

КОМБИНИРОВАННЫЕ АНКЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

ДЛЯ ПОВТОРНОГО
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК



В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, Г.А. Симанович
М.В. Барабаш, В.Г. Снигур, А.С. Гусев

Lixunoff Press

**В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, Г.А. Симанович
М.В. Барабаш, В.Г. Снигур, А.С. Гусев**

**КОМБИНИРОВАННЫЕ АНКЕРНЫЕ СИСТЕМЫ
ДЛЯ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГОРНЫХ
ВЫРАБОТОК**

Монография

**Днепр
«ЛізуновПрес»
2017**

УДК 622.833.52
К 63

Друкується відповідно до рішення Вченої ради Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» (протокол №3 від 14.02.2017 р.)

Рецензенти: В.Г. Грінюв, д-р техн. наук, проф.
О.П. Круковський, д-р техн. наук

Бондаренко В.І., Ковалевська І.А., Симанович Г.А., Барабаш М.В.,
К 63 **Снігур В.Г., Гусєв О.С.** Комбіновані анкерні системи для повторного використання гірничих виробок: монографія / В.І. Бондаренко, І.А. Ковалевська, Г.А. Симанович, М.В. Барабаш, В.Г. Снігур, О.С. Гусєв. – Дніпро: ТОВ «ЛізуновПрес», 2017. – 188 с. (російською мовою).

ISBN 978-966-2575-78-1

У монографії викладено результати експериментальних досліджень напружено-деформованого стану основних вантажонесучих елементів кріпильної та охоронної систем виїмкових виробок, що повторно використовуються, в умовах проведення і підтримання у тонкошаруватому масиві слабких порід шахт Західного Донбасу. Виконано аналіз структурних перетворень надвугільної товщі порід і розроблено механізм навантаження кріпильної системи виїмкових виробок при зміцненні їх покрівлі комбінацією сталеполімерних і канатних анкерів. Встановлено закономірності впливу геомеханічних факторів на напружений стан приконтурних порід і кріплення гірничих виробок, а також розроблено методику розрахунку раціональних параметрів комбінованої анкерної системи для зміцнення слабких порід склепіння виїмкових виробок у зоні впливу очисних робіт.

Друкується за авторською редакцією.

УДК 622.833.52

ISBN 978-966-2575-78-1

© Бондаренко В.І., Ковалевська І.А., 2017
© Симанович Г.А., Барабаш М.В., 2017
© Снігур В.Г., Гусєв О.С., 2017
© ТОВ «ЛізуновПрес», 2017

ВВЕДЕНИЕ

На современном уровне интенсификации очистных работ на угольных шахтах Украины и особенно в Западном Донбассе чрезвычайно актуальной является задача своевременной подготовки новых выемочных участков, одно из направлений решения которой состоит в повторном использовании выемочных выработок. Такая технология достаточно широко применяется на шахтах Западного Донбасса, однако далеко не всегда удается получить желаемые результаты в плане сочетания экономии ресурсов и обеспечения требуемых условий эксплуатации повторно использованных выемочных выработок. Успешная реализация данного сочетания в технических решениях по поддержанию повторно используемых выемочных выработок является, на наш взгляд, одной из основ интенсификации угледобычи в Западном Донбассе.

Рассмотрены две основные перспективные составляющие технологии повторного использования выемочных выработок.

Первая – снижение расходов на крепление выработки за счет вовлечения не только приконтурных, но и более отдаленных пород в работу по противодействию силам горного давления. Данное направление уже имеет свою историю в части широкого применения опорно-анкерного крепления на базе конструкций сталеполимерных анкеров. Упрочнению подвергаются приконтурные породы кровли и боков на ограниченное расстояние в массив из-за умеренной длины анкеров в основном до 2,4 м. В последние годы активно внедряется так называемое «глубинное» упрочнение близлежащего массива канатными анкерами длиной (в основном) до 6,0 м. Эти анкера уже позволяют формировать некую грузонесущую конструкцию не только из пород непосредственной кровли угольного пласта, но и вовлекать нижележащие слои пород основной кровли. Образованная таким образом грузонесущая армопородная конструкция (плита) воспринимает на себя часть горного давления, что способствует разгрузке пород боков и почвы выработки, рамной крепи, а также элементов охранной системы. Следовательно, при применении комбинации сталеполимерных и канатных анкеров (комбинированных анкерных систем) для упрочнения пород кровли выемочных выработок появляется реальная возможность снижения материалоемкости традиционных крепежных и охранных систем и трудоемкости их установки.

Вторая составляющая эффективного поддержания повторно используемых выемочных выработок обусловлена выбором рациональных параметров их крепления (в первую очередь) и затем последующей охраны (во вторую очередь). Обоснование параметров крепления выемочных выработок неразрывно связано с особенностями проявлений горного давления как при первичной эксплуатации выработки в качестве сборного штрека, так и при ее повторном использовании в качестве бортового штрека.

Предварительно, из опыта поддержания выемочных штреков традиционной крепежной системой «рама – опорно-анкерное крепление» необходимо

отметить одну из главных особенностей – преимущественное нагружение стоек рамной крепи при относительно разгруженном состоянии ее верхняка. По мнению специалистов, такое поведение обусловлено формированием высоких косонаправленных и боковых нагрузок на раму при одновременном снижении вертикального горного давления на центральную часть свода выработки за счет применения опорно-анкерного крепления. На фоне негативных явлений (например, пучения пород почвы выработки) пластическое деформирование стоек рам с изгибом в полость выработки чрезвычайно сложно и трудно устранить для сохранения требуемых горизонтальных размеров штрека. Если обеспечение высоты выработки технологически отработано и реализуется за счет периодических подрывок почвы и установки стоек крепи усиления, то сохранение приемлемой ее ширины (по эксплуатационным нормам и правилам) представляется сложной задачей. Ее успешное решение базируется, на наш взгляд, на изучении процессов сдвижения надугольной толщи (в районе размещения выемочной выработки) путем проведения широкомасштабных визуальных и инструментальных наблюдений за состоянием штреков, выявления основных закономерностей проявлений горного давления и причин, приводящих к неудовлетворительному их эксплуатационному состоянию. Далее на основе обобщения экспериментальных данных формируются представления об особенностях механизма сдвижения близлежащего массива слоистых пород малой крепости и разрабатываются геомеханические модели по описанию этого процесса на длительный период первичного и повторного использования выемочных выработок.

