угол внутреннего трения, коэффициент сцепления, угол дилатансии. Исходные данные для моделирования были взяты по результатам испытаний на установке неравнокомпонентного трехосного сжатия (УНТС) [2].

Решалась объемная задача в нелинейной постановке. Геомеханическая ситуация

соответствовала состоянию массива за лавой после выемки угля и обрушения непосредственной кровли. В качестве способа охраны выработки принята сплошная полоса. Модуль деформации материала полосы изменяли в диапазоне 16 ГПа – 0,03 ГПа, что позволяло имитировать различные конструкции охранного сооружения. В модели предполагается моментальное вступление в работу охранной полосы с заданным режимом деформирования.

Анализ напряжений в модели проводили по эпюрам расчетных алгебраически наибольших (растягивающих) главных напряжений – $S1$ (σ_1) (I теория прочности). В этой гипотезе рассчитанные напряжения принято сравнивать с пределом прочности (текучести) при простом растяжении.

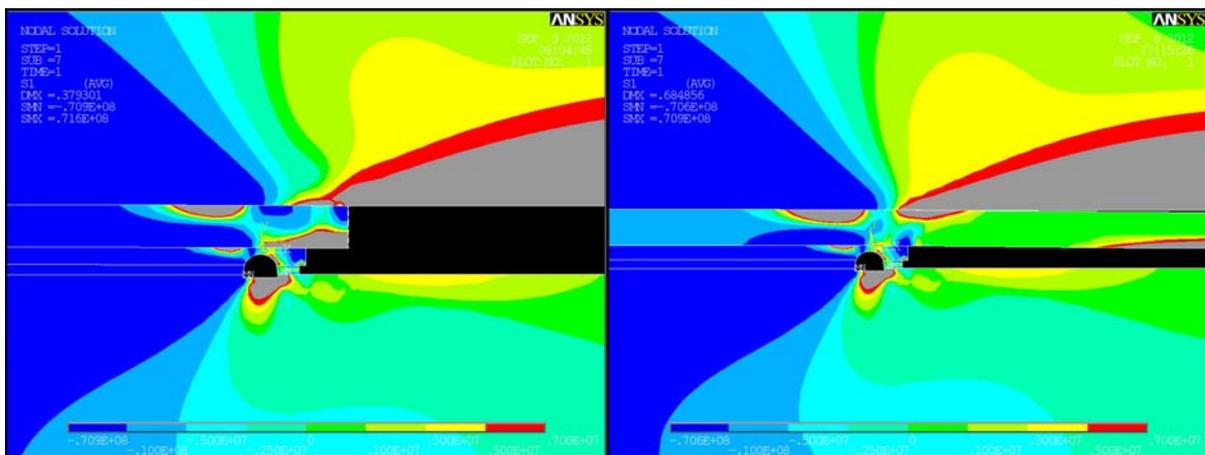
На рис. 1, 2 представлены эпюры распределения напряжений вокруг охраняемой выработки при охране блоками БЖБТ с деревянными прокладками (рис. 1) (модуль деформации 8 ГПа) и бутовой полосой (рис. 2) (модуль деформации 0,3 ГПа) при длине зависающей консоли 6 (рис. 1, 2а) и 57 (рис. 1, 2б) м, рассчитанные по первой теории прочности.



а)

б)

Рис. 1. Распределение главных напряжений $S1$ (σ_1) вокруг горной выработки, охраняемой БЖБТ при длине консоли 6 (а) и 57 (б) м



а)

б)

Рис. 2. Распределение главных напряжений $S1$ (σ_1) вокруг горной выработки, охраняемой бутовой полосой при длине консоли 6 (а) и 57 (б) м

Серым цветом выделены области, в которых возникающие напряжения превышают предельные. Из рисунков 1, 2 видно, что при сходной картине распределения напряжений, в случае с большей консолью, выработка и охранное сооружение нагружается больше.

Из рисунков 1, 2 видно, что в верхней части основной кровли формируются области максимальных S_1 (σ_1), напряжения в которых достигают предельных. При этом над охранной полосой эта область имеет больший размер, и возникающие в ней напряжения больше. Что может свидетельствовать о вероятном месте обрушения консоли над охранной полосой.

Уменьшение жесткости охранного сооружения приводит к смещению экстремума напряжений в основной кровле относительно охраняемой подготовительной выработки, тем самым увеличивая деформации контура выработки вследствие перераспределения напряжений, что наглядно видно при сравнении рисунков 1 б и 2 б.

