УДК 622.831.3

Аспирант Касьян С. И.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ВОКРУГ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ ОТ ВЛИЯНИЯ ДВУХ ЛАВ

Досліджений процес руйнування масиву гірничих порід навколо виробок, що повторно використовуються, побудовано графіки залежності деформацій від напруг.

Проблема и связь с научными и практическими задачами.

С увеличением глубины разработки и соответственно с повышением горного давления работы по добыче полезного ископаемого усложняются, это приводит к образованию все больших зон потери устойчивости (ЗПУ) вокруг подготовительных выработок, и особенно это сказывается на повторно используемых выработках, которые на шахтах Украины составляют свыше 11 тыс. км [1], трудоемкость их поддержания 53 чел.-дня на 1000 т угля. Поэтому изучение процесса разрушения массива горных пород вокруг повторно используемой выработки, с целью упрочнения горных пород в ЗПУ, является вопросом актуальным.

Анализ исследований и публикаций.

Изучению проявления горного давления в подготовительной выработке уделено огромное внимание, т.к. это имеет решающее значение для её устойчивости и сохранности. На степень устойчивости влияет ряд факторов: крепость пород, степень нарушенности массива пород трещинами, раскрытие трещин, шероховатость стенок трещин, заполнение трещин, обводненность пород и др. Совокупность влияния всех этих факторов и определяет показатель устойчивости пород [2], а соответственно и состояние выработки.

Вокруг подготовительной выработки образуются зоны разрушенных пород. Автором работы [3] рассмотрены некоторые факторы, оказывающие влияние на эти зоны. Такие факторы как глубина разработки и прочность вмещающих пород оказывают значительное влияние на размер зоны разрушенных пород вокруг выработок, но являются практически неуправляемыми – задаются условиями разработки и местом расположения выработки, поэтому эффективное воздействие на рост

зон разрушенных пород возможно только за счёт изменения величины эффективного напряжения, которая в свою очередь зависит от отпора крепи, остаточной прочности пород в зоне разрушения, путём введения крепи в работу с момента её установки и повышения её несущей способности, а также повышения остаточной прочности разрушенных пород техническими и технологическими средствами.

Сохранение устойчивости повторно используемой выработки является задачей сложной, но необходимой, так как это экономически выгодно по сравнению с проведением новой выработки. При изучения эффекта самораскланивания [4], был сделан вывод что после прохода первой лавы этот эффект не наблюдается и для сохранения эффекта самораскланивания огромное внимание необходимо уделять охранным сооружениям: они должны обладать большой жесткостью в вертикальном направлении и не меньшим сопротивлением в горизонтальном направлении. Это достигается путем сквозной сшивки охранных сооружений металлическими стержнями с резьбовым стягиванием в горизонтальном направлении вдоль длины лавы, что повышает устойчивости выработки в 1,2 – 1,5 раза.

Исследование напряженно деформированного состояния массива и механизма разрушения пород вокруг выработки в зоне влияния двух лав применительно к упрочнению пород не исследованы.

Постановка задачи.

Исследовать процесс разрушения массива горных пород вокруг повторно используемой выработки от влияния двух лав методом конечных элементов.

Изложение материала и его результаты.

Для исследования напряженно-деформированного состояния массива горных пород вокруг подготовительной выработки от влияния двух лав была составлена объёмная модель, которая представляет собой горный массив, представленный 52818 объемными элементами, в котором проведена подготовительная выработка шириной 5 м и высотой 3,4 м, по пласту мощностью 1 м, со смешанной подрывкой боковых пород. Охрану выработки осуществляется железобетонными тумбами (БЖБТ), с целью повторного использования выработки; расстояние между лавами 500 м. Размеры модели следующие: вдоль выработки 1110 м, вдоль лав 395 м, глубина разработки пласта 580 м, от поверхности до граничных элементов модели 926 м.

При изучении вертикальных напряжений, было установлено, что впереди очистных забоев опережающей и отстающей лав эти напряжения превышают гидростатические; детальные исследования напряженного состояния проведены на расстояниях от лав +25…-22,5 м.

Для оценки устойчивости пород были рассчитаны эквивалентные напряжения по теории Мора, по результатам анализа которых определены параметры зон потери устойчивости.

На рисунках 1, 2 приведены изополя эквивалентных напряжений на линии очистных забоев опережающей и отстающей лав соответственно.

