

УДК 622.831

**И.Г. САХНО (канд. техн. наук, доц.)**

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк

**ВЛИЯНИЕ ДЛИНЫ КОНСОЛИ ОСНОВНОЙ КРОВЛИ ЗАВИСАЮЩЕЙ  
НАД ОХРАННЫМ СООРУЖЕНИЕМ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ  
СОСТОЯНИЕ ПОРОДНОГО МАССИВА ЗА ЛАВОЙ**

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 длины консоли основной кровли на распределение напряжений в массиве. Исследование проводилось методом конечных элементов. В результате моделирования установлено, что при поддержании выработок за лавой локализация максимальных напряжений в основной кровле, зависающей на границе с выработанным пространством, определяется длиной зависающей консоли и жесткостью охранной полосы. Область формирования максимальных напряжений в основной кровле определяет место ее разрушения и устойчивость охраняемой выработки. Увеличение длины консоли приводит к росту напряжений в основной кровле. Зависимость максимальных растягивающих напряжений от длины консоли удовлетворительно описывается полиномиальным законом. Показано, что резерв повышения устойчивости выработки заключается в принудительном сокращении длины зависающей породной консоли.

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

Одной из основных проблем угольных шахт Украины является недостаточная эксплуатационная надежность горных выработок. 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). Разброс модуля деформации материала применяемых охранных полос достигает трех порядков, но наиболее эффективными с точки зрения обеспечения устойчивости подготовительных выработок являются жесткие полосы. В зависимости от свойств пород основной кровли, они способны висеть над охранными сооружениями со стороны выработанного пространства, образуя консоли различной длины.

Целью исследований было изучение влияния длины консоли зависающей основной кровли со стороны выработанного пространства на (НДС) массива вокруг подготовительной выработки поддерживаемой позади очистного забоя.

Исследование проводилось путем численного математического моделирования методом конечных элементов [1], который является одним из основных современных инструментов, позволяющих исследовать напряженно-деформированное

состояние породного массива. Реализация МКЭ осуществлялась в программном комплексе ANSYS.

Моделировалась выработка арочной формы, поддерживаемая за лавой отработавшей 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 [2] 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 примем 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, сн ГН
1.	Литая полоса из быстротвердеющих материалов	12
2.	Угольный целик (до момента разрушения)	2
3.	Бутовая полоса	0,2

Анализ напряжений вокруг выработки проводился по картинам распределения алгебраически наибольших (растягивающих) главных напряжений –  $S_1$  ( $\sigma_1$ ) (I теория прочности).

На рис. 1 представлены картины распределения напряжений вокруг охраняемой выработки при длине зависающей консоли 30м, при жесткости охранной полосы 2ГН.

Из рисунка 1 видно, что в верхней части основной кровли формируются две области максимальных главных напряжений  $S_1$  ( $\sigma_1$ ), 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.

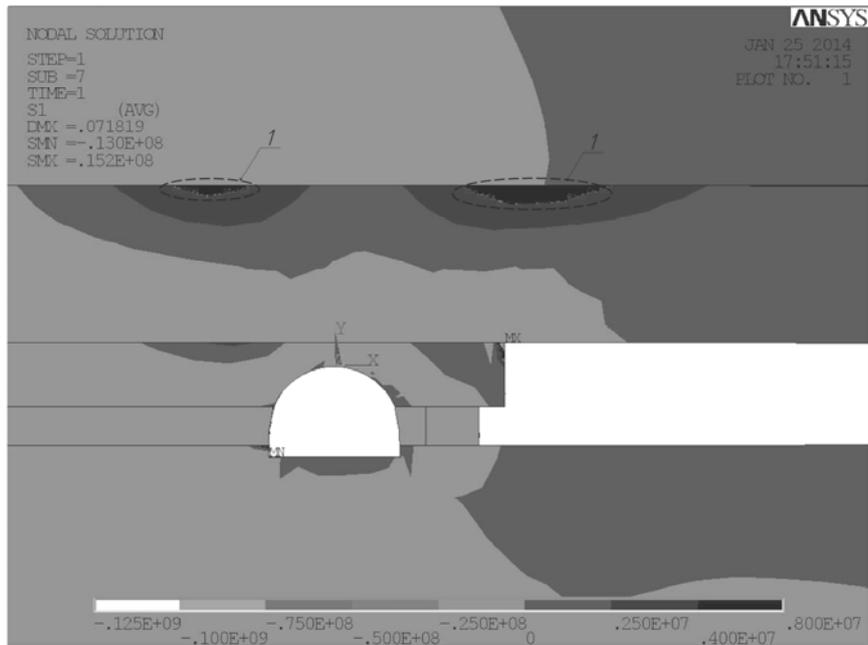


Рис. 1. Распределение главных напряжений  $S1$  ( $\sigma_1$ ) вокруг горной выработки поддерживаемой за лавой при удельной жесткости полосы 2 ГН  
1 – область максимальных растягивающих напряжений

Для оценки влияния длины зависающей консоли на локализацию области максимальных напряжений в основной кровле, их величину, и соответственно вероятное место разрушений кровли проанализируем напряжения, формирующиеся в верхней части зависающей консоли основной кровли. Точки фиксации напряжений приведены на рисунке 2. Начало координат на рисунке 2 соответствует центру свода арочной крепи.

