

УДК 622.281

## ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ НА УСТОЙЧИВОСТЬ МАГИСТРАЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

**Соцков В. А.**

(НГУ, г. Днепропетровск, Украина)

*Наведено результати дослідження НДС геомеханічної моделі для двох положень очисного вибою відносно фіксованих перетинів магістральних штреків, які будуть використані для прийняття технічного рішення про доцільність відпрацювання 850 лави.*

*The results of stress-strain state research of the geomechanical model for two working face positions relatively fixed sections of main roadways that will be used for the adoption of technical decision on expediency of working out the 850 lava.*

Основная задача исследований состоит в установлении влияния отработки 850 лавы пласта с<sub>8н</sub> ШП «Западно-Донбасская» ПСП «Шахтоуправление Терновское» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» на устойчивость магистральных выработок (западный магистральный конвейерный штрек № 3 и восточный магистральный вентиляционный штрек гор. 420-445 м). Необходимо оценить изменение напряженно-деформированного состояния (НДС) в массиве в целом и его части, вмещающей непосредственно магистральные штреки. Для этого на модели МКЭ рассчитывается поле распределения каждой компоненты напряжений (вертикальных  $\sigma_y$  и приведенных  $\sigma$ ) для двух положений очистного забоя 850 лавы относительно фиксированного сечения указанных магистральных штреков:

– участок выработки находится вне зоны влияния очистных работ;

– участок выработки попадает в зону максимального опорного давления впереди 850 лавы.

Сравнение двух полученных при этом полей напряжений по каждой компоненте напряжений преследует цель – определение увеличения объемов пород, находящихся в предельном состоянии в окрестности магистральных штреков, с последующей оценкой степени увеличения нагрузки на их крепежные системы.

Разработана геомеханическая модель для проведения исследований НДС массива, общий вид которой приведен на рисунке 1. Строение левой части модели соответствует литологической колонке 850 лавы с учетом физико-механических свойств пород.

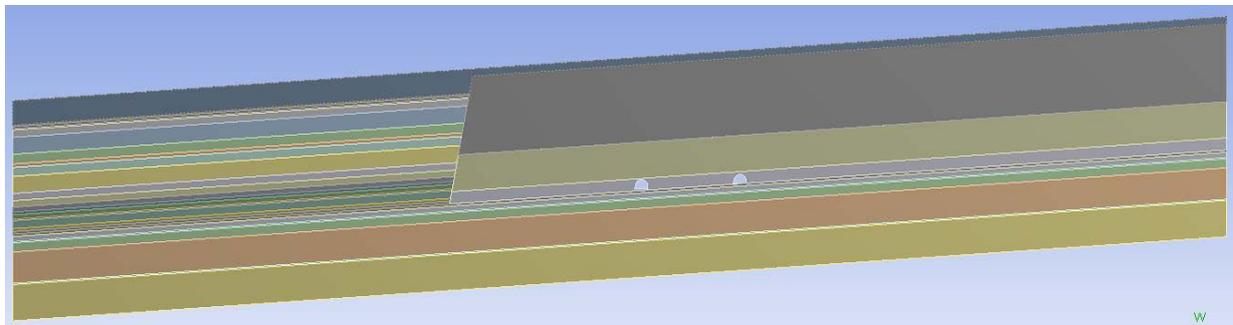


Рис. 1. Общий вид геомеханической модели к расчету НДС массива на участке шахтного поля в районе 850 лавы

### **Анализ НДС массива в окрестности магистральных штреков и его изменения при отработке 850 лавы.**

Произведен расчет его НДС для двух положений очистного забоя относительно фиксированных сечений магистральных штреков: вне зоны влияния очистных работ и в зоне максимального опорного давления впереди 850 лавы. Поэтому полученные поля всех компонент напряжений сгруппированы по двум указанным положениям. Для получения представлений обо всей картине исследуемой области массива приведены общие эпюры по каждой компоненте напряжений в более мелком масштабе. Для изучения особенностей распределения НДС непосредственно вокруг магистральных штреков эпюры каждой компоненты даны в более крупном масштабе и также группируются по двум положениям относительно очистного забоя. Это семейство эпюр позволяет оценить степень влияния отработки 850 лавы и связанное с

ней изменение объемов неустойчивых пород вокруг магистральных штреков.