При анализе эквивалентных напряжений впереди опережающей лавы видно, что зона потери устойчивости сконцентрирована по пласту со стороны лавы, с максимальными сжимающими напряжениями 10 МПа. По породному контуру выработки, и в почве видны зоны потери устойчивости от растягивающих напряжений. На линии очистного забоя отстающей лавы просматривается такая же картина, но максимальные напряжения зоны потери устойчивости от сжимающих напряжений составляет 17 МПа, а растягивающих, расположенных по периметру выработки, достигают 6,7 МПа.

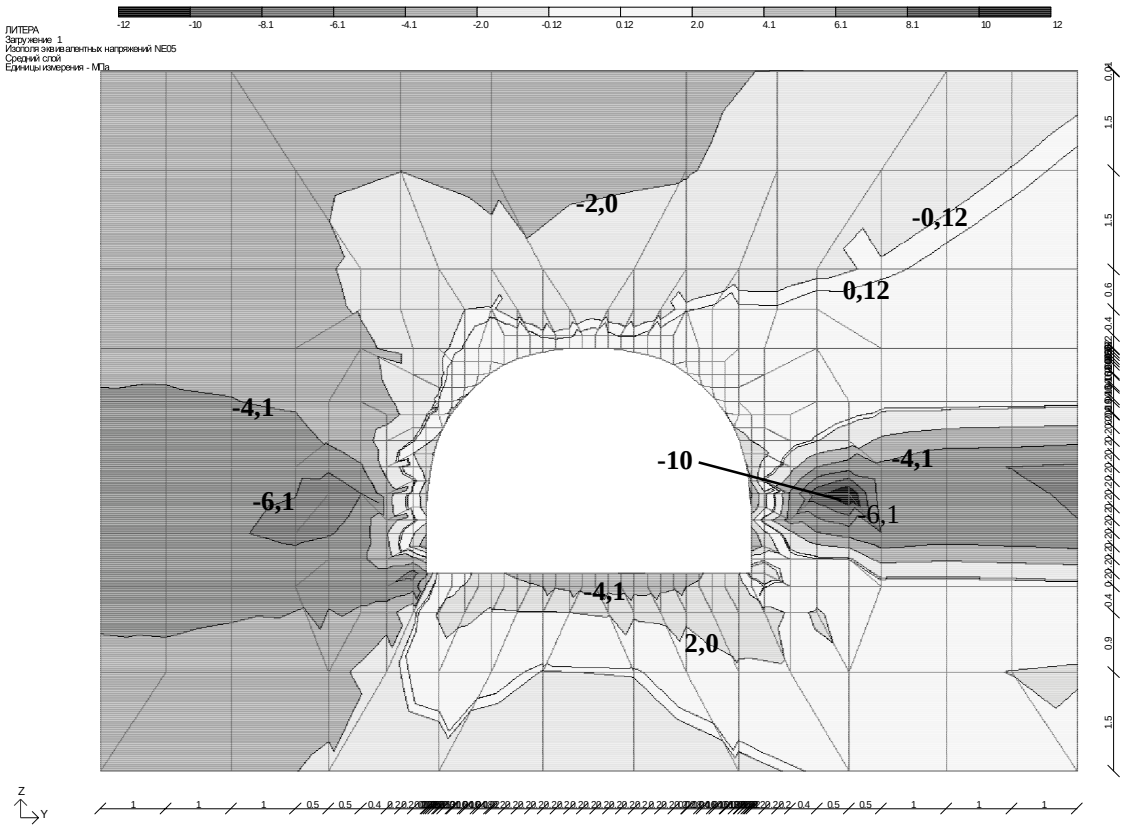

Рисунок 1 – Изополя эквивалентных напряжений на линии очистного забоя опережающей лавы