Для количественной оценки влияния длины консоли 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 3. Начало координат на рисунке 3 соответствует центру свода арочной крепи.

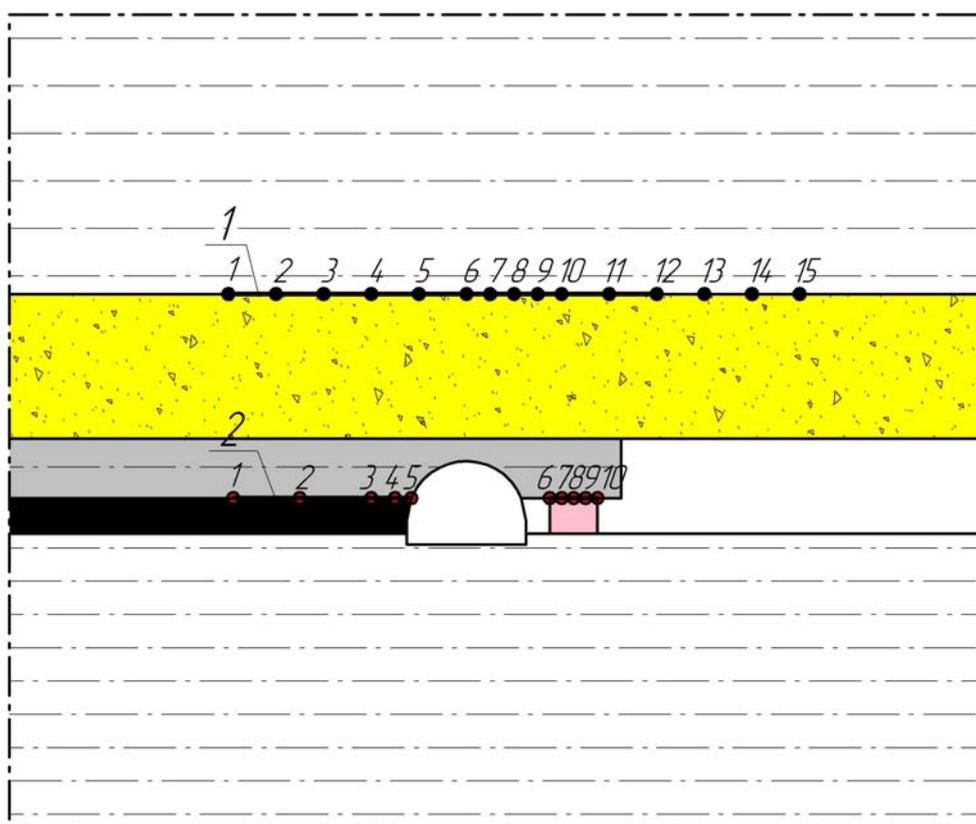


Рис. 3. Схема модели с точками фиксации напряжений: 1 – линия в верхней части зависающей консоли основной кровли; 2 – линия по плоскости контакта охранной полосы с непосредственной кровлей.

На рисунках 4, 5 приведены графики изменения расчетных напряжений S_1 (σ_1) в модели по линии 1, проведенной посередине 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.