На заключительном этапе анализ результатов многовариантных вычислительных экспериментов создает научно-техническую основу для разработки методов расчета рациональных параметров крепления повторно используемых выемочных выработок на базе установленных и математически описанных закономерностей связи параметров средств крепления с геомеханическими факторами поддержания выработки в условиях шахт Западного Донбасса.

Необходимость такой последовательности исследований продиктована не только стремлением к более объективному и адекватному отражению геомеханических процессов нагружения элементов крепежной системы выемочных выработок, но и неудачными попытками (в некоторых горно-геологических условиях) сохранения сечения сборного штрека для его повторного использования. В этом плане необходимо исследовать эффективность применения тех или иных конструктивно-технических решений по упрочнению близлежащих пород кровли комбинированными анкерными системами.

Главы 5 и 7 написаны совместно с В.Г. Черватюком и А.В. Вивчаренком, 2 – с В.А. Соцковым.

Авторы выражают глубокую благодарность О.К. Маловой за подготовку рукописи к изданию.

1. АНАЛИЗ ПРОЯВЛЕНИЯ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ В ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТКАХ ПРИ СТРУКТУРНОМ ПРЕОБРАЗОВАНИИ ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД АНКЕРНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ

1.1. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ АНКЕРНЫХ СИСТЕМ ПРИ УПРОЧНЕНИИ ПОРОД КРОВЛИ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК

Анализ мировых и отечественных тенденций использования анкеров в составе крепежных систем горных выработок показал расширение области и объемов применения комбинации традиционных сталеполимерных и канатных анкеров для упрочнения пород кровли в качестве самостоятельной крепи и в сочетании с другими типами поддерживающих крепей. Такие технические решения называют по-разному, например, «двухуровневым анкерным креплением», но более точным является термин «комбинированные анкерные системы», поскольку, в сущности, используется именно комбинация двух типов анкеров, весьма различающихся по своим параметрам и выполняемым задачам по упрочнению пород кровли выемочной выработки.

В этой связи проведен широкий спектр вычислительных экспериментов по расчету напряженно-деформированного состояния (НДС) массива вокруг выемочной выработки (поддерживаемой позади очистного забоя) и элементов ее схем поддержания, неизменной составляющей которых являются комбинированные анкерные системы в кровле штрека. Конструкции этих схем различаются между собой преимущественно по количеству сталеполимерных анкеров в кровле и параметрам их расположения в комбинации с канатными анкерами.

Заслуживает пристального внимания исследование с применением в крепежной системе канатных анкеров в горно-геологических условиях шахты «Степная» ЧАО «ДТЭК Павлоградуголь», где рассмотрено влияние скорости подвигания очистного забоя на интенсивность проявлений горного давления в выемочных штреках [1]. Получен положительный эффект их применения для ограничения сдвижений пород надугольной толщи. Однако, каких-либо рекомендаций относительно выбора параметров установки канатных анкеров (координаты размещения, количество, углы наклона, шаг установки и т.п.) не приведено, поскольку эти вопросы не входили в задачи исследования. Обосновывается отказ от стоек крепи усиления в зоне фронтального опорного давления и позади лавы за счет того, что армопородная плита в кровле штрека вполне справляется с задачей ограничения проявлений горного давления и сохранения сечения выработки, достаточного для ее повторного использования.

В условиях шахт Кузбасса проведено исследование [2] по оценке эффективности «двухуровневого анкерного крепления». Здесь сделана попытка расчета параметров установки анкеров в зависимости от структуры и механических свойств пород кровли. Но, задача решается на уровне схематических представлений о формировании породных призм сползания и гипотез свода предельного равновесия, что можно рассматривать как начальный этап к описанию геомеханических процессов сдвижения неоднородной надугольной толщи, разбитой естественными и техногенными трещинами на породные блоки и слои. Горно-геологические условия Кузбасса принципиально отличаются от таковых в Западном Донбассе. Отмечается надежность и долговечность «двухуровневого анкерного крепления» при существенном снижении материалоемкости и трудоемкости возведения крепежных конструкций, что приводит к резкому уменьшению стоимости поддержания выработок.

Сочетание рамной крепи с анкерными системами используется в большинстве угольных шахт Европы. Однако в работе [3] утверждается, что нет единых технических решений по таким схемам крепления, поскольку весьма разнообразны горно-геологические и горнотехнические условия угледобычи. Эти выводы базируются на инструментальных наблюдениях за состоянием выработок с различными схемами крепления, включая канатные анкера. Проанализировано ряд эмпирических методов, используемых в Польше для проектирования схем сочетания рамной крепи и анкерных систем. Результаты шахтных исследований свидетельствуют о резком снижении перемещений породного контура выработок и их вполне удовлетворительном состоянии при использовании систем с канатными анкерами. В результате трехлетнего периода измерений подтверждена высокая эффективность использования комбинированных анкерных систем для поддержания выработок в различных горно-геологических условиях разработки угольных месторождений.