### **Поле распределения вертикальных напряжений.**

Анализ НДС выполнен, начиная с вертикальных напряжений  $\sigma_y$ , поля которых приведены на рисунке 2 для общей модели исследуемого участка шахтного поля. Вне зоны влияния очистных работ (см. рис. 2 а) наблюдается равномерное поле распределения  $\sigma_y$  за исключением участков массива, примыкающих к магистральным штрекам. Исходная величина  $\sigma_y = 10,5 \dots 11,5$  МПа соответствует глубине заложения выработок, а постоянство  $\sigma_y$  на различных участках модели вполне объясняется стабилизацией геомеханических процессов в частично подработанном массиве, ведь с момента окончания очистных работ на примыкающих к 850 лаве выемочных участках прошло от 5–6 до 9–10 лет.

За этот период времени частично или полностью разрушенные породы определенным образом консолидировались в менее крепкий, но достаточно связный массив, который, благодаря своим пониженным деформационным характеристикам, способен существенно нивелировать возникшие ранее аномалии горного давления и по прошествии значительного времени релаксационные процессы в легкодеформируемой среде восстанавливают горный массив в исходное достаточно однородное состояние.

При попадании магистральных штреков в зону опорного давления 850 лавы однородность поля  $\sigma_y$  нарушается (см. рис. 2 б) – в первую очередь к западному магистральному конвейерному штреку № 3 приближается область повышенного вертикального давления. Параметры этой области оцениваются в виде коэффициента концентрации  $k_y$ , равного отношению действующих вертикальных напряжений  $\sigma_y$  к их усредненной исходной величине  $\sigma_y = \gamma H = 11$  МПа. На расстоянии  $x = 8,0 \text{--} 8,5$  м появляется небольшая концентрация  $\sigma_y$  порядка  $k_y = 1,18 \text{--} 1,34$ , которая при удалении от выработки резко возрастает: на расстоянии  $x = 24 \text{--} 27$  м  $k_y = 1,66 \text{--} 1,82$ ; при удалении более 30 м концентрация  $\sigma_y$  достигает значений  $k_y = 2 \text{--} 5$  и более.