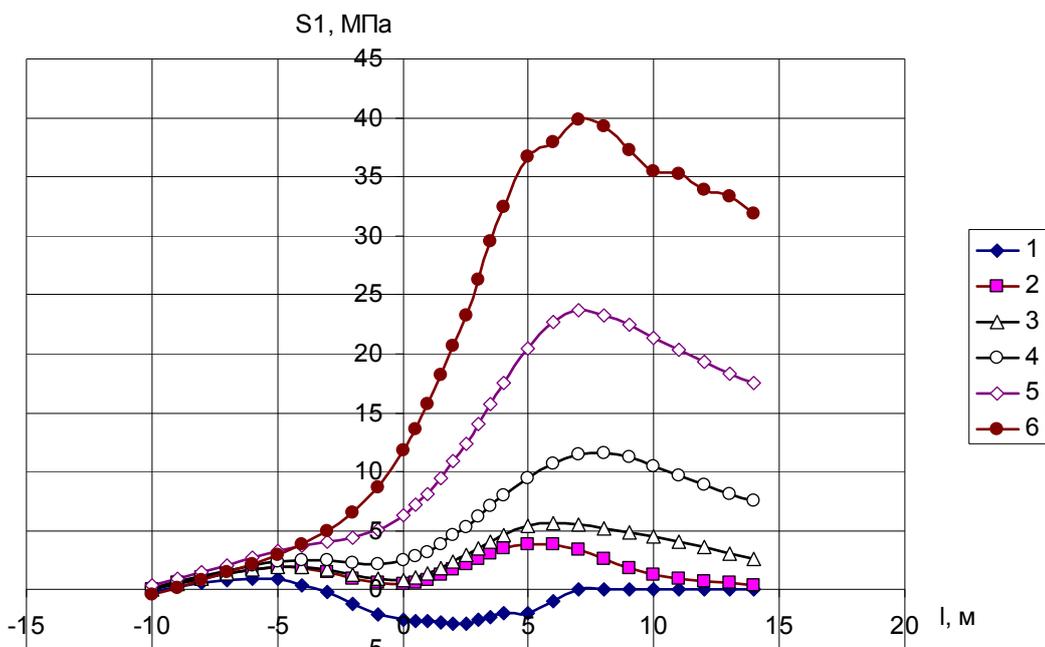


Рис. 4. Расчетные главные напряжения S_1 (σ_1) при охране БЖБТ (модуль деформации 8 ГПа), рассчитанные по линии 1 (рис. 3), при длине консоли 1 – 6м, 2 – 18м, 3 – 30м, 4 – 42м, 5 – 57м, 6 – 72м

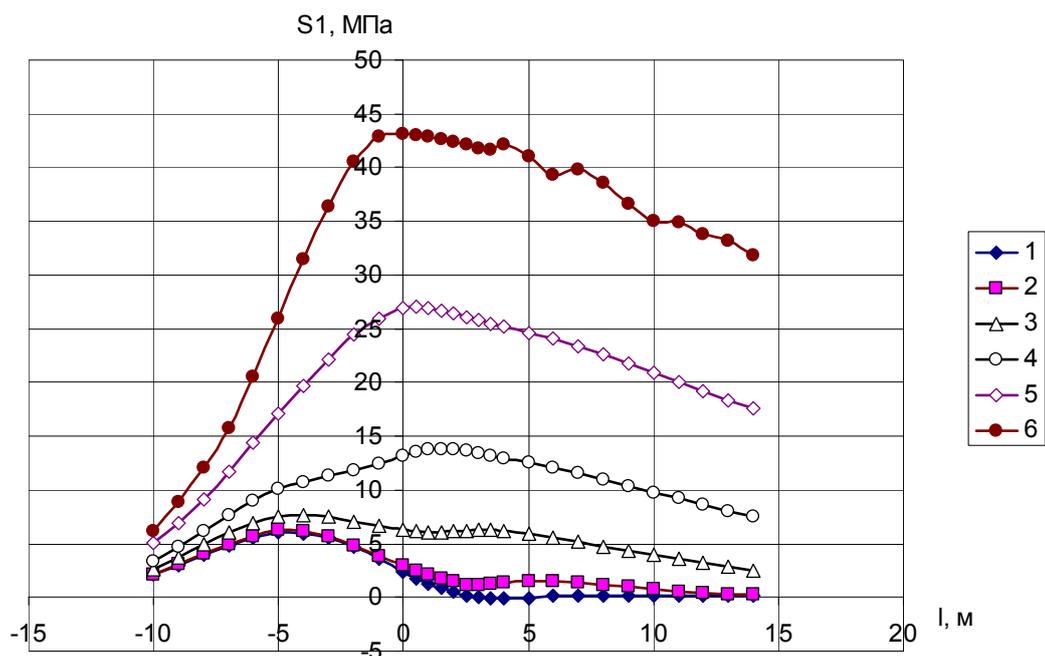


Рис. 5. Расчетные главные напряжения S_1 (σ_1) при охране бутовой полосой (модуль деформации 0,3 ГПа), рассчитанные по линии 1 (рис. 5), при длине консоли 1 – 6м, 2 – 18м, 3 – 30м, 4 – 42м, 5 – 57м, 6 – 72м

Анализ показывает, что увеличение длины консоли основной кровли приводит к росту напряжений в основной кровле (уровни главных напряжений подобны для БЖБТ и бутовой полосы). Максимальное влияние консоли наблюдается на участке между точками 6-12 по линии 1 (рис. 3), то есть над охраняемой выработкой и охранной полосой, где формируются максимальные напряжения S_1 (σ_1). Это влияние закономерно растет в направлении от

выработки к выработанному пространству.