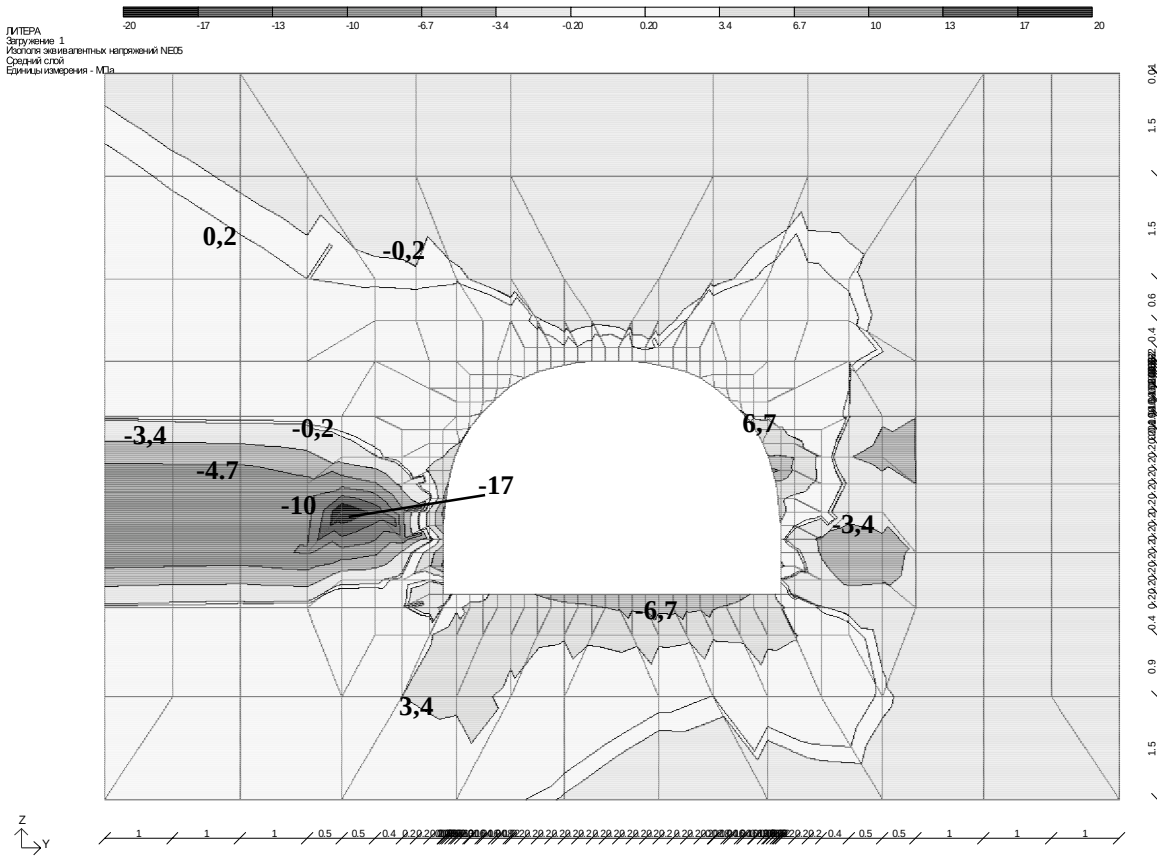

Рисунок 2 – Изополя эквивалентных напряжений на линии очистного забоя отстающей лавы

Задача о изучения процесса разрушения горных пород в окрестности выработки для нелинейно деформируемого упругого массива решена для участков, размеры которых определены с учетом зон потери устойчивости и в которых выделены области с 9843 объемными элементами, а граничным узлам уменьшенных моделей заданы перемещения по трем направлениям (OX, OY, OZ) полученные при решении задачи из общей модели. Нагружение модели производилось в 5 шагов, по 20 % от максимальной нагрузки каждый. Просчет осуществлялся отдельно в окрестности влияния опережающей и отстающей лав.

Динамика разрушения изучена на различных расстояниях от лав. Детальный анализ выполнен в сечениях на расстояниях 7,5 м перед лавами, на линии очистных забоев и над крепью лавы, т.е. на расстоянии 2,5 м за ее забоем.

На рисунке 3 показаны области разрушения элементов на линии очистных забоев опережающей и отстающей лав, а также номера элементов, для которых детально исследовались зависимости деформаций от напряжения. Основные преобладающие разрушения в окрестности опережающей лавы это: разрушение основного материала по первой

главной площадке (▨), которые наблюдались как правило в почве выработки; разрушения основного материала при сжатии (▩), наблюдаемые по пласту, разрушения основного материала при растяжении и сжатии (▤), сосредоточенные в боках выработки, непосредственно над пластом, также разрушения элемента при сжатии (□) по угольному пласту, и разрушение элементов при сжатии и растяжении **Ошибка! Ошибка связи.**.

