

А.В. Вивчаренко, В.В. Русских, В.А. Соцков

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КРЕПИ НАДРАБАТЫВАЕМОЙ ВЫРАБОТКИ ПРИ ОТРАБОТКЕ СБЛИЖЕННЫХ ПЛАСТОВ В УСЛОВИЯХ ШАХТ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА**

*Представлены результаты исследований состояния капитальной выработки при ее надработке очистным забоем. Получена эпюра интенсивности напряжений, отражающая наиболее полную картину напряженно-деформированного состояния породного массива. Разработаны рациональные параметры системы крепления в условиях надработки горных выработок.*

---

### **ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ КРІПЛЕННЯ ВИРОБКИ, ЩО НАДРОБЛЮЄТЬСЯ ПРИ ВІДПРАЦЮВАННІ ЗБЛИЖЕНИХ ПЛАСТІВ В УМОВАХ ШАХТ ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ**

*Наведено результати досліджень стану капітальної виробки, що надроблялася очисним вибоєм. Отримана епюра інтенсивності напружень, яка відтворює найбільш повну картину напружено-деформованого стану породного масиву. Розроблено раціональні параметри системи кріплення для гірничих виробок, що надробляються.*

---

### **DETERMINATION OF ROOF SUPPORT PARAMETERS FOR OVERWORKING ROADWAY DURING ADJACENT SEAMS AT EXTRACTION IN THE CONDITIONS OF WESTERN DONBAS MINES**

*The investigations results of the capital roadway state during working face overworking. The diagram of stress intensity, reflecting the most complete picture of the stress-strain state of the rock mass were obtained. Rational parameters of fastening systems for overworking roadway were designed.*

---

#### **АКТУАЛЬНОСТЬ**

Характерной особенностью ведения горных работ на шахтах Западного Донбасса является разработка свиты, состоящей из трех-шести пар сближенных пластов с высотой междупластья менее 12 м. В таких пластах сосредоточено около 40% балансовых запасов шахт, которые представлены преимущественно тонкими и

весьма тонкими пластами мощностью 0,6 – 1,2 м с углами падения 3 – 5°. Одним из наиболее показательных примеров являются трудности, возникшие с отработкой 3 блока шахты «Самарская» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь», включающего пласты  $C_5$  и  $C_4^2$ , расстояние между которыми составляет 8 – 12 м.

Для отведения сильного водопритока при обрушениях основной кровли (30 –

60 м<sup>3</sup>/ч) из выемочного участка был проведен дренажный вентиляционный штрек (ДВШ) по пласту  $C_4$  на глубине 8 – 9 м от угольного пласта  $C_5$  (рис. 1). ДВШ будет служить не только для отвода водопритока

при отработке пласта  $C_5$ , но и в качестве дренажного штрека при отработке пласта  $C_4$ . Поэтому сохранение его сечения для шахты крайне важно.

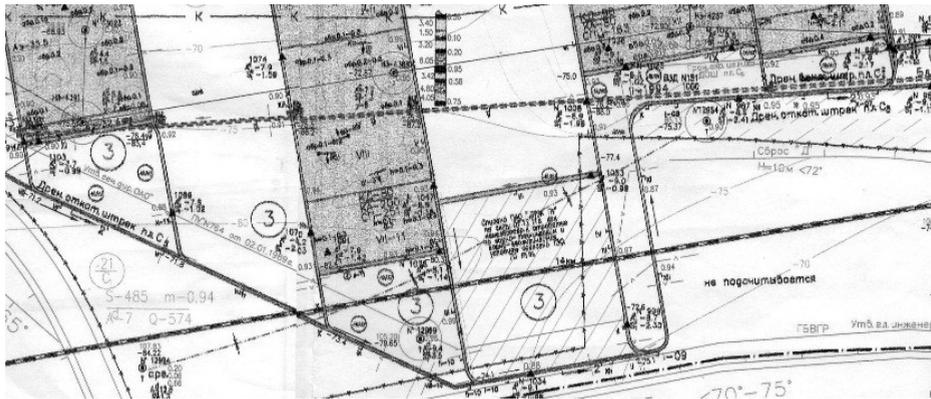


Рис. 1. Взаимное расположение дренажного откаточного штрека пласта  $C_5$  и дренажного вентиляционного штрека пласта  $C_4$

На устойчивость выработки оказывает влияние целый ряд технологических факторов. Во-первых, вода, которая по дренажным скважинам поступает в штрек с вышележащего горизонта, способствует размоканию пород почвы и провоцирует пучение, во-вторых, часть выемочных столбов, отрабатывающих угольный пласт, проходит непосредственно над штреком, что приводит к попаданию выработки в зону опорного давления впереди забоя.