На рис. 6 приведены графики зависимости напряжений, рассчитанных в наиболее характерных точках (5 и 12 рис. 3) от длины зависящей консоли основной кровли.

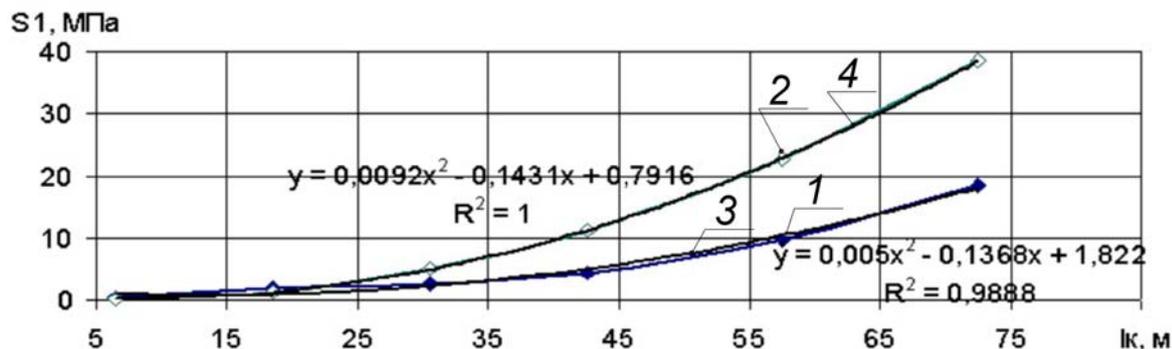


Рис. 6. Графики зависимости напряжений $S1$ (σ_1) по линии 1 (рис. 3) от длины консоли основной кровли l_k при охране БЖБТ: 1, 2 – результаты расчета в точках 5, и 12 соответственно; 3, 4 – линии аппроксимации результатов расчета в указанных точках

Зависимость напряжений $S1$ (σ_1) от длины консоли удовлетворительно, с коэффициентом корреляции не ниже 0,97, описываются полиномиальным законом. Таким образом, резерв повышения устойчивости выработки заключается в сокращении длины зависящей породной консоли. При этом следует учитывать, что охранное сооружение должно выдерживать нагрузку от изгиба и веса зависящей консоли.

Для оценки зависимости давления на охранное сооружение от жесткости полосы и длины консоли проанализируем вертикальную составляющую тензора напряжений S_Y в модели по линии контакта с непосредственной кровлей (линия 2 рис. 3).

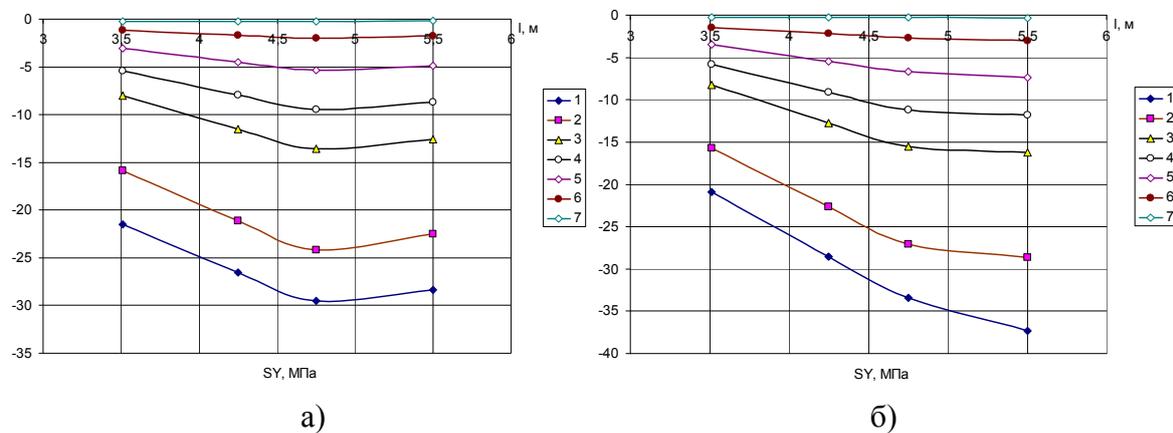


Рис. 7. Расчетные напряжения S_Y по линии 2 (точки 6-10) рис. 3 при длине консоли 6 (а) и 57 (б) м и при модуле деформации полосы: 1 – 16 ГПа; 2 – 8 ГПа; 3 – 3 ГПа; 4 – 1,6 ГПа; 5 – 0,8 ГПа; 6 – 0,3 ГПа; 7 – 0,03 ГПа

Из рисунка 7 можно сделать вывод, что охранная полоса нагружается неравномерно. Давление со стороны выработанного пространства больше, чем давление со стороны выработки. При этом с понижением модуля деформации полосы давление на нее по площади выравнивается.