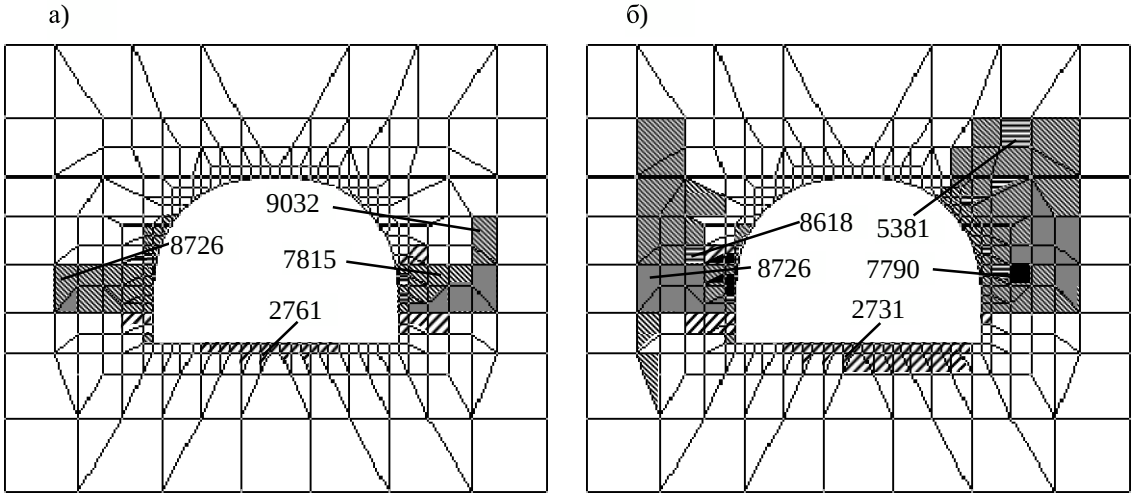

Рисунок 3 – Разрушения горного массива при максимальном нагружении модели вокруг подготовительной выработки на линиях очистных забоев лав: *а)* опережающей и *б)* отстающей

После рассмотрения процесса разрушения по мере нагружения массива, для выделенных ранее элементов построены графики зависимостей между деформациями и напряжениями по шагам.

В угольном пласте со стороны опережающей лавы рассматриваемый элемент 7815 расположен на расстоянии 0,8 м от выработки по пласту и на линии очистного забоя. Разрушение его началось со второго шага, где напряжения составили: N_X = -6,42 МПа; N_Y = -16,23 МПа; N_Z = -6,87 МПа, а уже при нагружении модели на 80 % (4 шаг) напряжения стабилизировались, т.е. разрушение основного материала при сжатии прекратилось (рисунок 4), а деформации продолжали расти и при максимальном нагружении составили: ε_X = 0,088·10^{-3}; ε_Y = 0,72·10^{-3}; ε_Z = -14,67·10^{-3}.