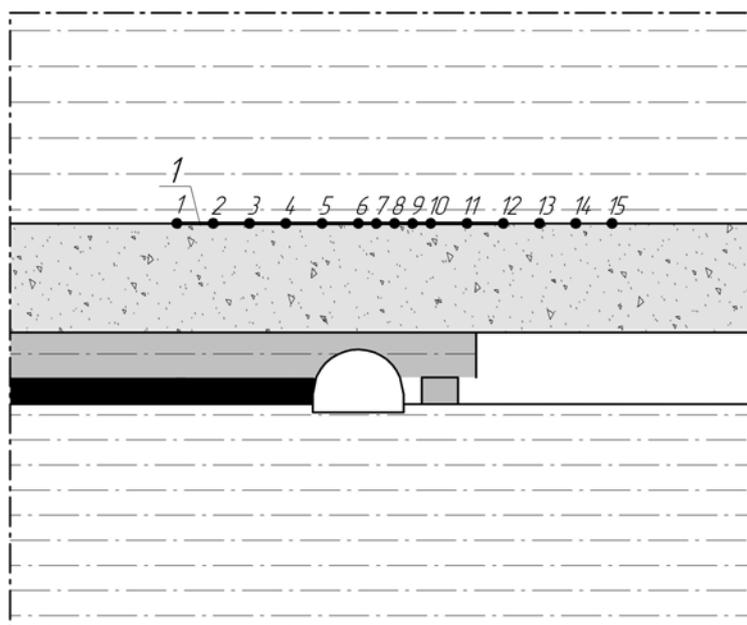


Рис. 2. Схема модели с точками фиксации напряжений  
1 – линия в верхней части зависающей консоли основной кровли

На рисунках 3, 4, 5 приведенные расчетные напряжения  $S_1$  по линии 1 при жесткости охранной полосы 12, 2 и 0,2 ГН соответственно.

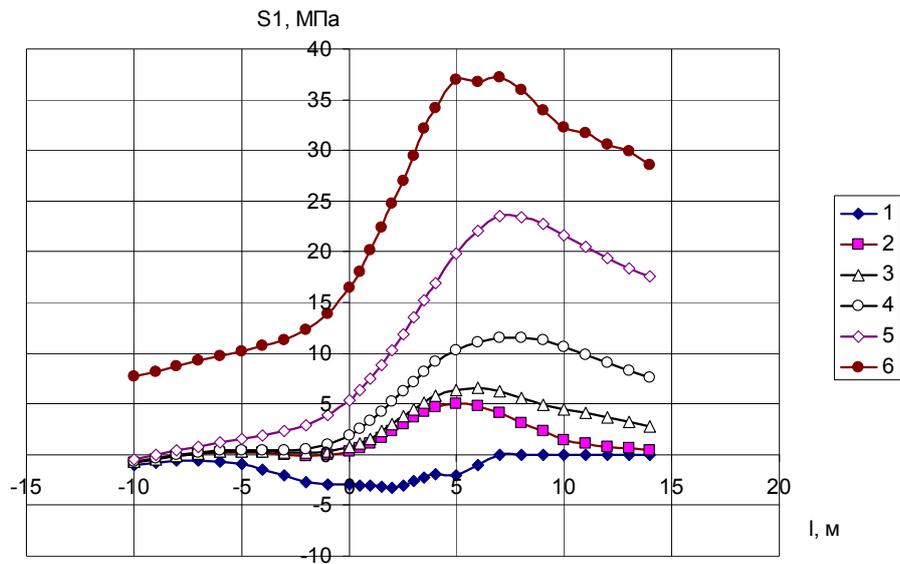


Рис. 3. Расчетные напряжения  $S_1$  ( $\sigma_1$ ) при жесткости охранной полосы 12 ГН рассчитанные по линии 1 (рис. 2) при длине консоли 1 – 6 м, 2 – 18 м, 3 – 30 м, 4 – 42 м, 5 – 57 м, 6 – 72 м