Анкерная крепь широко применяется на угольных шахтах Китая [4]: ежегодно проводится порядка 8000 км выработок, из которых 80% закреплены анкерами. Выбор схем установки анкеров базируется на накопленном опыте и аналогиях в равноценных горно-геологических условиях. Для более обоснованных рекомендаций по параметрам схем установки комбинированных анкерных систем был проведен комплекс шахтных измерений и численное моделирование с использованием FLAC 3D, чтобы проследить эволюцию напряжений в процессе прохождения лавой экспериментального участка выемочной выработки. Указывается на общее сходство результатов аналитических и шахтных исследований, что позволило предложить несколько вариантов применения комбинированных анкерных систем. Таким образом, описан положительный опыт применения вычислительного эксперимента для выбора рациональных параметров установки сталеполлимерных и канатных анкеров в выемочных выработках в зоне влияния очистных работ. Использовать данные рекомендации для шахт Западного Донбасса затруднительно, поскольку горно-геологические и горнотехнические условия угольных шахт Китая и Западного Донбасса резко отличаются друг от друга, но

сам принцип работы комбинированных анкерных систем оценивается как достаточно эффективный.

В настоящее время вычислительный эксперимент по исследованию НДС горного массива вокруг выработок, закрепленных комбинированными анкерными системами, получает все большее развитие [5 – 8]. Это научно-практическое направление следует считать весьма перспективным ввиду широких возможностей численных методов описания сложных геомеханических процессов.

Что касается учета особенностей строения окружающего массива (слоистость, трещиноватость), то используются шахтные инструментальные наблюдения с некоторыми гипотетическими представлениями [9 – 12] и накопленный опыт поддержания выработок сталеполимерными и канатными анкерами [11 – 14].

1.2. АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ВМЕЩАЮЩИХ ВЫРАБОТКУ ПОРОД КОМБИНИРОВАННЫМИ АНКЕРНЫМИ СИСТЕМАМИ

Краевая часть угольного пласта в выемочных выработках является наиболее сложным объектом многофакторности геомеханических процессов. Поэтому представляется целесообразным оценить степень влияния анкерного упрочнения на механизм преобразования структуры пород кровли выемочной выработки.

Классическая теория изгиба балок и плит [15, 16] утверждает, что максимальные горизонтальные напряжения растяжения (сжатия) σ_z возникают на поверхностных участках балки (плиты), а их величина обратно пропорциональна квадрату толщины балки (мощности породного слоя). Например, если соединить анкерами два породных слоя одинаковой мощности, то сопротивление изгибу объединенных слоев увеличивается в четыре раза, тогда как их суммарное сопротивление при раздельном изгибе возрастает только вдвое. Такой механизм повышения устойчивости заанкерванной кровли рассмотрен еще полвека назад в работах проф. Борисова А.А. [17] и проф. Семевского В.Н. [18].

Исходя из данных представлений на рис. 1.1 проиллюстрирован механизм повышения сопротивления изгибу двух породных слоев непосредственной кровли при ее упрочнении анкерами.

При раздельном деформировании породных слоев растягивающие напряжения имеют повышенную величину (см. рис. 1.1, а) и при существенном изгибе слоя превышают сопротивление породы на растяжение – начинается развитие трещин разрыва по мощности слоя. При совместном деформировании объединенных анкерами породных слоев повышается момент сопротивления их сечения, обуславливающий снижение максимумов напряжений σ_z , в

том числе растягивающих. Процесс появления и развития трещин разрыва замедляется и не каждый знакопеременный изгиб упрочненной анкерами непосредственной кровли приводит к разделению сдвоенных породных слоев на блоки. Кроме того, при увеличенной мощности грузонесущей балки (плиты) повышается ее жесткость, ограничивающая величину прогибов слоев и снижающая вероятность разрушения этого объема породы и распада распорной системы на отдельно опускающиеся блоки (см. рис. 1.1, б). Сопротивление изгибу упрочненных породных слоев обеспечивает так называемый восстанавливающий момент от действия пары сил F как результирующих напряжений σ_z в целостной части поперечного сечения. Безусловно, процесс разделения на блоки происходит и в упрочненной анкерами непосредственной кровле, но с повышенной длиной и мощностью блоков.

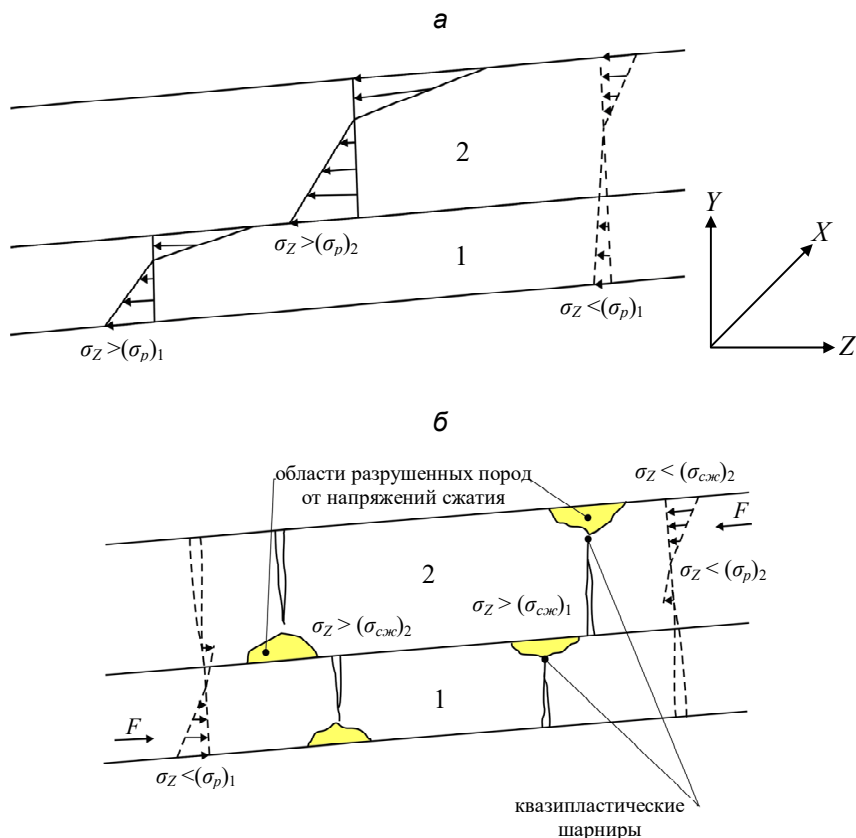


Рис. 1.1. Эпюры распределения горизонтальных напряжений σ_z по мощности породных слоев кровли (а) и схема оценки устойчивости (б) при раздельном (—) и совместном (---) их деформировании

Следовательно, в распорной системе пород кровли снижается количество взаимодействующих элементов, а это увеличивает устойчивость пород кровли – повышается реакция их сопротивления горному давлению и снижается величина опускания в полость выработки [19].