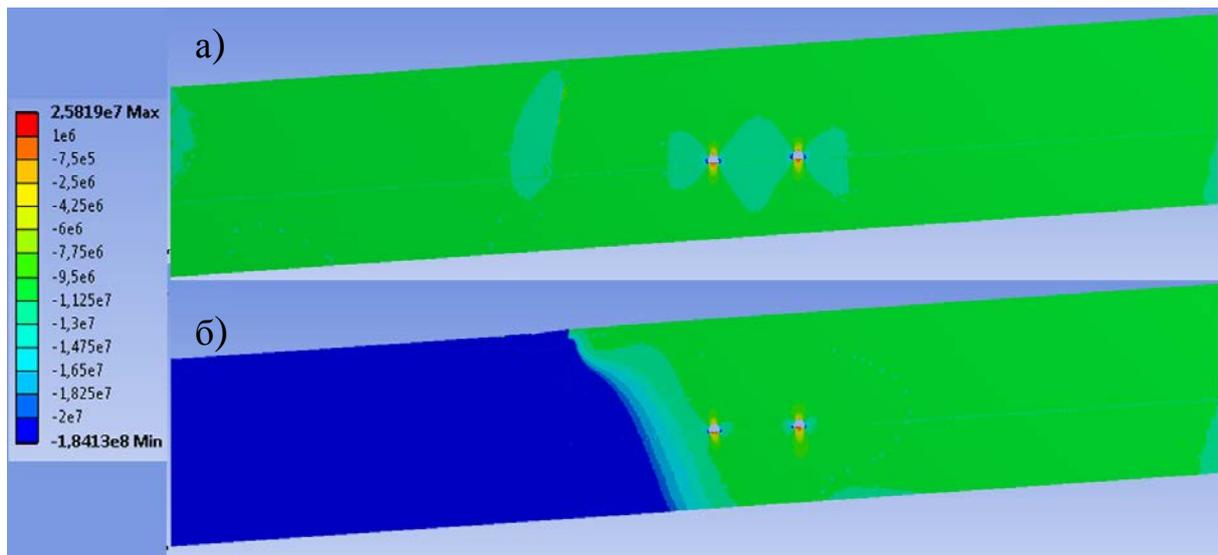


Рис. 2. Поля вертикальных напряжений  $\sigma_y$  в общей модели:  
а) вне зоны влияния очистных работ 850 лавы; б) в  
зоне максимального опорного давления впереди 850  
лавы

Для определения степени влияния зоны опорного давления впереди 860 лавы на магистральные штреки проанализируем эпюру  $\sigma_y$ , построенную в более крупном масштабе на рисунке 3. Вне зоны влияния очистных работ (см. рис. 3 а) наблюдается традиционная картина [1–4] распределения  $\sigma_y$  в окрестности выработки: в кровле и почве образуются зоны разгрузки, в боках – зоны повышенного горного давления. Зона разгрузки в кровле распространяется на высоту до 13–14 м с пониженным  $k_y = 0,76–0,86$ ; однако, область полной разгрузки относительно невелика – высота свода предельного равновесия не превышает 1,0 м, что тождественно вертикальной нагрузке на крепежную систему до 80–90 кН – это в несколько раз меньше несущей способности рамной крепи серии КШПУ. Однако следует помнить, что оба магистральные штрека проведены по обрушенным породам в пределах области их максимального дробления, соответствующей их наибольшей степени потери прочностных свойств с полным отсутствием сопротивления растяжению. Поэтому с течением времени вполне допустимо прогнозировать увеличение размеров свода обрушения сначала до высоты 3,5–4,0 м, а затем на

полную высоту зоны разгрузки. При этом величина нагрузки от веса пород внутри свода уже повышает несущую способность рамной крепи [5] в 2–2,5 раза и вполне вероятно потребуются ее существенное усиление или проведение затратных ремонтно-восстановительных работ. То есть, еще вне зоны влияния очистных работ, например, 850 лавы можно прогнозировать неустойчивое состояние магистральных штреков. В зоне максимального опорного давления происходят следующие, на первый взгляд, противоречивые тенденции. С одной стороны, область действия растягивающих напряжений  $\sigma_u$  уменьшается, а зона разгрузки ( $k_u=0,55-0,65$ ) остается прежних размеров. Но с другой стороны общая зона разгрузки не только возрастает по высоте до 27–30 м, но и затрагивает по ширине соседний восточный магистральный вентиляционный штрек, размещенный на расстоянии 40 м. Безусловно, не весь указанный объем горного массива может перейти в неустойчивое состояние, но даже если его часть (при активации процессов расслоения) будет участвовать в формировании нагрузки на крепежные системы магистральных штреков, то вполне прогнозируемо их весьма неустойчивое состояние, что и наблюдалось на практике при отработке 872 и 874 лав.

Аналогичные выводы можно сделать и по отношению к степени устойчивости пород почвы магистральных штреков. Здесь, как вне зоны, так и в зоне опорного давления, развиваются более обширные (чем в кровле) области разгрузки. Причем, растягивающие  $\sigma_u$  развиваются на глубине до 1,5 м, что выходит за пределы непосредственной почвы и обуславливает при их расслоении активизацию процесса пучения.