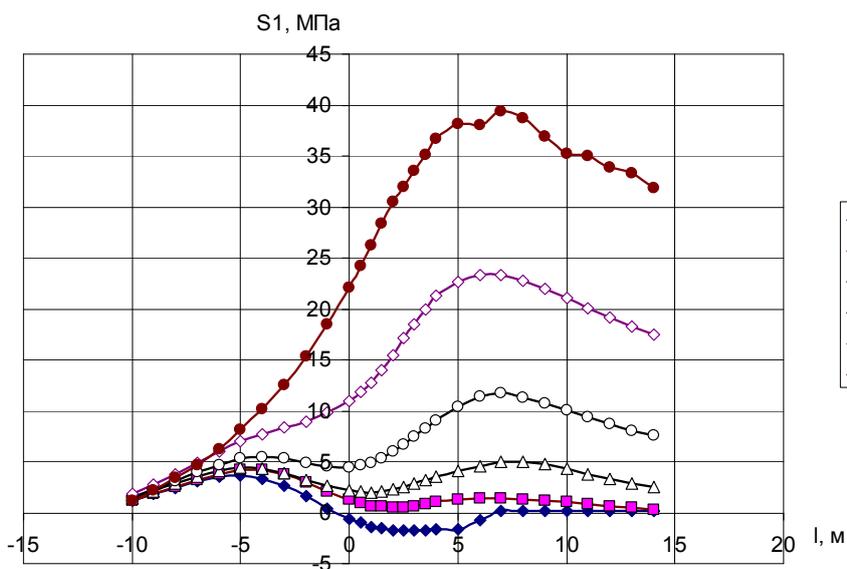


Рис. 4. Расчетные напряжения  $S_1$  ( $\sigma_1$ ) при жесткости охранной полосы 2 ГН рассчитанные по линии 1 (рис. 2) при длине консоли 1 – 6 м, 2 – 18 м, 3 – 30 м, 4 – 42 м, 5 – 57 м, 6 – 72 м

Для рассмотренных случаев можно сделать вывод, что область максимальных напряжений в породах основной кровли смещается в сторону выработанного пространства при увеличении длины консоли. При жесткости охранной полосы 12 ГН область максимальных напряжений формируется в породах основной кровли над охранным сооружением, в верхней части, зависящей породной консоли (точка 11 рис. 2) независимо от ее длины. Вероятно первичное разрушение пород основной кровли именно в этом месте. Это обеспечит обрушение зависящей основной кровли в выработанное пространство, что приведет к снижению нагрузки на охранную полосу и контур охраняемой подготовительной выработки, что позволит

обеспечить дальнейшую устойчивость выработки. При жесткости охранной полосы 2 ГН область максимальных напряжений формируется в породах основной кровли над охранным сооружением при длине консоли не менее 30м в остальных случаях эта область расположена со стороны пласта. При жесткости полосы 0,2ГН область максимальных растягивающих напряжений для всех значений длин консоли формируется в породах основной кровли над пластом, в верхней части, зависающей породной консоли (между точками 3 и 4 рис. 2). В этом случае вероятно первичное разрушение пород основной кровли над пластом. После обрушения основной кровли вес породной консоли частично ляжет на приконтурные породы и охранный сооружение, что вызовет асимметричное нагружение крепи подготовительной выработки и ее деформирование, дальнейшее развитие геомеханических процессов вокруг выработки приведет к потере устойчивости охраняемой выработки.

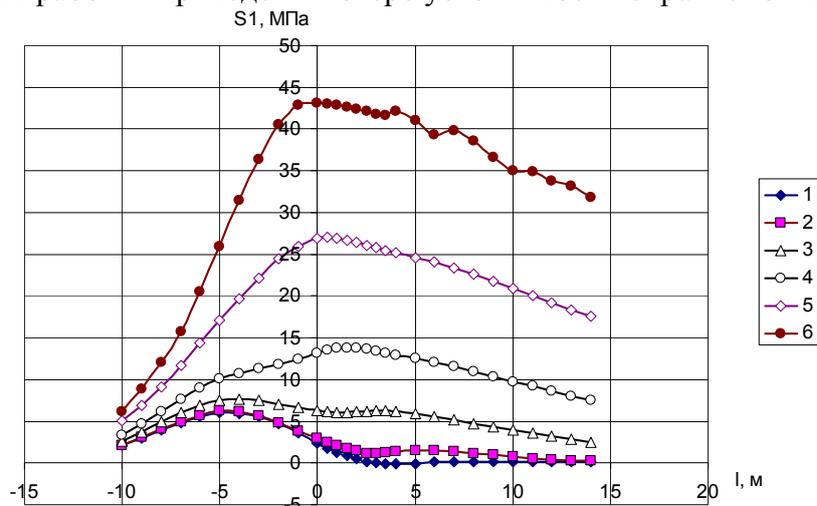


Рис. 5. Расчетные напряжения  $S_1$  ( $\sigma_1$ ) при жесткости охранной полосы 0,2ГН рассчитанные по линии 1 (рис. 2) при длине консоли 1 – 6м, 2 – 18м, 3 – 30м, 4 – 42м, 5 – 57м, 6 – 72м