В результате складывается ситуация когда выбор рациональных параметров системы крепления дренажного штрека не может осуществляться по имеющимся рекомендациям для поддержания подготовительных выработок. Необходимо разработать новые параметры, полностью отвечающие специфике проведения выработки в сложных горно-геологических условиях, с учетом влияния надработки и приобретенной обводненности.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

При проведении шахтных наблюдений состояния дренажного вентиляционного штрека пл.  $C_4^2$  шахты «Самарская» установлено, что в ходе длительного использования выработки в сложных гидрогеологических условиях, а также интенсивного горного давления при отработке лавами вышележащего пласта  $C_5$  произошло значительное уменьшение сечения выработки. На указанном участке дренажного вентиляционного штрека крепь потеряла свою несущую способность, площадь поперечного сечения не соответствует требуемым параметрам, состояние рельсового пути неудовлетворительное. Для дальнейшей безопасной эксплуатации выработки необходимо было произвести перекрепление отдельных ее участков (рис. 2).

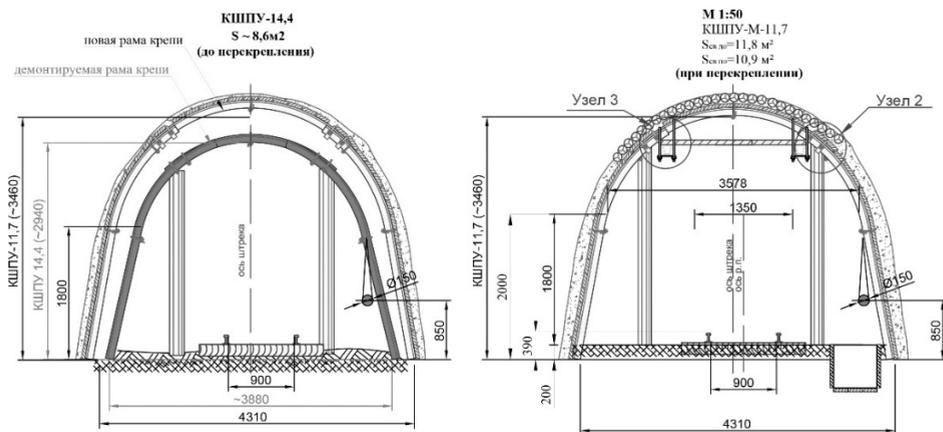


Рис. 2. Состояние дренажного вентиляционного штрека в процессе перекрепления

На основе данных о перекреплении выработки можно сделать вывод, что первоначальная система крепления не смогла обеспечить эффективное поддержание выработки на протяжении всего срока службы. Однако, несмотря на соответствие паспорта нормативным документам, даже в пределах прямолинейного участка выработки в разных местах применяются разные схемы установки крепи. Изменяется шаг установки, тип крепи, выборочно применяются анкера. Очевидно, отсутствует единый подход к выбору рациональных параметров крепления подобного типа выработок.

На рис. 3 представлено состояние дренажного вентиляционного штрека в момент прохода над ним очистного забоя. В целом выработка сохранила свои функции для пропуска воздуха и приема воды с вышележащего горизонта. Однако использование подвижного состава, а также проход людей затруднен. Влияние горного давления на выработку привело к деформации контура, ситуативно установленные стойки крепи усиления существенно не исправили ситуацию. В результате вывалов горной породы деформирована сетка. Наибольшее влияние оказывает сильный водоприток, который провоцирует размокание пород почвы, что приводит к утрате целостности рельсового пути, а также проседанию стоек рамной крепи.