Теперь рассмотрим области концентрации  $\sigma_u$  в боках выработки. Вне зоны влияния очистных работ небольшая концентрация  $\sigma_u$  ( $k_u = 1,08-1,18$ ) распространяется на высоту до 9–11 м и ширину до 6–8 м; но в приконтурных породах на высоту до 5,5–6,5 м и ширину до 2,5–3 м концентрация  $\sigma_u$  возрастает до нескольких единиц и превышает сопротивление сжатию даже ненарушенных пород непосредственной кровли и почвы пласта. Здесь образуются области разупрочнения уже консолидированных ранее обрушенных пород, которые провоцируют развитие значи-

тельной боковой нагрузки на крепежную систему и требуется ее усиление в боковом направлении.

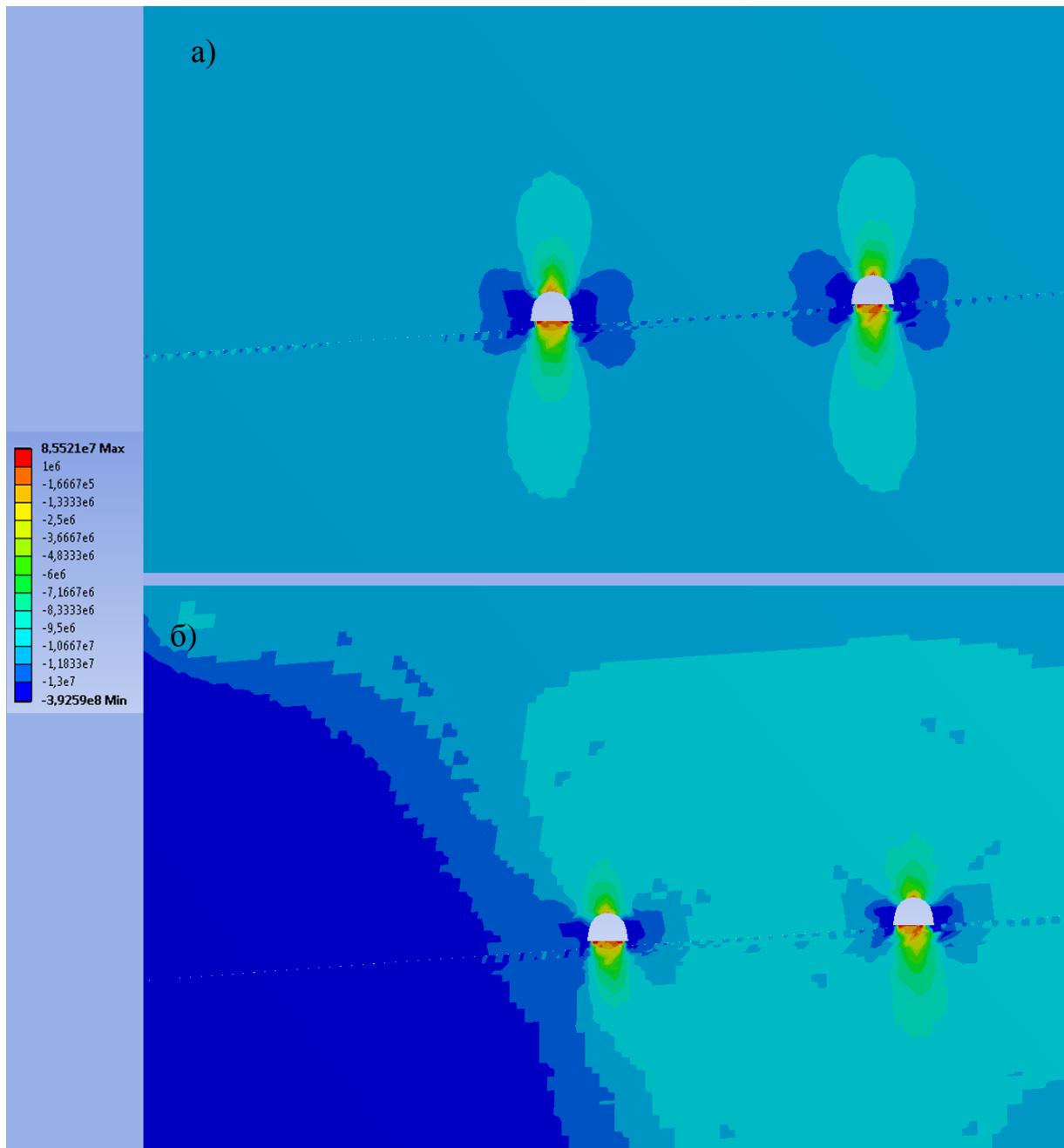


Рис. 3. Поля вертикальных напряжений  $\sigma_y$  в окрестности магистральных штреков: а) вне зоны влияния очистных работ 850 лавы; б) в зоне максимального опорного давления при подходе 850 лавы

В зоне максимума опорного давления впереди 850 лавы также наблюдаются разновекторные тенденции. С одной стороны, размеры областей концентрации  $\sigma_u$  сокращаются по причине формирования вокруг магистральных штреков обширной области частично разгруженного массива. С другой стороны, к левому борту западного магистрального конвейерного штрека № 3 вплотную подходит область небольших концентраций  $\sigma_u$  (по отношению к  $\sigma_{сж}$  целостной породы) и располагается на расстоянии 9,5–10 м от контура штрека; с учетом приконтурной разупрочненной области это расстояние сокращается до 6,5–7 м. Принимая во внимание условия поддержания штрека, проведенного по обрушенным породам, можно прогнозировать формирование в его левом борту (ближнем к 850 лаве) весьма обширной области разупрочненного массива в десятки метров, которая не только создает повышенную боковую и косонаправленную нагрузку, но и способствует несимметричному нагружению крепежной системы штрека, что снижает ее несущую способность.