На рис. 6, 7 приведены графики зависимости главных напряжений  $\sigma_1$  рассчитанных в характерных точках от длины зависающей консоли основной кровли.

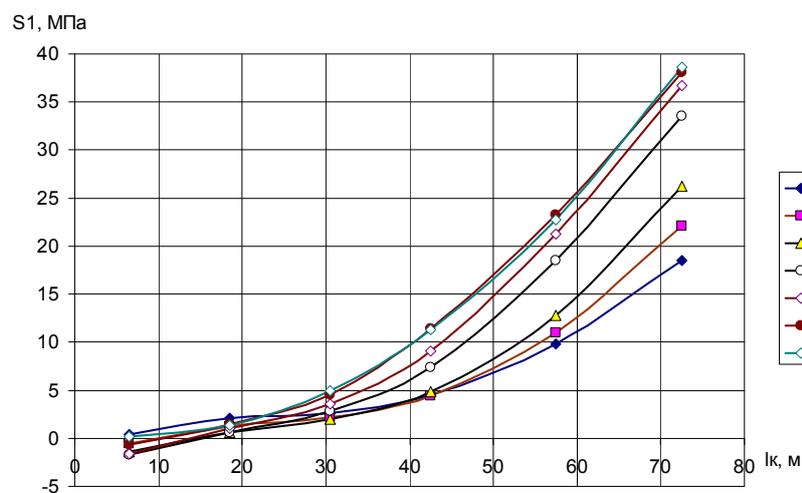


Рис. 6. Расчетные напряжения  $S_1$  ( $\sigma_1$ ) при жесткости охранной полосы 2ГН рассчитанные по линии 1 (рис. 2) в точках 1 – 5, 2 – 6, 3 – 7, 4 – 8, 5 – 9, 6 -11, 7 – 12 соответственно

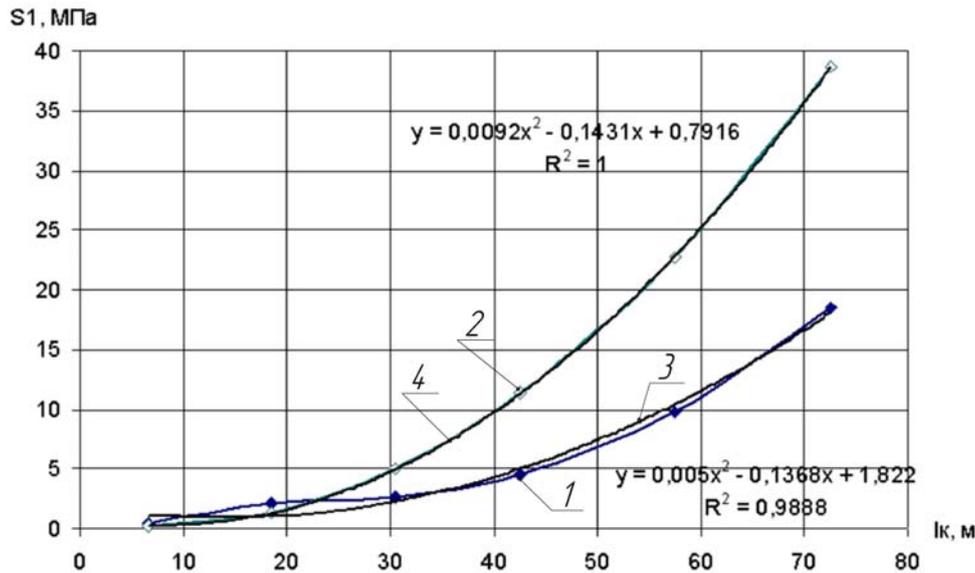


Рис. 7. Графіки залежності напружень  $S_1$  ( $\sigma_1$ ) від довжини консолі основної кровлі  $l_k$  при жорсткості охротної смуги 2ГН: 1 – розрахункові напруження по лінії 1 (рис. 2) в точці 5; 2 – розрахункові напруження по лінії 1 (рис. 2) в точці 12; 3 – лінія апроксимації напружень по лінії 1 (рис. 2) в точці 5; 4 – лінія апроксимації напружень по лінії 1 (рис. 2) в точці 12