Отметим общие закономерности формирования аномальных зон состояния надугольной толщи вблизи лавы, которые выработаны на протяжении многих десятилетий изучения этого явления и создали основу для геомеханических исследований вне зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий отработки угольных пластов.

Впереди лавы формируется зона опорного давления, протяженность которой вдоль выемочной выработки на шахтах Западного Донбасса оценивается в интервале до 20 – 40 м [20]. По мере приближения лавы концентрация вертикальных напряжений σ_y в массиве горных пород увеличивается, достигая максимума на расстоянии 2 – 15 м от забоя. Значение этой величины зависит от соотношения жесткостей угольного пласта и породных слоев кровли.

Изменение начального состояния массива при подходе лавы провоцирует разупрочнение слабых углевмещающих пород, особенно непосредственной кровли и почвы, и, как следствие, – резкое увеличение их деформации. Сопротивление сжатию угольного пласта в 1,5 – 4 раза больше чем пород. Степень разупрочнения угольного пласта проявляется в локальных областях. Эти процессы обуславливают значительное превышение жесткости угольного пласта над породными слоями кровли. Под воздействием горного давления перемещения угольного пласта будут многократно ниже, чем породных слоев кровли. На небольшом расстоянии от забоя подавляющая часть вертикальных перемещений U_y реализуется за счет опускания легкодеформируемых слоев кровли. Пониженные деформации угольного пласта способствуют приближению максимума горного давления к очистному забою. Традиционное для пород Донбасса, так называемое «нежесткое защемление» породных консолей над лавой, в Западном Донбассе приобретает свойства приближающиеся к понятию «жесткое защемление» (используется в строительной механике) с концентрацией изгибающего момента в породной консоли в области забоя. Это провоцирует интенсивный градиент роста перемещений породного контура выемочной выработки на ограниченном участке впереди лавы длиной до 20 – 40 м [21 – 32]. Здесь скорость сближения пород кровли и почвы, а также боков выработки резко увеличивается от долей мм/сут до единиц и даже нескольких десятков мм/сут по данным различных исследований.

Традиционная технология поддержания выемочных выработок в зоне опорного давления впереди лавы связана с установкой центральных стоек крепи усиления, в основном, в виде деревянных (жестких) по двум вариантам: одна или две стойки устанавливают в центральной части свода выработки, либо две стойки в месте расположения замков рамы. Центральные стойки крепи усиления противодействуют вертикальному горному давлению (в сово-

купности с рамой и опорно-анкерным креплением), но никак не повышают сопротивление рамы боковым нагрузкам.

Вокруг выемочной выработки образуется ряд аномальных областей, связанных с перераспределением горного давления и процессами разупрочнения горных пород. Это установлено многочисленными исследованиями, в том числе и моделированием состояния приконтурных пород и крепи в зоне влияния очистных работ при применении опорно-анкерного крепления. Особенности состояния вмещающих пород заключаются в следующем.

С одной стороны, в приконтурных породах кровли образуется область расслоения от действия растягивающих вертикальных напряжений σ_y , а также горизонтальных напряжений σ_z и σ_x , активизирующих процесс разупрочнения. Известно, что слабые породы Западного Донбасса имеют весьма низкое сопротивление растяжению (обычно до 1,5 – 3,5 МПа), к тому же благодаря воздействию ослабляющих породу факторов такое сопротивление фактически отсутствует. Тем не менее, из-за густой сетки армирования кровли анкерами область расслоения в форме свода не столь значительна, а вес пород внутри свода многократно меньше сопротивления рамной крепи вертикальным нагрузкам. Кроме того, если длина анкеров обычно превосходит размеры свода, то они сами (за счет подхватов и металлической сетки межрамного ограждения) вполне способны удержать объем отслоившихся пород.

Другая особенность углевмещающей толщи Западного Донбасса заключается в весьма слабом сцеплении по поверхностям контактов слагающих породных слоев; на многих участках такое сцепление практически отсутствует. Также следует учесть действие вблизи выработок геостатических аномалий горного давления, которые нарушают и без того слабые контакты. Породные слои вблизи выемочной выработки деформируются отчасти независимо друг от друга [33 – 42].

Аналитическими, численными и экспериментальными методами установлено, что в боках выработки повышенное горное давление разупрочняет некоторый объем слабых пород, что увеличивает их подвижность. Опускающиеся вышележащие породные слои пригружают нижележащие, в том числе разупрочненные объемы пород непосредственной кровли. Угольный пласт ограничивает вертикальные перемещения боковых пород и их вектор перемещения изменяет направление в полость выработки, нагружая стойки рамы. Этот процесс в зоне опорного давления развивается более интенсивно в связи с повышенной вертикальной составляющей горного давления. Интенсификация эффекта «штампа» происходит и в породах непосредственной почвы. Со стороны лавы развиваются аналогичные процессы выдавливания пород боков и почвы выработки, но они усиливаются за счет деформирования породных блоков. Поэтому появляется асимметрия нагрузки по всему периметру выемочной выработки, которую необходимо учитывать при построении геомеханических моделей и расчетов параметров

комбинированной крепежной системы.

