

В.А. Соцков

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАДРАБОТКИ ДРЕНАЖНОГО ШТРЕКА НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ КРЕПЕЖНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Выполнен анализ напряженно-деформированного состояния крепежной системы. Выявлены закономерности перераспределения напряжений в рамном и анкерном креплении при изменении расстояния очистного забоя до выработки. Определены области концентрации напряжений, опасные с точки зрения потери устойчивости элементов крепежной системы.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НАДРОБКИ ДРЕНАЖНОГО ШТРЕКА НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН КРІПІЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

Виконано аналіз напружено-деформованого стану системи кріплення. Виявлені закономірності перерозподілу напружень в рамному та анкерному кріпленні при зміні відстані очисного вибою до виробки. Визначено області концентрації напружень, небезпечних з точки зору втрати стійкості елементів системи кріплення.

RESEARCH OF OVERWORKING DRAINAGE DRIFT INFLUENCE ON STRESS-STRAIN STATE OF FIXING CONSTRUCTION

The analysis of the stress-strain state of the mounting system was made. There were detected the regularities of the stress redistribution in the frame and anchor fastening while changing distance of the working face to the roadway. The areas of stress concentration, dangerous for the loss of stability of the elements of the fastening system are defined.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ

На современном этапе развития угольной промышленности Украины особенно актуальным является вопрос выбора оптимальной схемы крепления на этапе проектирования, чтобы избежать необходимости дополнительного усиления крепи или перекрепления выработок. Это позволит избежать дополнительных материальных затрат в процессе эксплуатации сети горных выработок, в частности, при попадании в зону влияния очистных работ. Для более

точного определения рациональной схемы крепления помимо традиционных аналитических методов необходимо использовать более современные подходы, основанные на проведении вычислительного эксперимента. Комплексный подход позволит более точно прогнозировать поведение крепи в конкретных горно-геологических условиях и обеспечить надежное поддержание выработки.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Проблема обводненности слабометаморфизованных породных слоев Западного Донбасса существенно осложняет добычу угля. Отработка угольного пласта C_5 на ШП «Самарская» осложняется наличием обводненного песчаника в основной кровле. В результате чего при обрушении консоли основной кровли происходит значительный водоприток в лаву, достигающий $62 \text{ м}^3/\text{ч}$. Для решения проблемы отвода воды из подготовительной выработки проведен дренажный вентиляционный штрек на глубине 8-9 м относительно угольного пласта. Для поддержания устойчивости выработки используется чередование анкерной и рамной крепи с шагом установки 1 м. При отработке 545 лавы очистные работы будут проходить непосредственно над дренажным штреком, что обуславливает необходимость установить степень эффективности работы существующей схемы крепления и выявить недостатки.

ФОРМУЛИРОВАНИЕ ЦЕЛИ РАБОТЫ

Основной целью вычислительного эксперимента является изучение изменения напряженного состояния рамного и анкерного крепления в зависимости от местоположения груди очистного забоя при надработке дренажного вентиляционного штрека. Учитывая, что выработка проведена на глубине 8-9 м от вынимаемого угольного пласта, необходимо установить степень влияния зоны опорного давления впереди забоя на крепежную систему штрека; определить опасные области в элементах крепления, которые могут вызвать потерю их устойчивости и выработки в целом.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

В ходе решения поставленной задачи использовалось пространственное моделирование методом конечных элементов. При помощи специального программного

комплекса создана трехмерная модель слоистого горного массива с заданными физико-механическими свойствами пород согласно данным геологической разведки в окрестности дренажного вентиляционного штрека ШП «Самарская». Особенностью рассматриваемой проблемы является местонахождение дренажного вентиляционного штрека под отрабатываемым пластом C_5 . Горная выработка арочной формы под крепь КШПУ-11,7 расположена на глубине 8-9 м от вынимаемого угольного пласта. Для крепления использовалась рамная крепь, изготовленная из профиля СВП-22 и веер сталеполимерных анкеров, установленные с шагом в 1 м. Система анкерного крепления состоит из девяти сталеполимерных анкеров, семь из которых длиной 2,4 м устанавливаются в кровле выработки, а еще два длиной 1,5 м – в боках выработки с каждой стороны, диаметр несущего элемента 22 мм. В результате полученная крепежная схема выработки полностью соответствует данным паспорта крепления выработки, представленному на рис. 1.