Рис. 3. Состояние дренажного вентиляционного штрека при надработке

Анализ существующих подходов к проведению выработок в условиях надработки показал, что полностью отсутствует регламент по выбору местоположения выработки в массиве относительно вышележащего угольного пласта. Решения о месте проведения выработки принимаются на основании рациональных предложений инженерно-технических работников предприятия. В результате возникает непредвиденные аварийные ситуации, связанные с несоответствием системы крепления требуемым параметрам для поддержания устойчивости выработки в течение всего срока работы, что в свою очередь вызывает актуальность в проведении дополнительных исследований представленной проблемы.

## ПРОВЕДЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Весьма широкими возможностями для решения подобных задач обладает программный комплекс ANSYS (продукт фирмы ANSYS Inc.), имеющий в качестве механической и математической основы метод конечных элементов и обладающий расширенными вычислительными возможностями. Комплекс позволяет решать широкий круг инженерных задач, в том числе и по определению напряженно-деформированного состояния конструкций [1].

Рассматриваемая модель (рис. 2) состоит из 25 породных слоев, при этом высота модели составляет 48,2 м. Мощность и физико-механические свойства каждого слоя полностью соответствуют геологическому прогнозу для 547 лавы пласта  $C_5$ . Ширина модели составляет 290 м, что включает в себя непосредственно лаву (230 м), выемочные штреки, а также участки ранее отработанных лав по 25 м с каждой стороны. В кровле над отработанными лавами, а также вокруг выемочных выработок моделируется зона шарнирно-блокового сдвижения с разбиением породных слоев на блоки с различными размерами. На глубине 9 м от угольного пласта и на удалении 18 м от переднего края модели смоделирован дренажный вентиляционный штрек. Согласно паспорта крепления дренажного штрека была смоделирована рамно-анкерная крепь. Глубина модели составила 55 м. Механизированный комплекс моделировался в виде сплошного прямоугольного блока шириной 5 м и высотой 1 м. Выработанное пространство заполнено обрушенными породами, смоделированными в виде сплошного блока с прочностными характеристиками, соответствующими разрушенному горному массиву [2, 3].

При приближении очистного забоя происходит объединение фронтальной зоны опорного давления впереди забоя и в боках выработки. В результате чего происходит распространение сжимающих на-

пряжений в диапазоне 7 – 10 МПа на значительную площадь массива. Данная область занимает все пространство между угольным пластом и выработкой и достигает 10 – 12 м в ширину и примерно столько же в высоту. При этом отмечается увеличение интенсивности пучения пород почвы в выработку, что характеризуется увеличением концентрации растягивающих напряжений.

Эпюра интенсивности напряжений  $\sigma$  (рис. 4) отражает наиболее полную картину НДС породного массива. Фронтальная зона опорного давления впереди забоя распространяется на высоту до 10 м и ширину 5 – 7 м с характерным уклоном в кровле в сторону выработанного пространства, в связи с проседанием пород кровли в образовавшуюся полость. Концентрация напряжений возрастает от 20 до 30 МПа и выше, в зависимости от участка.

В основной кровле над выработанным пространством происходит образование блочной структуры на высоту до 12 мощностей вынимаемого пласта. Это сопровождается повышением напряжений свыше 25 – 30 МПа, что превышает предел прочности для данных пород.

В боках выработки зоны опорного давления достигают 5 – 7 м в высоту и 3 – 5 м в ширину, при концентрации напряжений в диапазоне 15 – 20 МПа. При этом происходит объединение с фронтальной зоной опорного давления впереди забоя, в связи с чем залегающие между угольным пластом и выработкой слои подвергаются воздействию интенсивности напряжений  $\sigma$  около 10 МПа. В кровле и почве выработки образовались зоны разгрузки.

Для получения полной картины влияния НДС горного массива на выработку необходимо проанализировать состояние рамного и анкерного крепления, установленного в штреке. Для этого используем эпюры интенсивности напряжений  $\sigma$  для трех основных этапов расчета (рис. 5).