По итогам анализа эпюр распределения вертикальных напряжений  $\sigma_u$  выработано следующее мнение по поводу ожидаемого влияния отработки 850 лавы на устойчивость магистральных штреков:

– во-первых, в кровле выработок активизация процессов расслоения вмещающих пород способна сформировать нагрузку на крепежную систему, в 2–2,5 раза превышающую ее несущую способность;

– во-вторых, те же процессы провоцируют интенсивное развитие пучения почвы штреков;

– в-третьих, возможно образование обширной области разупрочненных пород в левом борту Западного магистрального конвейерного штрека № 3 с воздействием значительных боковых и косонаправленных нагрузок на его крепежную систему.

Все отмеченные прогнозные факторы будут способствовать ухудшению эксплуатационного состояния, прежде всего, Западного конвейерного штрека № 3 при отработке 850 лавы, а также в определенной степени усложнить поддержание и ВМВШ гор. 420–445 м.

### Поле распределения приведенных напряжений.

Величина приведенных напряжений  $\sigma$  характеризует интенсивность напряженного состояния породного массива, которая по закону Кулона-Мора, общепринятому для горных пород [19, 23–25], равна

$$\sigma = \sigma_1 - A\sigma_3 = \sigma_1 - \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \sigma_3, \quad (1)$$

где  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  – максимальные и минимальные главные напряжения по элементарному объему;

$\varphi$  – угол внутреннего трения горной породы.

На рисунке 4 приведены эпюры  $\sigma$  для общей модели, и результаты их анализа закономерно соответствуют уже выявленным особенностям распределения компонент  $\sigma_y$  и  $\sigma_x$  (горизонтальные напряжения в статье не представлены, однако использовались в анализе).