Схематическое представление механизма сдвигения надугольной толщи в поперечном сечении выемочной выработки дополнено рассмотрением в ее продольном направлении. Известна общепризнанная закономерность плавного изгиба породных слоев кровли впереди очистного забоя и их послойное обрушение в выработанное пространство с образованием породных консолей переменной длины [25 – 34, 43 – 49]. Для Западного Донбасса имеет место характерное нарушение контактов между слоями углевмещающей толщи и весьма низкое сопротивление растягивающим усилиям при развитой трещиноватости (обычно две-три основные системы трещин) обуславливают некоторую специфику процесса деформирования надугольной толщи впереди очистного забоя. Повышение опорного давления по мере приближения лавы усиливает относительно независимое деформирование неоднородных слоев надугольной толщи, при изгибе которых возникают растягивающие горизонтальные напряжения σ_x (в верхней части мощности каждого слоя) еще на подходе к максимуму опорного давления. В слабых трещиноватых породах достаточно весьма небольших растягивающих σ_x для зарождения и роста трещин техногенного происхождения. В сечении слоя, где образовалась трещина, резко снижается момент сопротивления и здесь наиболее вероятно дальнейшее развитие трещин (по мере приближения лавы), которые, в конце концов, смыкаются с областью разрушенных пород (от концентрации сжимающих σ_x) в нижних частях каждого слоя и происходит их разделение на породные блоки.

С точки зрения устойчивости выемочной выработки образование трещин в близлежащих породных слоях впереди лавы повышает их деформацию и снижает сопротивление опорному давлению, что неизбежно приводит к интенсификации процесса выдавливания пород в боках и почве выработки. Поэтому, для повышения надежности прогноза проявлений горного давления в разрабатываемых геомеханических моделях следует учитывать дискретную нарушенность породных слоев, усиливающуюся по мере приближения очистного забоя. Здесь один из основных вопросов заключается в том, каким образом учитывать эту дискретную нарушенность, для чего рассмотрен факт деформирования частично нарушенной породной плиты с эпюрами распределения горизонтальных напряжений σ_x и σ_z , за счет действия которых возникает реакция сопротивления горному давлению (см. рис. 1.1). В таком представлении между частично нарушенными породными плитами в зоне опорного давления возникает подобие распорной системы, обладающей, с одной стороны, повышенной деформацией, а, с другой, – определенной несущей способностью за счет действия только сжимающих напряжений σ_x и σ_z по мощности слоя. При отсутствии растягивающих напряжений σ_x и σ_z в сечении породной плиты ее несущая способность реализуется за счет восстанавливающего момента от плеча равнодействующих усилий на

противоположных поперечных плоскостях YX и YZ плиты как интегральных величин сжимающих σ_x и σ_z , по площадям их распределения на торцевых плоскостях. Такой механизм деформирования и взаимодействия близлежащих породных слоев с дискретными пространственными нарушениями более достоверен, чем традиционные представления о сплошности массива (в зоне опорного давления впереди лавы) и появлении некоторых областей нарушенных пород.

Таким образом, сформулированы выводы и рекомендации по принципам создания геомеханической модели сдвижения массива и нагрузки крепи выемочной выработки в зоне влияния очистных работ.

Во-первых, частичное разупрочнение породных слоев надугольной толщи в виде дискретных нарушений в областях растягивающих напряжений (в основном горизонтальных σ_x и σ_z) и высоких концентраций сжимающих напряжений. Это приводит к увеличению объемов пород, подверженных активным деформациям, а их разделение на систему взаимодействующих плит интенсифицирует процесс выдавливания частично разупрочненного приконтурного массива в боках и почве выработки.

Во-вторых, создание и совершенствование (по пути повышения достоверности и объективности) геомеханической модели должно пройти ряд последовательных этапов, отражающих реальный процесс зарождения и развития дискретных нарушений в слоистой надугольной толще.

1.3. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КРЕПИ ВЫРАБОТОК С ПРИКОНТУРНЫМИ ПОРОДАМИ В УСЛОВИЯХ ОБРАЗОВАНИЯ ОБЛАСТЕЙ ИХ ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ

Развитие взглядов и формирование гипотез о взаимодействии крепи горных выработок с вмещающим породным массивом имеет более чем вековую историю. К настоящему времени сложились определенные представления о параметрах протекания процесса нагружения различных типов крепей с учетом их режима работы [50]. Под понятием «режим работы крепи» понимают [51] связь реакции отпора q крепи с ее перемещением u под воздействием нагрузки (по существу, податливость крепи). Эту связь называют деформационно-силовой характеристикой крепи и представляют в виде функции $q(u)$. Данная функция ранее рассматривалась в работе [50] в двухпараметрической постановке (параметры q и u), а затем, в ходе развития представлений о взаимодействии породного массива и крепи, были предложены более общие: трехпараметрическая (третий параметр – периметр поперечного сечения выработки) постановка [51] и четырехпараметрическая схема [52], где используется также и продольная координата выработки. Исследовались условия поддержания горной выработки вне зоны влияния очистных

работ, в которых интенсивность проявлений горного давления существенно ниже, чем в непосредственной близости от лавы. Кроме того, области нарушенных пород вокруг одиночной выработки достаточно локальны по сравнению с зонами активных сдвижений углевмещающего массива при ведении очистных работ. Тем не менее, на наш взгляд, природа возникновения и протекания геомеханических процессов имеет общую основу вне зависимости от условий поддержания выработок, например:

- формирование зон разгрузки и повышенного горного давления в окрестности выработки;
- образование областей разупрочненных и разрушенных пород, их взаимодействие с крепью и целостным массивом;
- развитие расслоения по плоскостям ослаблений, по мощности литологической разности и по плоскостям напластований смежных литотипов;
- разбиение породного слоя на блоки трещинами, перпендикулярными плоскостям ослаблений и напластований, а также взаимодействие этих блоков при взаимном перемещении относительно друг друга;
- увеличение объема разрыхляющихся пород в стесненных условиях деформирования (генерирует повышенное горное давление с необходимостью его перераспределения);
- зональность изменения механических свойств породного массива и его структурных преобразований в окрестности выработки.