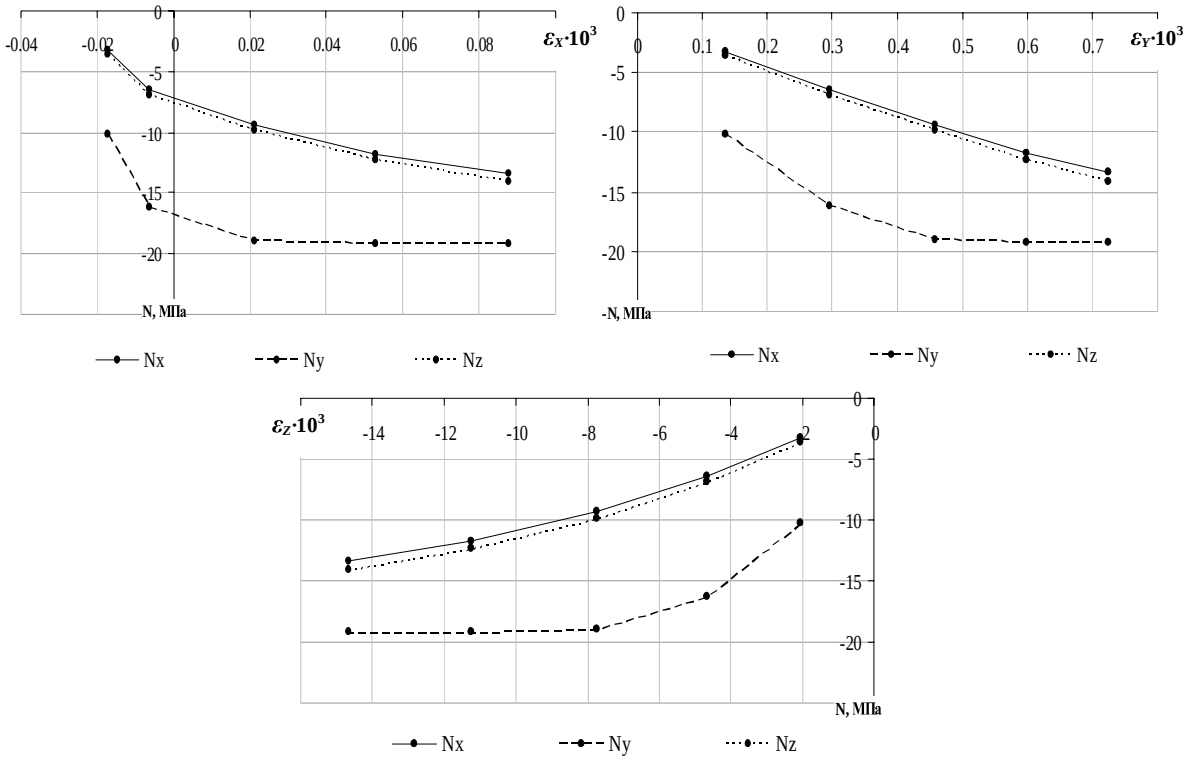

Рисунок 4 – Зависимость между горизонтальными (ε_X, ε_Y) и вертикальными (ε_Z) относительными деформациями и горизонтальными (N_X, N_Y) и вертикальными (N_Z) напряжениями в элементе 7815

В глубине массива, в элементе 8726 после третьего шага, произошло разрушение основного материала при сжатии и горизонтальные относительные деформации (ε_Y) резко уменьшились. В кровле со стороны лавы (элемент 9032) наблюдается разрушение основного материала при сжатии, что подтверждается плавным ростом деформаций, сопровождающийся увеличением сжимающих напряжений (рисунок 5, а).

В почве подготовительной выработки (элемент 2761) происходит также рост горизонтальных напряжений и горизонтальных деформаций по мере нагружения (рисунок 5, б), а вертикальные напряжения после 60 % нагружения изменялись из растягивающих на сжимающие, вертикальные же деформации практически отсутствовали.

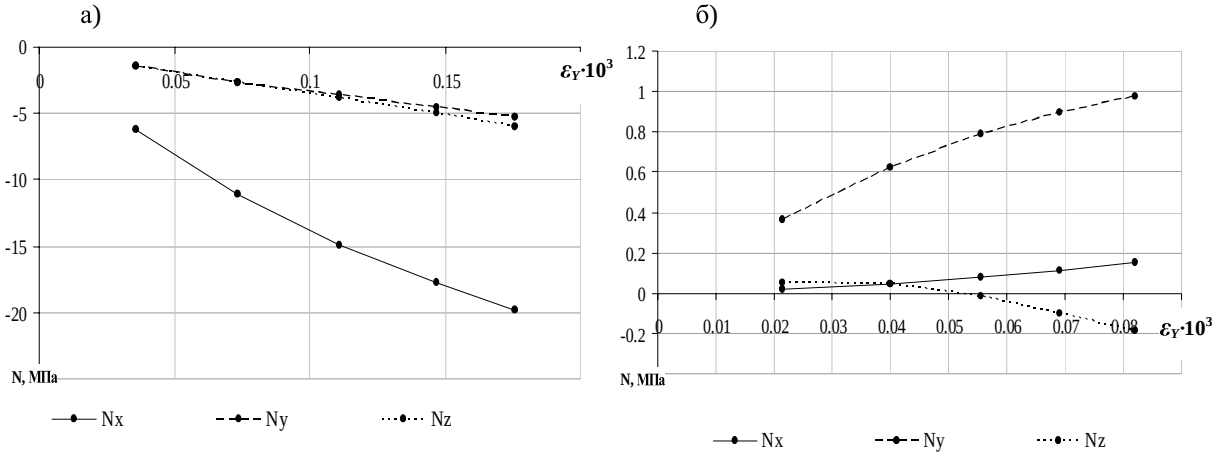

Рисунок 5 – Зависимость между горизонтальными (ε_Y) относительными деформациями и горизонтальными (N_X, N_Y) и вертикальными (N_Z) напряжениями в элементах: а) 9032; б) 2761

По пласту на линии очистного забоя отстающей лавы рассматривался элемент 8726, расположенный на расстоянии 1,75 м от выработки, в котором уже после второго шага произошел спад напряжений, особенно явно выраженный на горизонтальных напряжениях (N_Y) (рисунок 6).