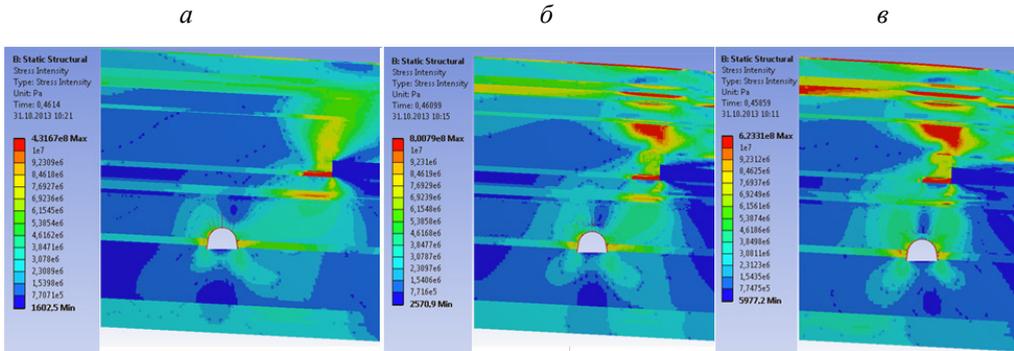


Рис. 4. Эпюры интенсивности напряжений  $\sigma$  породного массива при надработке ДВШ при расстоянии: а – 14 м от очистного забоя до выработки; б – 7 м от очистного забоя до выработки; в – очистный забой находится на уровне центральной оси выработки

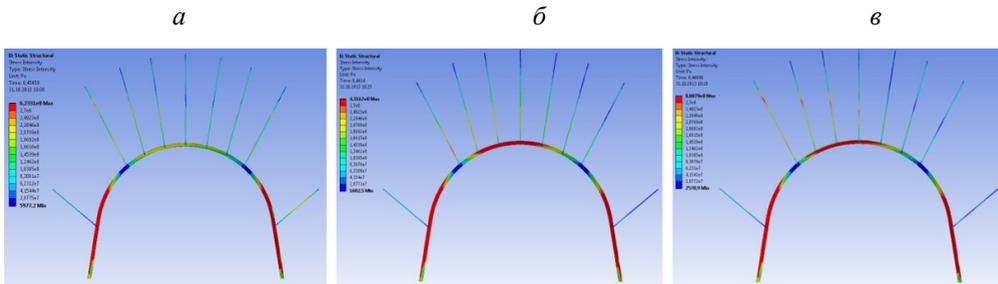


Рис. 5. Эпюры интенсивности напряжений  $\sigma$  крепления выработки в условиях обводненности при расстоянии: а – 14 м от очистного забоя до выработки; б – 7 м от очистного забоя до выработки; в – очистный забой находится на уровне центральной оси выработки

Для начала рассмотрим рамную крепь, стойки которой, на всех трех этапах расчета, значительно нагружены. Это связано с давлением боковых пород, а также в связи с передачей давления верхняка через податливый элемент. Напряжения в стойках находятся на границе предела прочности стали 270 МПа. Верхняк крепи на первом этапе расчета (рис. 5, а) подвергается напряжениям, не превышающим 200 МПа, при этом уже сейчас образовывается область с более высокими концентрациями, которая локализуется со смещением в сторону, противоположную приближению забоя. Асимметрия распределения напряжений в верхняка с каждым последующим расчетом только усугубляется, при этом

размеры существенно не изменяются, занимая 2 – 2,5 п.м, в отличие от напряжений, которые повысились до 270 МПа.

Боковые анкера нагружены достаточно слабо, не зафиксированы напряжения, превышающие 100 МПа. Анкера, установленные в кровле, более эффективно участвуют в процессе поддержания выработки. В распределении напряжений присутствует аналогичная с рамой асимметрия, смещение напряжений в противоположную сторону подхода очистного забоя. В данной области анкера на 80% своей длины подвергаются напряжениям в диапазоне 180 – 220 МПа. В отдельных местах, очевидно в местах образования продольных трещин в массиве и сдвигания породы относительно друг дру-

га, происходит повышение напряжений до максимальных 270 МПа, что может свидетельствовать о возможной деформации стального стржня в данном участке. Три анкера со стороны подхода забоя нагружены достаточно слабо, на уровне с боковыми анкерами, напряжения не превышают 120 МПа.