Из приведенных графиков можно сделать вывод, что увеличение длины консоли приводит к росту напряжений в основной кровле. Максимальное влияние длины консоли наблюдается на участке между точками 6-12 по линии 1 (рис.2), то есть над охраняемой выработкой и охранной полосой, где формируются максимальные напряжения  $S_1$  ( $\sigma_1$ ). Из рисунка 6 видно, что это влияние закономерно растет в направлении от выработки к выработанному пространству. Зависимость напряжений  $S_1$  ( $\sigma_1$ ) от длины консоли удовлетворительно, с коэффициентом корреляции не ниже 0,97 описывается полиномиальным законом. Очевидно, что резерв повышения устойчивости выработки заключается в сокращении длины зависящей породной консоли.

### Выводы

Результаты проведенных исследований показывают, что при поддержании выработок за лавой распределение напряжений в основной кровле, зависящей на границе с выработанным пространством, в большей степени определяется длиной зависящей консоли и жесткостью охранный полосы. Область формирования максимальных напряжений в основной кровле определяет место ее разрушения и устойчивость охраняемой выработки.

Так при жесткости полосы 12 ГН (литая полоса) область максимальных напряжений формируется в породах основной кровли над охранным сооружением, в верхней части, зависящей породной консоли независимо от длины консоли, а при жесткости 0,2ГН (бутовая полоса) в породах основной кровли над пластом.

Увеличение длины консоли приводит к росту напряжений в основной кровле. Максимальное влияние длины консоли наблюдается над охраняемой выработкой и охранный полосой, где формируются максимальные напряжения  $S_1$  ( $\sigma_1$ ). За-

висимость максимальных растягивающих напряжений от длины консоли удовлетворительно описывается полиномиальным законом. Очевидно, что резерв повышения устойчивости выработки заключается в сокращении длины зависающей породной консоли. Отсюда вытекает необходимость разработки способов охраны направленных на принудительное обрушение основной кровли над охранной полосой с целью обеспечения устойчивости выработок за лавой.

### Список использованной литературы

1. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике / О. Зенкевич. – М.: Мир, 1975. – 539 с.
2. Мельников Н.В. Справочник (кадастр) физических свойств горных пород / Н.В. Мельников, В.В. Ржевский, М.М. Протодяконов. – М.: Недра, 1975. – 279 с.

*Надійшла до редакції 16.04.2014*

I.G. Sahnó

#### ВПЛИВ ДОВЖИНИ КОНСОЛІ ОСНОВНИЙ ПОКРІВЛІ, ЯКА ЗАВИСАЄ НАД ОХОРОННОЮ СПОРУДОЮ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ПОРОДНОГО МАСИВУ ЗА ЛАВОЮ

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 довжини консоли основної покрівлі на розподіл напруг в масиві. Дослідження проводилося методом кінцевих елементів. У результаті моделювання встановлено, що при підтримці виробок за лавою локалізація максимальних напруг в основній покрівлі, на кордоні з виробленим простором, визначається довжиною консоли і 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. Збільшення довжини консоли призводить до зростання напружень у основній покрівлі. Залежність максимальних напруг, що розтягують, від довжини консоли задовільно описується поліноміальним законом. Показано, що резерв підвищення стійкості виробки полягає в примусовому скороченні довжини як зависло породної консоли.

Ключові слова: гірничі виробки, напруги, деформації, руйнування, обвалення, покрівля.

I.G. Sahnó

#### INFLUENCE LENGTH CONSOLE MAIN ROOF HOVERS OVER PROTECTION CONSTRUCTION ON THE STRESS-STRAIN STATE ROCK MASS AFTER LONGWALL

The most important challenge facing the coal industry of Ukraine is traditionally providing operational status of mining and improving their reliability. Purpose of the research presented in this paper is to study changes in the geomechanical situation around development working during the transition to the zone behind the longwall maintain and establish the influence of the length of the main roof console on the stress distribution in the array. The study was conducted by finite element method. The simulation found that by maintaining in longwall workings localization of maximum stresses in the main roof, on the border with the open area, determined by the length and rigidity for drop console protection construction. Forming region of maximum stress in the main roof determines the place of its destruction and stability of the protected roadway. Increasing the length of the console leads to an increase in stress in the main roof. Dependence of maximum tensile stresses on the length of the console is satisfactorily described by a polynomial law. It is shown that resilience reserve generation is forced length contraction for breed console.

Keywords: roadway, stress, strain, fracture, caving, roof.