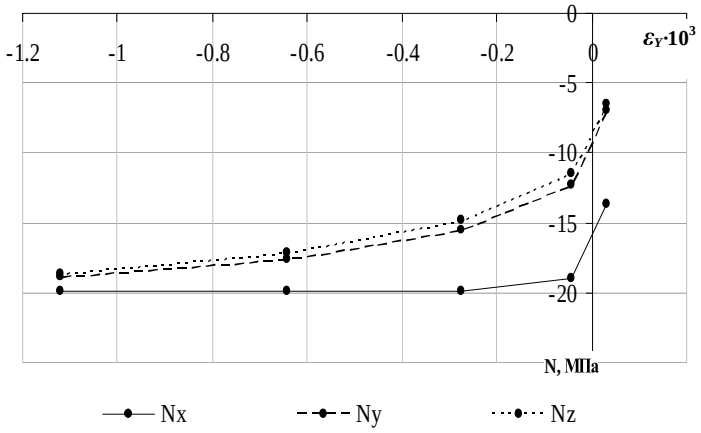

Рисунок 6 – Зависимость между горизонтальными (ε_Y) относительными деформациями и горизонтальными (N_X, N_Y) и вертикальными (N_Z) напряжениями в элементе 8726

В кровле разрабатываемого пласта (элемент 8618) картина напряжений относительно горизонтальных деформаций стабилизируется уже после 40 % нагружения модели (рисунок 7, а), а относительно верти-

кальных напряжений стабилизация напряжений происходит после 60 % нагружения модели (третий шаг).

В кровле обрушенных пород (элемент 5381) основной материал элемента разрушился при растяжении и сжатии с почти прямо пропорциональным увеличением деформаций от напряжений (рисунок 7, б), с максимальными величинами напряжений: N_X = -9,61 МПа; N_Y = -3,56 МПа; N_Z = -3,44 МПа, и деформаций: ε_X = 0,023·10^{-3}; ε_Y = 0,5 ·10^{-3}; ε_Z = -3,55·10^{-3}.

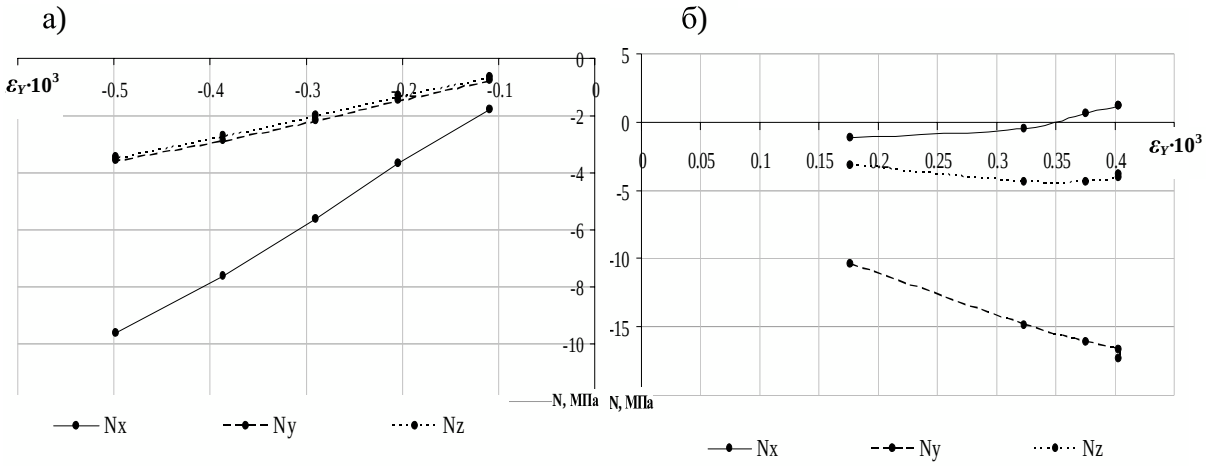

Рисунок 7 – Зависимость между горизонтальными (ε_Y) относительными деформациями и горизонтальными (N_X, N_Y) и вертикальными (N_Z) напряжениями в элементах: а) 8618; б) 5381

На линии очистного забоя отстающей лавы со стороны обрушенных пород (элемент 7790 – верх железобетонной тумбы) после максимального нагружения разрушился от сжатия и растяжения, но уже после третьего шага, когда произошло разрушение основного материала от сжатия, горизонтальные напряжения значительно уменьшились и почти прекратились (рисунок 8).