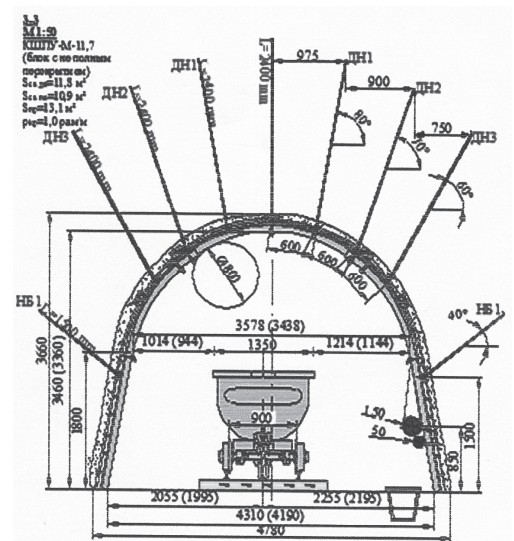


Рис.1. Схема рамного и анкерного крепления выработки

В ходе выполнения вычислительного эксперимента проводилась имитация ведения очистных работ. В связи с этим механизированная крепь моделировалась как цельный прямоугольный блок с реакцией сопротивления горному давлению, соответствующей несущей способности крепи КД-80. Размеры по высоте и глубине соответствовали вынимаемой мощности, длина блока равна длине секции механизированной крепи КД-80. За ограждением механизированной крепи моделировались обрушенные породы в выработанном пространстве с разбиением на зону беспорядочного обрушения и зону шарнирно-блокового сдвигания с соответствующими механическими характеристиками [1-2].

ВЕРТИКАЛЬНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ σ_y

Первый шаг расчета был выполнен при расположении очистного забоя на расстоянии 14 м от дренажного штрека, при этом выработанное пространство задано шириной 15 м вплоть до границы модели. При анализе эпюры вертикальных напряжений σ_y (рис. 2, а) можно отметить две области распределения напряжений. Свод выработки подвергается давлению со стороны пород кровли, что наглядно продемонстрировано растяжением в верхняке рамы. Напряжения здесь достигают 40-50 МПа. Далее в местах расположения узлов податливости образуется промежуточная область смены растягивающих напряжений на сжимающие, которые достигают своих максимальных значений в стойках рамы. Распределение нагрузок имеет неоднородный характер. В центре стойки образуются максимальные концентрации, что обусловлено давлением боковых пород на раму. При этом характерным является различие в распределении напряжений в разных стойках. Стойка, находящаяся со стороны подвигания очистного забоя нагружена немного меньше, чем противоположная. Учитывая, что на данном этапе расчета влияния

очистных работ на выработку минимально, можно предположить, что это связано также и с влиянием угла залегания породных слоев.

Анкерное крепление, состоящее из 7 анкеров в кровле и по одному анкеру в боках выработки, также имеет неоднородное распределение напряжений. Анкера в кровле подвергаются растягивающим напряжениям в непосредственной близости от выработки, при этом их заглубленные участки подвергнуты сжимающим σ_y .

Существует промежуточная область, где постепенно происходит переход от растяжения к сжатию. Каждая область распределения нагрузок, занимает примерно треть от общей протяженности анкера, что соответствует 0,7 – 0,9 м. При этом растягивающие напряжения достигают 50 МПа, а сжимающие 90 МПа. Боковые анкера имеют значительно меньший диапазон и концентрацию напряжений. Они подвергаются сжимающим напряжениям, которые колеблются от 50-70 МПа.

По сравнению с первым этапом эксперимента очевидно перераспределение напряжений в рамном и анкерном креплениях выработки. Стойки рамной крепи практически полностью, вплоть до узла податливости, подвергаются высоким сжимающим напряжениям, которые значительно превышают предел прочности стали на сжатие. Такое влияние вызвано значительным усилением давления на крепь со стороны кровли, что приводит к деформации стоек и способствует вдавливанию крепи в почву выработки, что также отображено на эпюре (рис. 2, б) в виде очаговых напряжений у основания стойки. Нагрузки в верхняке рамы остались практически идентичными с предыдущим шагом расчета. Происходит преобладание растягивающих напряжений в диапазоне 20 – 50 МПа, которые характеризуют оказываемое на профиль давление пород кровли.