Это далеко не все общие позиции с точки зрения механизма формирования горного давления на крепь, но и их достаточно, чтобы использовать закономерности, полученные для одиночных выработок, в процессе изучения тенденций связи режимов работы крепи с устойчивостью выемочных выработок, поддерживаемых в зоне влияния очистных работ.

Такой подход обусловлен двумя причинами: во-первых, закономерности проявлений горного давления и процесса взаимодействия породного массива с крепью для одиночных выработок изучены более полно; во-вторых, процессы взаимодействия массива с крепью для одиночных выработок подвержены влиянию меньшего количества факторов, а путь познания от простого явления к более сложному представляется наиболее перспективным в соответствии с классическими канонами философской мысли.

В свете изложенного рассмотрена схема (для простоты – двухпараметрическая) взаимодействия крепи горной выработки с окружающим породным массивом в условиях образования областей его предельного состояния. Акцент на эти области сделан из-за повышенного интереса именно к условиям интенсивного проявления горного давления.

Известны [50 – 52] две тенденции в формировании нагрузки на крепь, которые проиллюстрированы на рис. 1.2 двумя зависимостями:

- *процесс деформирования породного массива в полость выработки* (рис. 1.2, кривая 1), имеющий тенденцию снижения нагрузки P (и, соответственно, реакции крепи q) при увеличении ее податливости u . В ситуации при некотором значении податливости u_{max} нагрузка на крепь исчезает; за-

кономерность 1 отражает процесс перераспределения НДС вокруг выработки, когда избыточный объем пород, находящийся в запредельном состоянии, перемещается в направлении наименьшего сопротивления и, если ему не «мешать» с помощью реакции крепи, то возможно наступление «виртуального» равновесного состояния $P=0$ при $u = u_{max}$;

- процесс потери устойчивости части объема пород, находящихся в предельном или запредельном состоянии (см. рис. 1.2, кривая 2). Для восстановления их устойчивости необходима реакция крепи, которая имеет тенденцию к росту с увеличением податливости, так как в условиях квазисвободного деформирования породного массива происходит распространение неустойчивых объемов пород по его глубине.

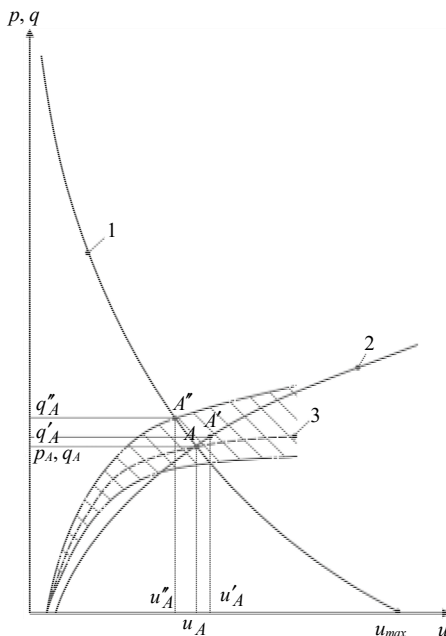


Рис. 1.2. Схема взаимодействия крепи одиночной выработки с породным массивом

ного решения на практике невозможно по разным конструктивным и технологическим причинам, которые дают некоторый разброс значений $q(u)$. Поэтому более корректно говорить о некотором диапазоне колебаний деформационно-силовой характеристики крепи, показанном на рис. 1.2 заштрихованной областью разброса значений функции $q(u)$.

В пределах интервала колебания функции выделены точки A' и A'' , приближенные к точке A оптимального значения; они очерчивают области вариаций рациональных значений реакции $q'_A - q''_A$ крепи при ее податливости $u''_A - u'_A$ (см. рис. 1.2). Точка A' определяется пересечением вертикали при

к росту с увеличением податливости, так как в условиях квазисвободного деформирования породного массива происходит распространение неустойчивых объемов пород по его глубине.

Две взаимно противоположные тенденции предопределяют существование минимальной нагрузки на крепь P_A (на рис. 1.2 показана в виде точки A на пересечении кривых 1 и 2), для определения которой необходимо, чтобы деформационно-силовая характеристика крепи $q(u)$, которая представлена кривой 3 на рис. 1.2, проходила через точку A . По канонам математического анализа точка A с параметрами податливости u_A крепи при ее реакции q_A отражает единственное оптимальное решение задачи минимизации нагрузки на крепь. Достичь такого оптимального

повышенной податливости u'_A (вертикаль проходит через точку пересечения нижней границы $q(u)$ с кривой 1) кривой 2, так как увеличенная податливость крепи (по сравнению с оптимальной) ведет к росту нагрузки в соответствии со второй тенденцией к ее снижению согласно первой, в данном случае не доминирующей. При ограниченной податливости u''_A (точка A'') степень влияния обеих тенденций изменяется диаметрально противоположно: повышенная нагрузка q''_A показана кривой 1.

Таким образом, изложенная схема взаимодействия крепи с окружающим породным массивом позволяет выбрать рациональные интервалы вариации реакции крепи $q'_A - q''_A$ и ее податливости $u''_A - u'_A$ при известных зависимостях (кривые 1 и 2 на рис. 1.2) поведения разупрочняющегося близлежащего массива и образования области неустойчивых пород. Также следует уточнить, что во времени развития геомеханических процессов (по параметрам q и u) целесообразно исходя из устойчивости выработки, чтобы деформационно-силовая характеристика крепи (кривая 3) располагалась выше кривой 2; тогда в любой момент крепь способна удержать устойчивые породы.