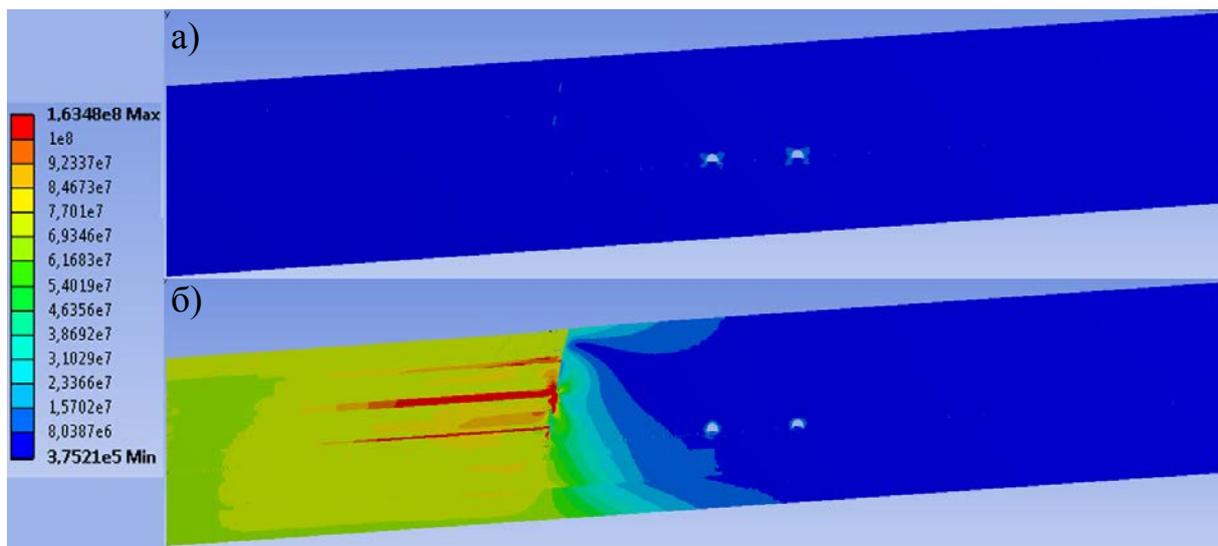


Рис. 4. Поля распределения интенсивности напряжений  $\sigma$  в общей модели: а) вне зоны влияния очистных работ 850 лавы; б) в зоне максимального опорного давления впереди 850 лавы

Вне зоны влияния очистных работ (см. рис. 4 а) поле интенсивности напряжений практически однородно за исключением приконтурных пород магистральных штреков, где в кровле и

почве сформированы зоны разгрузки, а в боках – зоны концентрации  $\sigma$ . Опорное давление впереди 850 лавы (см. рис. 4 б) коренным образом меняет распределение  $\sigma$  в кровле и почве пласта  $c_8^H$ , а также распространяет влияние на обрушенные и консолидированные породы, где эксплуатируются магистральные штреки. В углевмещающем массиве в районе 850 лавы интенсивность напряжений  $\sigma$  увеличивается многократно в менее жестких слоях, а в более жестких (песчаники, мощные слои алевролитов) возрастает до 70–100 МПа и являются разрушающими напряжениями.

Такая высокая концентрация напряжений в слоях впереди очистного забоя, безусловно, влияет на примыкающий массив ранее обрушенных и уплотненных пород – это воздействие постепенно снижается по мере удаления от лавы в сторону магистральных штреков. Тем не менее, прослеживается ряд тенденций, негативно влияющих на устойчивость выработок (рис. 5). Во-первых, исчезают зоны разгрузки в кровле и почве, а разрушающие напряжения  $\sigma$  в приконтурных породах действуют по всему периметру выработки. Во-вторых, к западному магистральному конвейерному штреку № 3 приближаются зоны действия концентраций  $\sigma$ , разупрочняющие обширные области массива.

Если сравнивать величину  $\sigma$  с сопротивлением сжатию пород кровли и почвы пласта  $c_8^H$  в целостном состоянии, то зоны разрушения располагаются на расстоянии 12–20 м, а для более слабых пород непосредственной почвы это расстояние сокращается до 7–8 м с появлением локальных очагов разрушения по всей рассматриваемой области. С учетом пониженного сопротивления сжатию обрушенных и уплотненных пород можно прогнозировать, что все пространство со стороны обрабатываемого участка 850 лавы будет подвергнуто разупрочнению и сформируется значительная боковая и косонаправленная нагрузка на крепежную систему Западного магистрального конвейерного штрека № 3.