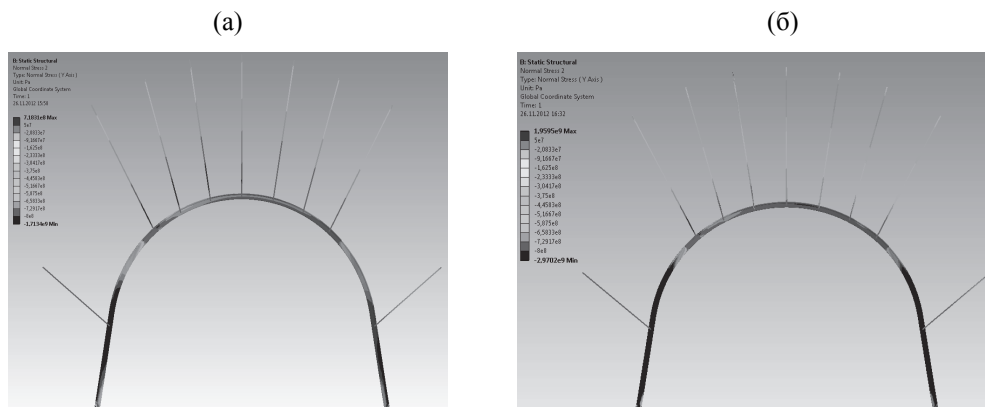


Рис. 2. Эпюры вертикальных напряжений бурманной и анкерной крепи: при расстоянии 14 м от груди очистного забоя до выработки (а); грудь очистного забоя сравнялась с вертикальной осью симметрии выработки (б)

В анкерном креплении присутствует смена растягивающих напряжений, образующихся на концах анкеров, выходящих в выработку, на сжимающие напряжения на противоположных концах. На данном этапе расчета сжимающие нагрузки распределяются значительно интенсивнее. В наибольшей степени влиянию опорного давления подвергается ряд центральных анкеров, установленных в кровле выработки, что вполне закономерно, учитывая расположение очистного забоя над штреком. Увеличение площади распределения сжимающих нагрузок в центральных анкерах увеличилось примерно на 30-35%, при напряжениях порядка 220-250 МПа. В то же время боковые анкера практически не участвуют в распределении горного давления, так как на них практически не оказывается никакого давления, растяжение здесь не превышает 10 МПа [3].

В результате анализа эпюр вертикальных напряжений σ_y , последнего этапа расчета при расположении очистного забоя над дренажным вентиляционным штреком можно отметить существенное изменение напряженно-деформированного состояния горного массива. Значительно увеличилась зона опорного давления, что в связи с теку-

щим местоположением лавы оказывает существенное влияние на выработку. Это приводит к увеличению нагрузок на крепежные системы, вследствие чего стойки рамы подвергаются высоким сжимающим напряжениям вплоть до деформирования профиля СВП. Анкера, установленные в кровле, защемляются в связи со сдвижением разупрочненных пород, тем не менее, выполняют свою непосредственную функцию и несколько разгружают верхнюю раму.

ИНТЕНСИВНОСТЬ НАПРЯЖЕНИЙ σ

Анализ эпюры приведенных напряжений крепежных конструкций дренажного штрека (рис. 3, а) подтверждает общую закономерность распределения напряжений с учетом проецирования эпюр горизонтальных и вертикальных напряжений.

Уже на данном этапе можно отметить высокую концентрацию напряжений в стойках рамы (250-270 МПа), что свидетельствует о частичном превышении предела текучести металла и, как следствие, инициировании деформационных процессов. При этом верхняя рама хоть и подвергается несколько менее интенсивным нагрузкам, тем не менее, образовалась область с максимальными напряжениями на противополо-

ложной стороне от зоны действия очистного забоя. Есть все основания предполагать, что в этом месте также происходит деформация стального профиля давлением пород кровли. На другой половине верхняя концентрация напряжений колеблется в диапазоне 140-180 МПа. Анкерное крепление

подвергается значительно меньшим нагрузкам, при этом на концах анкеров напряжения возрастают, что говорит о защемлении стальных арматур в породе, а к середине значительно снижаются. Концентрация напряжений в диапазоне от 30 до 60 МПа.

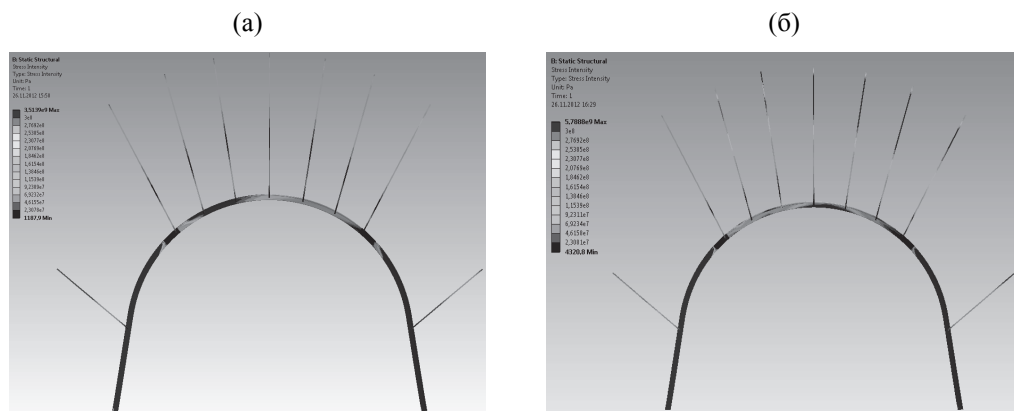


Рис. 3. Эпюры интенсивности напряжений σ рамной и анкерной крепи: при расстоянии 14 м от груди очистного забоя до выработки (а); грудь очистного забоя сравнялась с вертикальной осью симметрии выработки (б)