Изложенные данные отражены (в известной мере) в нормативно-технической документации [53], где приведены методики расчета нагрузки на крепь в зависимости от ее податливости; т.е. учтено влияние деформационно-силовой характеристики крепи на процесс нагружения в конкретных горно-геологических условиях. Особый интерес представляет оценка степени влияния конструктивной податливости крепи на изменение так называемой нормативной нагрузки, по которой в последующем рассчитываются ее требуемые параметры.

При рассмотрении указанного взаимовлияния в качестве примера взяты четыре значения отношения конструктивной податливости условно-жесткой $u_{жс}$ и условно-податливой $u_{пг}$ крепей: $u_{жс}/u_{пг} = 0,1; 0,25; 0,5$ и $0,75$. Для этих значений построены графики соотношения $P_{жс}/P_{пг}$ нормативной нагрузки на более жесткую $P_{жс}$ и более податливую $P_{пг}$ крепи в зависимости от геомеханических условий поддержания выработки, которые в нормативных документах характеризуются глубиной H размещения выработки и средним расчетным сопротивлением сжатию R близлежащего породного массива. Результаты расчетов отражены на рис. 1.3 и 1.4. Они интерпретируются следующим образом. Закономерности взаимосвязи соотношений $P_{жс}/P_{пг}$ и $u_{жс}/u_{пг}$ достаточно стабильны независимо от параметра H/R и характеризуют общую тенденцию снижения нагрузки на крепь при увеличении ее податливости. Так, при высокой жесткости крепи ($u_{жс}/u_{пг} = 0,1$) на нее формируется нагрузка $P_{жс}$, превышающая в 7,1 – 7,3 раза нагрузку $P_{пг}$ на податливую крепь (типа рамной крепи из спецпрофиля СВП); в процессе увеличения податливости (до $u_{жс}/u_{пг} = 0,75$) соотношение указанных нагру-

зок снижается до 2 – 2,95. Нижние значения приведенных интервалов соответствуют более благоприятным условиям поддержания выработки ($H/R = 21$ м/МПа), а верхние – интенсивному проявлению горного давления

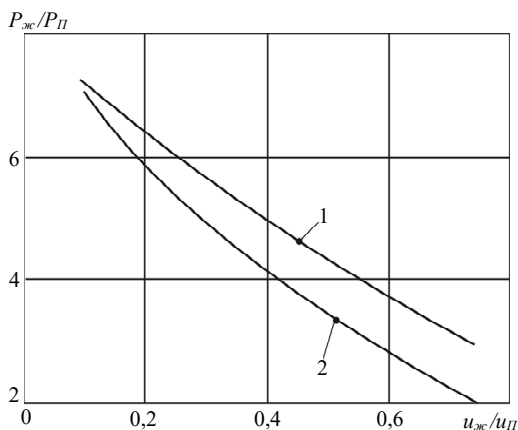


Рис. 1.3. Зависимость соотношения нагрузки $P_{жс} / P_{П}$ на жесткую и податливую крепи от соотношения $u_{жс} / u_{П}$ их податливости: 1 – $H/R = 21$ м/МПа; 2 – $H/R = 54$ м/МПа

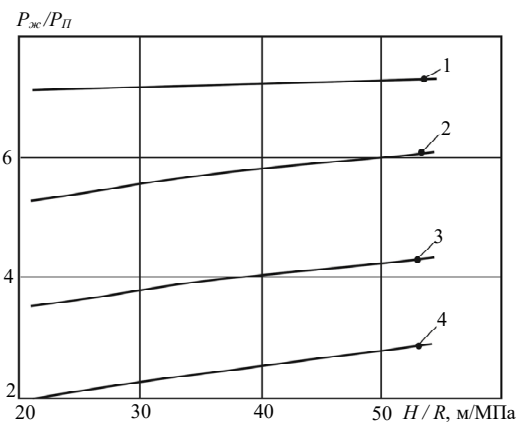


Рис. 1.4. Влияние геомеханического параметра H/R на соотношение $P_{жс} / P_{П}$ нагрузки на жесткую и податливую крепи: 1 – $u_{жс} / u_{П} = 0,1$; 2 – $u_{жс} / u_{П} = 0,25$; 3 – $u_{жс} / u_{П} = 0,5$; 4 – $u_{жс} / u_{П} = 0,75$

($H/R = 54$ м/МПа). Тем не менее относительное отклонение параметра $P_{жс} / P_{П}$ составляет 3 – 32% для такого широкого диапазона изменения горно-геологических условий поддержания выработки. Более того, появляется тенденция к уменьшению отклонений с ростом разницы в податливости сравниваемых крепей. Постоянство закономерностей, видимо, указывает на их достаточную объективность при прогнозировании развития нагрузки на крепь с учетом податливости.

Таким образом, в соответствии с выполненным анализом формирования нагрузки на крепь выработки вне зоны влияния очистных работ можно констатировать наличие существенного влияния режима работы крепи на данный процесс. Сложившиеся к настоящему времени представления о взаимодействии крепи с породным массивом (в условиях образования областей неустойчивого равновесия) достаточно полно раскрывают механизм протекания явления и обобщают как производственный опыт, так и результаты аналитических исследований.

Мнение о существовании некоторого рационального режима работы крепи будет весьма полезно при изучении геомеханических процессов вокруг подготовительной выработки, находящейся в зоне влияния очистных работ.

Поэтому дальнейшие исследова-

ния должны быть с учетом оценки связи деформационно-силовой характеристики крепежной системы выемочной выработки со степенью ее устойчивости в период прохождения очистного забоя на участке от зоны опорного давления до зоны стабилизации процессов сдвижения надугольной толщи позади лавы.

Таким образом, на основе анализа и исследования теоретической базы для формирования основных положений возникновения и протекания геомеханических процессов вокруг горных выработок получены закономерности изменения нагрузки на жесткую и податливую крепи на базе решения задачи взаимодействия крепи с приконтурным породным массивом в условиях образования областей его предельного состояния. Исследована зависимость влияния соотношения глубины поддержания выработки и среднего расчетного сопротивления сжатию близлежащего массива, что позволяет прогнозировать развитие нагрузки на крепь с учетом ее податливости.