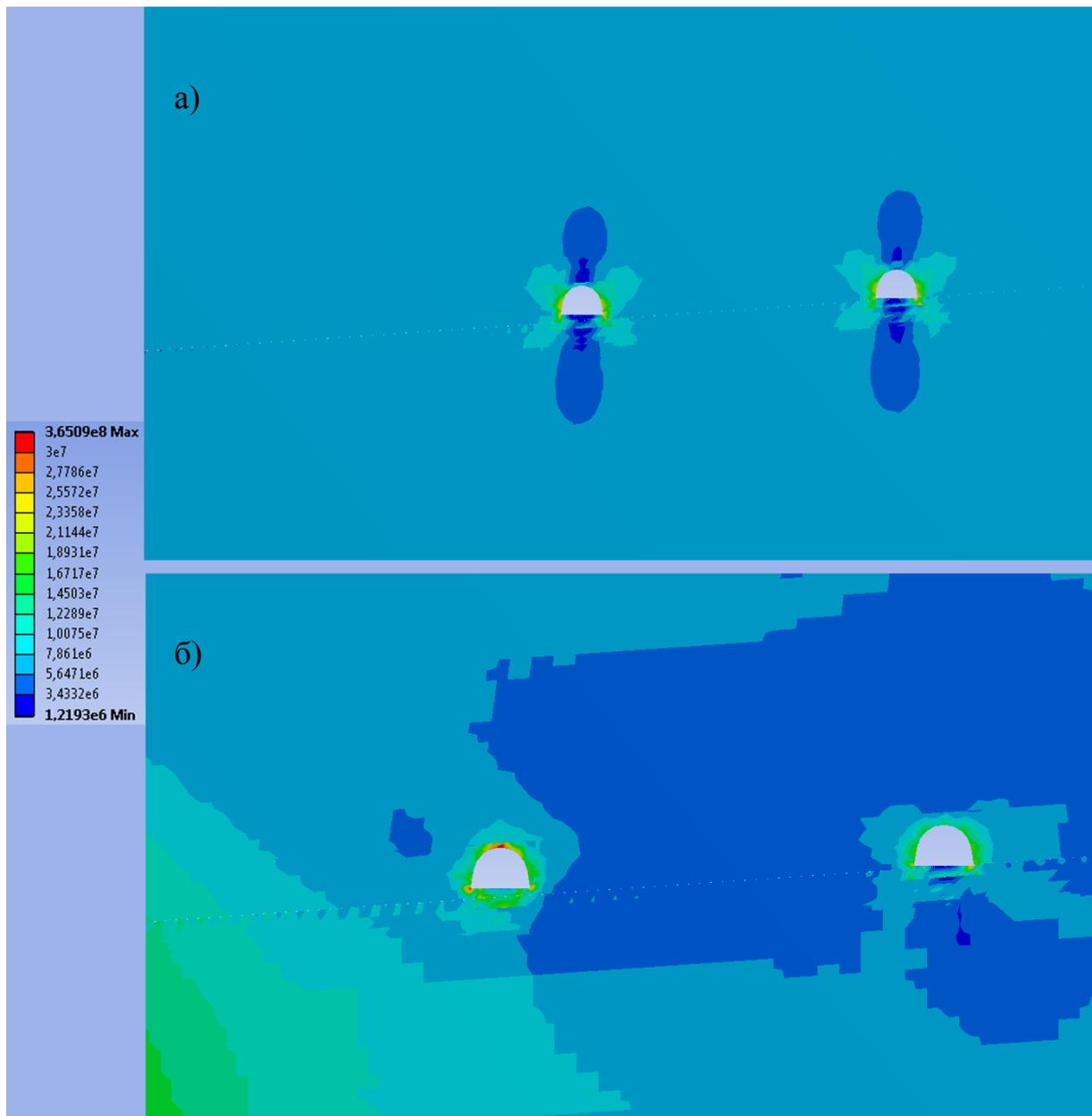


Рис. 5. Поля распределения интенсивности напряжений  $\sigma$  в окрестности магистральных штреков: а) вне зоны влияния очистных работ 850 лавы; б) в зоне максимального опорного давления впереди 850 лавы