В почве подготовительной выработки на уровне отстающей лавы картина идентична с результатами на уровне опережающей лавы.

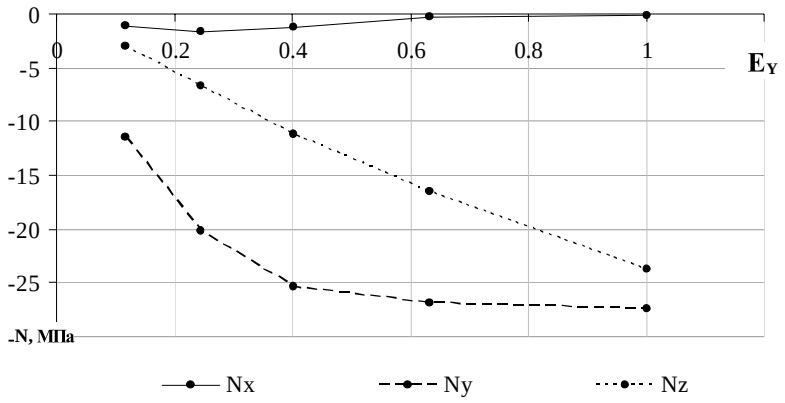

Рисунок 8 – Зависимость между горизонтальными (ε_Y) относительными деформациями и горизонтальными (N_X, N_Y) и вертикальными (N_Z) напряжениями в элементе 7790

После чего сделан анализ изменения относительных деформаций по мере приближения к очистному забою в нижнем элементе кровли отстающей лавы (рисунок 9). При приближении к очистному забою на расстояние 7,5 м и до забоя лавы сжимающие деформации вдоль выработки уменьшились с $-0{,}08\cdot10^{-3}$ до $-0{,}03\cdot10^{-3}$, а в призабойном пространстве возникли растягивающие деформации, которые составили $0{,}08\cdot10^{-3}$, такое возникновение растягивающих деформаций может привести к вывалу, если кровля не упрочнена. Растягивающие горизонтальные деформации перпендикулярно выработки по мере приближения лавы увеличились с $0{,}125\cdot10^{-3}$, на расстоянии 7,5 м, до $0{,}145\cdot10^{-3}$ на линии очистного забоя, после чего в призабойном пространстве уменьшились до $0{,}13\cdot10^{-3}$. Что же касается относительных вертикальных деформаций, то на расстоянии 7,5 м они отсутствовали, после чего начали расти сжимающие деформации, составляющие на линии очистного забоя $-0{,}033\cdot10^{-3}$, а в призабойном пространстве продолжали расти и достигли $0{,}063\cdot10^{-3}$ над крепью лавы (-2,5 м).

В результате исследований было установлено, что вокруг повторно используемой выработки разрушения происходят сначала по угольному пласту, причем с преобладающим разрушением основного материала от сжатия, результатом чего является повышенные деформации элементов, а затем разрушения переходят в кровлю пласта и частично в почву. По мере нагружения модели меняется вид разрушения и, как правило, после третьего шага возникает разрушение непосредственно элемента, при превышении предела прочности на сжатие в данном элементе, т.е. угольный пласт на глубину 2,8 м полностью разрушен при сжатии.