Полученные результаты позволяют получить максимально полную картину НДС массива и крепления выработки в условиях надработки. На основании проведенных экспериментов можно с высокой степенью объективности определить недостатки применяемой системы крепления, что будет положено в основу для разработки рациональной схемы крепления надрабатываемых выработок с учетом всех параметров.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Последние тенденции развития геомеханических исследований, направленных на поддержание выработок, находящихся в зоне влияния очистных работ, направлены на учет всех факторов, влияющих на устойчивость выработки. Однозначно установлено, что такой подход к поддержанию выработок, когда массив рассматривается отдельно, а элементы крепления отдельно, не имеет права на серьезное рассмотрение. Целый ряд теоретических работ и шахтных экспериментов подтвердили, что рамная крепь не выполняет своих прямых функций до тех пор, пока контур выработки не начнет оказывать давление на раму. В результате поддержание выработки начинается только после начала активного процесса сдвижения породы в выработку, что снижает эффективность работы самой крепи, которая могла бы сдерживать данный процесс еще в момент его развития. Данный недостаток частично устраняется путем повышения культуры производства, качества установки крепи, использования деревянных расклинок, тем не менее, это скорее полумеры, которые не дают необходимого результата.

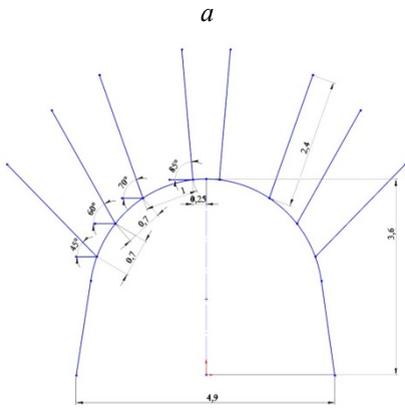
Использование анкерного крепления в основном и направлено на исправление недостатка рамной крепи и ее дополнение. Бурение шпуров непосредственно в окружающем массиве с установкой в них стальных арматур, а также использование сталеполимерных материалов показало свою эффективность на практике. Создание с помощью анкеров так называемой «опорной плиты» в кровле выработки позволяет частично снизить давление на рамную крепь, а также препятствует беспорядочному обрушению пород в выработку.

В условиях слабых обводненных пород Западного Донбасса оптимальным условием является использование комбинации двух основных видов крепления. При этом отлично зарекомендовала себя методика, которая позволяет объединить анкерную и рамную крепи в единую грузонесущую систему с помощью канатных связей [4]. В результате анкера, закрепленные в массиве, используются для повышения эффекта сопротивления рамы давлению пород, опираясь на прочностные свойства самого массива. Получается полностью замкнутая структура, максимально эффективно поддерживающая контур выработки.

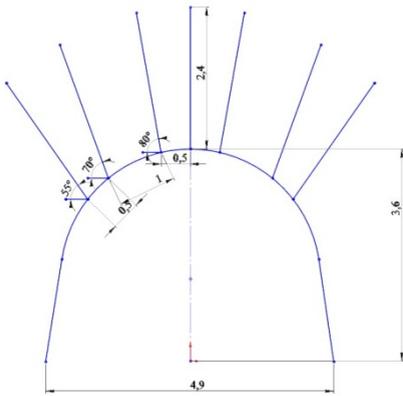
Не менее важными факторами, влияющими на работу крепления, являются шаг установки, номер спецпрофиля и тип рамной крепи, использование податливых элементов, длина и тип анкеров, а также схема их расположения. Успешное оперирование перечисленными факторами, позволяет существенно повышать эффективность работы крепления и снижать металлоемкость конструкции, что заметно отражается на себестоимости крепления погонного метра выработки.