### **Выводы.**

По результатам численного моделирования геомеханических процессов в районе планируемого ведения очистных работ в 850 лаве сформулированы основные выводы относительно их воздействия на устойчивость западного магистрального конвейерного штрека № 3 и восточного магистрального вентиляционно-

го штрека гор. 420–445 м, проведенных и поддерживаемых в массиве обрушенных и уплотненных пород 848 разгрузочной лавы.

1. В наибольшей степени влиянию 850 лавы будет подвержен западный магистральный конвейерный штрек № 3, хотя состояние обеих выработок еще до начала очистных работ можно оценить как неустойчивое из-за интенсивного развития проявлений горного давления в виде формирования повышенной нагрузки на крепежные системы, накопления значительных перемещений породного контура по всему периметру выработки.

2. В кровле магистральных выработок прогнозируется увеличение нагрузки на крепежные системы до 2–2,5 раз превышающей несущую способность применяемых рамных крепей. В этой связи необходимо их усиление в вертикальном направлении современными способами, например, образованием армопородной грузонесущей конструкции за счет более густой сетки армирования приконтурных пород анкерами, установкой канатных анкеров, стоек крепи усиления и тому подобное.

3. Возможно образование обширных областей разупрочненных пород со стороны 850 лавы, которые сформируют значительную боковую и косонаправленную нагрузку на крепежную систему магистральных выработок. Поэтому требуется ее усиление в боковом направлении, где сопротивление традиционных конструкций рамных крепей явно недостаточно.

4. Прогнозируется активизация процессов пучения почвы, что в условиях поддержания выработок по обрушенным породам потребует выполнения ее периодической подрывки.

5. Данные прогнозные факторы способствуют ухудшению эксплуатационного состояния магистральных выработок. Поэтому принятие технического решения о целесообразности отработки 850 лавы в значительной степени определяется соотношением затрат на поддержание магистральных штреков и прибылью от добычи угля в 850 лаве.

## СПИСОК ССЫЛОК

1. Геомеханика нагружения крепи очистных и подготовительных выработок в слоистом массиве слабых пород [Текст] :

- монографія / В. И. Бондаренко, И. А. Ковалевская, Г. А. Симанович, В. Г. Черватюк. — Днепропетровск : ТОВ «ЛізуновПрес», 2012. — 236 с.
2. Бондаренко В. И. Экспериментальные исследования устойчивости повторно используемых выемочных выработок на пологих пластах Донбасса [Текст] : монография / В. И. Бондаренко, И. А. Ковалевская, Г. А. Симанович и др. — Днепропетровск : ТОВ «ЛізуновПрес», 2012. — 426 с.
  3. Бондаренко В. И. Геомеханика взаимодействия анкерной и рамной крепей горных выработок в единой грузонесущей системе [Текст] : монография / В. И. Бондаренко, Ю. Я. Черденченко, И. А. Ковалевская, и др. — Днепропетровск : ТОВ «ЛізуновПрес», 2010. — 174 с.
  4. Бондаренко В. И. Развитие научных основ повышения устойчивости горных выработок шахт Западного Донбасса [Текст] : монография / В. И. Бондаренко, А. В. Мартовицкий, И. А. Ковалевская, и др. — Днепропетровск : ТОВ «ЛізуновПрес», 2010. — 340 с.
  5. Кириченко В. Я. Металлорамные штрековые крепи нового технического уровня [Текст] / В. Я. Кириченко // Матер. IV Междунар. науч.-практ. конф. «Школа подземной разработки». — Днепропетровск : «ЛізуновПрес» 2010. — С. 241—266.