На завершающем этапе проанализируем эпюру приведенных напряжений рамного и анкерного крепления (рис. 3, б). Полученные данные позволят составить наиболее полную картину влияния геомеханических процессов в массиве горных пород на крепежные системы.

Стойки рамной крепи полностью подвергаются высоким нагрузкам, превышающим предел текучести стали, что говорит о деформации профиля. Настолько сильное давление на стойки обуславливается не только нагрузкой на верхняк, которое распределяется на стойки, но давлением с боков выработки, что является следствием распределения напряжений вокруг штрека. Положение очистного забоя предопределило место наибольшего давления и в верхняке рамы. В отличие от предыдущих этапов, теперь высокие нагрузки образуются практически по центру свода кре-

пи, где уровень напряжений свидетельствует о деформации металла, т.е. происходит прогиб верхняка внутрь выработки [3].

Значительно увеличились напряжения в анкерном креплении. Практически все анкера, установленные в кровле штрека, подвергаются повышенным приведенным напряжениям. Особенно проявляется на концах анкеров, закрепленных в массиве, где превышает предел текучести стали. Данное явление характеризует активное участие анкеров в распределении влияния опорного давления очистного забоя, которое оказывает максимальное воздействие на выработку. Анкера формируют опорную плиту, скрепляя породы кровли, для снижения давления на свод выработки. Учитывая характеристики стали, используемой для анкеров, можно отметить деформирование арматуры, вследствие сдвижения слоев относительно друг друга. При приближении к

контуру выработки нагрузки в анкерах уменьшаются, однако не ниже 30 МПа. Боквые анкера нагружены относительно слабо, концентрация напряжений колеблется в диапазоне 25-50 МПа.

ВЫВОДЫ

Подводя итоги анализа всех трех этапов вычислительного эксперимента, можно выделить зависимость изменения напряженно-деформированного состояния горного массива и давления на крепежные конструкции дренажного вентиляционного штрека от подвигания очистного забоя. С приближением очистных работ к выработке увеличивается зона опорного давления вокруг механизированного комплекса, что сказывается на НДС массива вокруг выработки и на нагрузке на рамное и анкерное крепление. Изменения имеют качественный и количественный показатели. С уменьшением рас-

стояния забоя до выработки напряжения в крепежной системе штрека не только возрастают, но и меняется характер их распределения. Если на первых двух этапах расчета, был перевес в давлении на той стороне, с какой подходит лава, то на последнем этапе напряжения выровнялись, и все крепление приняло нагрузку. Это вполне очевидно, учитывая, что последний этап расчет характеризуется положением плоскости забоя непосредственно над выработкой, что привело не только к равномерному распределению напряжений, но и получению максимально возможных нагрузок как на породные слои, залегающие между угольным пластом и выработкой, так и на рамное и анкерное крепление. В результате чего произошло разупрочнение массива и образование трещин, а также деформации конструктивных элементов рамы и слом ряда анкеров в местах сдвижения породных слоев.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко, В.И. Влияние характеристик неоднородности тонкослоистого горного массива на результаты вычислительного эксперимента по устойчивости выемочных выработок [Текст] / В.И. Бондаренко, Г.А. Симанович, И.А. Ковалевская, В.В. Фомичев // *Матер. V Межд. научн.-практ. конф. «Школа подземной разработки»*. – Днепропетровск: «ЛізуновПрес», 2011. – С. 10-18.

2. Фомичев, В.В. Предпосылки построения расчетных моделей рамно-анкерной крепи с учетом нелинейных характеристик поведения физических сред [Текст] / В.В. Фомичев // *Науковий вісник НГУ – 2012*. – № 2. – С. 13.

3. Бондаренко, В.И. *Геомеханика взаимодействия анкерной и рамной крепей горных выработок в единой грузонесущей системе* [Текст]: монография / В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, Ю.Я. Чередниченко, А.В. Вивчаренко, Г.А. Симанович, В.В. Фомичев. – Днепропетровск: «ЛізуновПрес», 2010. – 174 с.

ОБ АВТОРАХ

Соцков Вадим Александрович – аспирант кафедры подземной разработки месторождений Национального горного университета.