Каждое изменение в системе крепления проходило проверку путем проведения вычислительного эксперимента, по результатам которого можно было дать соответствующую оценку эффективности его работы. В зависимости от результата расчет повторялся с учетом поправок, либо происходил переход к рассмотрению следую-

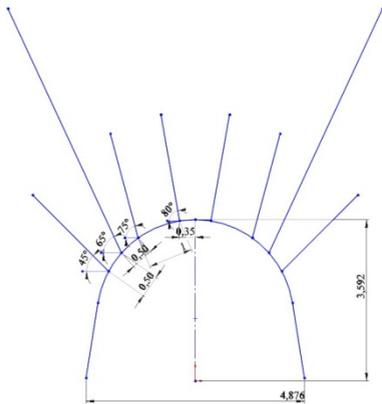
щего элемента в случае положительного результата.



б



в



г

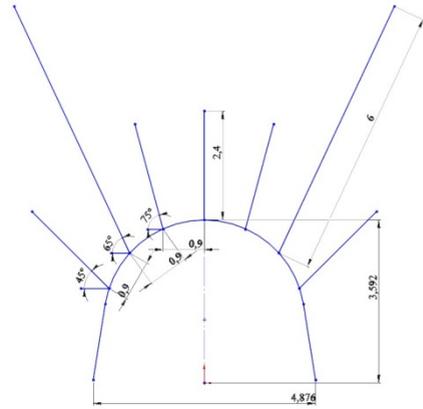


Рис. 6. Экспериментальные схемы расположения анкеров для дренажного вентиляционного штрэка

Для поиска оптимальных параметров установки анкерного крепления были разработаны несколько схем расположения анкеров (рис. 6). При разработке схем учитывались не только результаты расчета НДС используемой системы, но и особенности эксплуатации надрабатываемой выработки, которая подвергается нетипичному для подготовительных выработок влиянию проходки очистного забоя в кровле. По данным расчета НДС для данных схем был проведен сравнительный анализ, по результатам которого установлено, что наиболее эффективным является использование схемы на рис. 6, г. Использование комбинации сталеполимерных и канатных анкеров позволяет более эффективно поддерживать породы основной кровли для снижения влияния на верхняк рамы. Появилась возможность отказаться от боковых анкеров, которые были слабо нагружены, путем установки сталеполимерных анкеров под канатными, так как основная нагрузка на крепление происходит в момент проходки очистного забоя, что провоцирует интенсивное давление в кровле выработки, при этом бока нагружены меньше.

## ВЫВОДЫ

В работе был проведен анализ системы крепления дренажного вентиляционного штрека шахте «Самарская» при надработке выработки очистным забоем, отрабатывающим угольный пласт  $C_5$ . По результатам серии вычислительных экспериментов

проведен анализ НДС используемой системы крепления. Установлены недостатки работы данной системы. На основе полученных данных разработаны рациональные параметры системы крепления для данного типа выработки, что подтверждено дополнительными исследованиями.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *New technical solutions during mining  $C_5$  coal seam under complex hydro-geological conditions of Western Donbass* / V. Russsikh, Yu. Demchenko, S. Salli [etc.] // *Mining of mineral deposits*. – The Netherlands: CRC Press/Balkema. – 2013. – P. 257 – 260.

2. *Sotskov V. Investigation of the rock massif stress strain state in conditions of the drainage drift overworking* / V. Sotskov, I. Saleev // *Mining of mineral deposits*. – The Netherlands: CRC Press/Balkema. – 2013. – P. 197 – 201.

3. *Sotskov V. Features of using numerical experiment to analyze the stability of development workings* / V. Sotskov, O. Gusev // *Progressive technologies of coal, coalbed methane, and ores mining*. – The Netherlands: CRC Press/Balkema. 2014. – P. 197 – 201.

4. *Геомеханика взаимодействия рамной и анкерной крепей в единой грузонесущей системе: монография* / [Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А. и др.]. – Д.: ЛізуновПрес, 2010. – 174 с.

## ОБ АВТОРАХ

Вивчаренко Александр Васильевич – к.т.н., директор Департамента по вопросам функционирования и реформирования угольной промышленности Министерства энергетики и угольной промышленности Украины.

Русских Владислав Васильевич – к.т.н., доцент кафедры подземной разработки месторождений Национального горного университета.

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