Поскольку охранное сооружение в рассматриваемом случае работает на одноосное сжатие, минимальные (в алгебраическом смысле) главные напряжения (σ_3) в полосе близки к значениям вертикальных напряжений, что позволяет определить необходимую прочность

полосы путем сравнения расчетных напряжений с предельными. При этом наименее устойчивой является краевая часть охранного сооружения со стороны выработанного пространства. График зависимости главных напряжений от длины зависающей консоли для краевой части полосы из БЖБТ и бутовой полосы приведен на рис. 8.

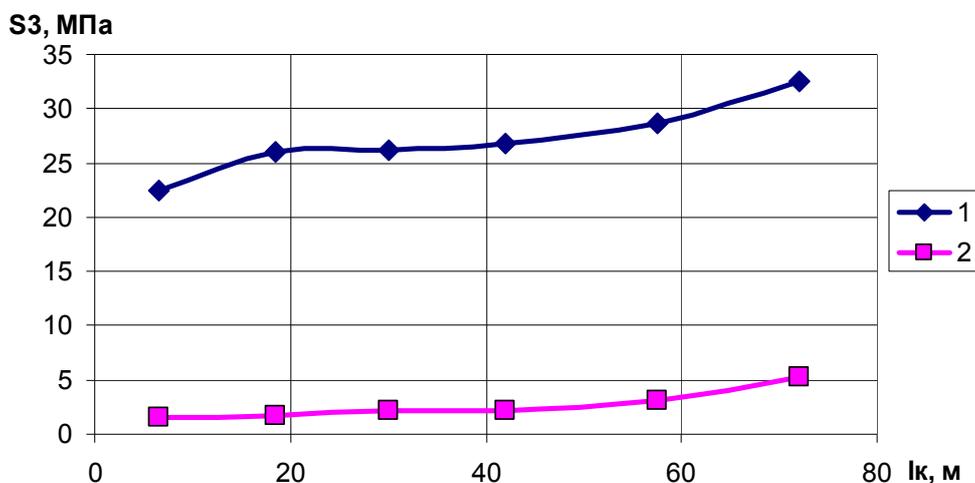


Рис. 8. Расчетные напряжения S_3 по линии 2 (точки 6-10) рис. 3 при охране БЖБТ (1) и бутовой полосой (2) в зависимости от длины консоли основной кровли

Анализ показывает, что давление на полосу при увеличении консоли с 6 до 72 м возрастает с 22,5 до 32,5 МПа, то есть на 44% для БЖБТ и с 1,5 до 5,3 МПа, то есть на 353% для бутовой полосы. Этот факт следует учитывать при выборе параметров охраны поддерживаемой за лавой выработки.

Вывод. Результаты проведенных исследований показывают, что при поддержании выработок за лавой распределение напряжений в значительной степени определяется длиной породной консоли на границе с выработанным пространством и модулем деформации охранной полосы. Область формирования максимальных напряжений в основной кровле определяет устойчивость охраняемой выработки. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что увеличение длины консоли основной кровли приводит к росту напряжений в основной кровле. Зависимость напряжений S_1 (σ_1) от длины консоли удовлетворительно, с коэффициентом корреляции не ниже 0,97, описываются полиномиальным законом. Охранная полоса нагружается неравномерно: давление со стороны выработанного пространства больше, чем давление со стороны выработки. При этом наименее устойчивой является краевая часть охранного сооружения со стороны выработанного пространства. Давление на полосу при увеличении консоли с 6 до 72 м возрастает на 44% для БЖБТ и на 353% для бутовой полосы, что следует учитывать при выборе параметров охраны поддерживаемой за лавой выработки.

Список литературы

1. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике / О. Зенкевич. – М.: Мир, 1975. – 539с.
2. Сахно И.Г. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния угля в неравнокомпонентном поле напряжений / И.Г. Сахно, А.В. Молодецкий // Физико-технические проблемы горного производства. – 2014. - №17 – С. 68 - 75.