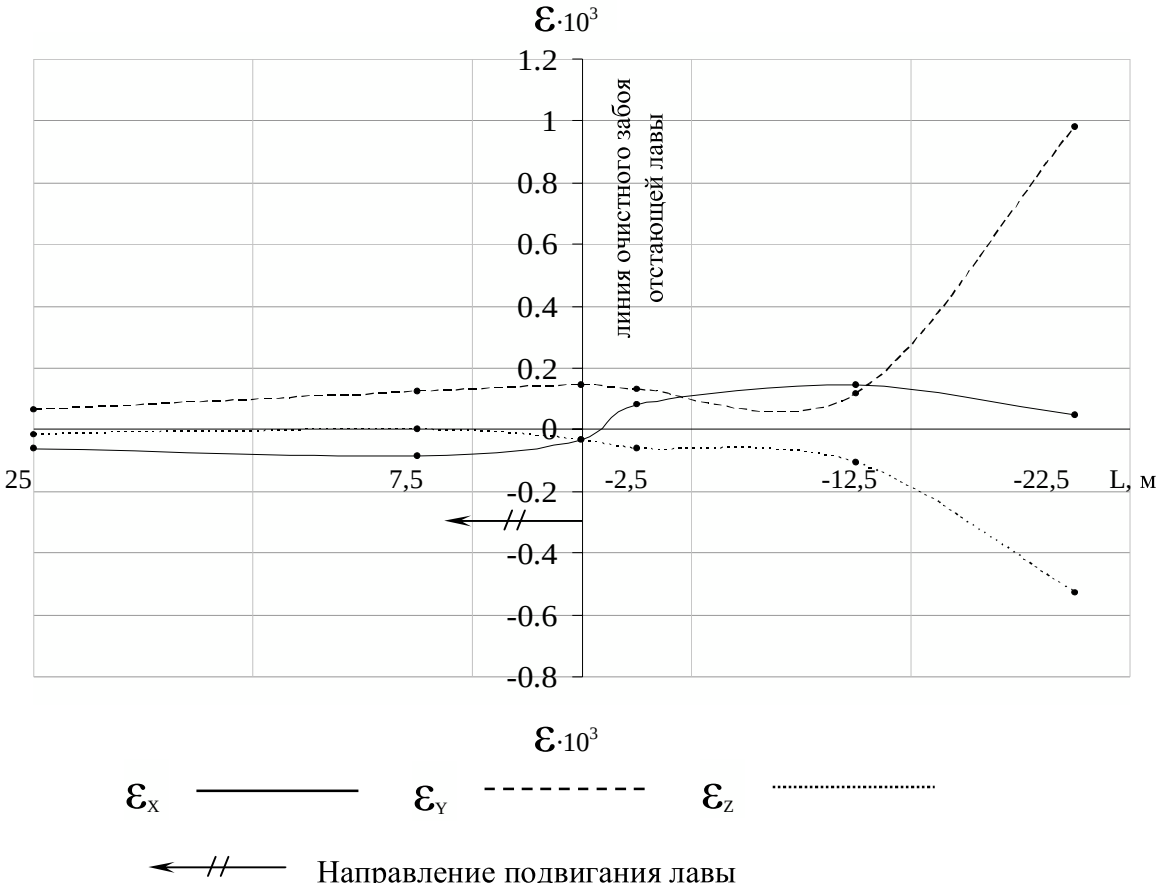

Рисунок 9 – Зависимость изменения относительных деформаций в нижнем слое кровли выработки (ε) от расстояния до отстающей лавы (L)

В результате проделанной работы сделан вывод о том, что угольный пласт и кровля разрушаются под действием сжимающих напряжений, превышающих предел прочности пород. Возникающие относительные деформации растяжения, направленные в сторону выработки, достигают в кровле $\varepsilon_Y = 1{,}125 \cdot 10^{-3}$ впереди отстающей лавы, на участке 7,5 – 0 м они возрастают на величину $0{,}02 \cdot 10^{-3}$; в призабойном пространстве растягивающие деформации достигают $\varepsilon_X = 0{,}081 \cdot 10^{-3}$, что на два порядка меньше чем относительные деформации скрепляющих составов, т.е. упрочненные породы впереди лавы не будут разрушены над призабойным пространством.

The process of destruction of array of mountain breeds of the around repeatedly used making is explored, the graphs of dependences of deformations from tensions are built.

Исследован процесс разрушения массива горных пород вокруг повторно используемых выработок, построены графики зависимостей деформаций от напряжения.

Библиографический список

1. Обобщение опыта крепления и охраны подготовительных выработок. Егоров С. И., Халимендик Ю. М., Курченко Э. П., Андриенко В. М., Сторчак И. И., Иваненко Л. Г. // Уголь Украины. – 2002. – №5. – С. 19 – 21.

2. Булычёв Н.С. Механика подземных сооружений. – М.: Недра, 1982. – 270 с.

3. Касьян Н. Н. Оценка влияния различных факторов на величину зоны разрушенных пород вокруг выработок. // Известия Донецкого горного института. – 1997. -№1(5). – С. 63 – 67.

4. Механизм деформирования пород, вмещающих повторно используемую выработку. Назимко В.В., Сажнев В.П., Сугаков В.А., Лозовский С.П. // Известия Донецкого горного института. – 1996. -№2(4). – С. 60 – 67.