ВЫВОДЫ

Анализ современных работ в области поддержания выработок в зоне влияния очистных работ комбинированными анкерными системами свидетельствует о том, что имеет место перспектива их широкомасштабного применения:

– *во-первых*, весьма важен учет особенностей горно-геологических и горнотехнических условий поддержания выемочных выработок как определяющего фактора в выборе параметров средств анкерного крепления, на что указывают большинство исследователей, а также схематический перенос существующих рекомендаций на специфические условия Западного Донбасса недопустим;

– *во-вторых*, наиболее перспективным методом исследований данных сложных геомеханических систем является вычислительный эксперимент в сочетании с шахтными инструментальными наблюдениями;

– *в-третьих*, при выполнении вычислительных экспериментов обязателен учет строения близлежащего массива, его природных и техногенных нарушений, что позволит повысить адекватность исследований и достоверность разрабатываемых рекомендаций по расчету параметров комбинированных анкерных систем.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ОПЫТА ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК НА ШАХТЕ «ЮБИЛЕЙНАЯ»

2.1. МЕТОДИКА ШАХТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объекта выполнения шахтных исследований выбраны 588 бортовой, 590 сборный и 592 бортовой штреки поля пласта C_6 как варианты различных базовых схем установки анкеров в кровле. Исследования проводились на участке восточного крыла уклонной части шахтного поля пласта C_6 , где отрабатывались три выемочных столба 590, 592 и 594 лавами. Горно-геологические условия примерно одинаковы как по глубине разработки, та и по структуре и свойствам углевмещающей толщи.

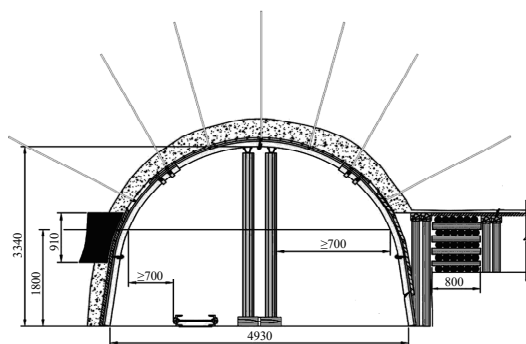


Рис. 2.1. Схема поддержки 590 сборного штрека пласта C_6

На момент начала исследований 590 сборный штрек был пройден сечением $S_{ce} = 15,0 \text{ м}^2$ с установкой крепи КШПУ-15,0 с шагом 0,8 м. Сталеполимерные анкера по схеме на рис. 2.1 устанавливались в межрамном пространстве с шагом 0,8 м. При обработке 590 лавы выработка использовалась в качестве сборного штрека, а при очистных работах в смежной 592 лаве выработка эксплуатируется повторно в качестве бортового

штрека. Замерные станции оборудованы на ПК7, ПК8, ПК9, ПК10 и ПК11.

Оценка состояния выработок проведена по показателям проявлений горного давления в виде перемещений контура штреков на ключевых участках поперченного сечения: общее сближение в направлении кровля – почва и боков выработки, изменение высоты штрека в зоне прохода людей, диагональ от угла в почве выработки до верхнего торца стойки рамы в противоположном борту штрека, высота от нижней кромки угольного пласта до почвы выработки, степень срабатывания замков податливости рамы; кроме того, производилась визуальная оценка изменения геометрии верхняка рамы (его выполаживание или перегиб в районе установки стойки крепи усиления) и ее стоек в виде сближения их опор, кручения профиля СВГ или изгиба прямилинейной части стоек в полость выработки.

Для конкретизации измерений текущих размеров штрека приведена соответствующая схема на рис. 2.2. Во времени и пространстве фиксация разме-

ров выработок производилась дифференцированно. На участке вне зоны влияния очистных работ (не менее, чем за 60 – 80 м до очистного забоя) замеры производились один раз в 3 – 4 сут; на участке действия фронтального опорного давления впереди лавы, в районе ее «окна» и позади лавы на расстояние не менее 60 – 80 м съём показаний производился один раз в сутки; далее на участке стабилизации проявлений горного давления замеры производились один раз в 3 – 4 сут. Такая методика позволила более точно отразить разную интенсивность развития перемещений контура выработки в период прохождения очистным забоем сечения штрека с замерной станцией.

Для полноты представления об эпокре перемещений породного контура выемочных штреков и особенностях деформирования рамной крепи по ее контуру размещено достаточное количество замерных точек (см. рис. 2.2). Так, высота h_1 выработки от замка свода до почвы и ее ширина e_1 (вблизи почвы)

дает общие сведения о потере сечения при сравнении с проектными размерами штреков. Не менее важны параметры e_2 и e_3 не только для оценки потери сечения штрека, но и для учета сближения его боков в зоне прохода людей; кроме того, сравнение величин изменения параметров $e_{1,2,3}$ дает

возможность выявить участки наибольших деформаций стоек рам, которые соответствуют

областям повышенного горного давления в боках выработки. Измерение высоты $h_{2,3}$ штрека в рабочем и нерабочем бортах дает возможность оценить сразу две позиции: сближение кровли и почвы в зоне прохода людей с уточнением остаточной высоты выработки в этом месте; степень асимметрии деформирования рамы в разных боках штрека. На уточнение уровня неравномерности деформирования рамы нацелены еще два параметра $c_{1,2}$, которые измеряют диагональ от угла штрека до верхнего торца стойки рамы в противоположном борту выработки. Если изначально одинаковые величины c_1 и c_2 изменяются по-разному, то это свидетельствует о неравномерности нагружения рамы. В дополнение к указанным параметрам оценки асимметрии нагружения фиксировались величина нахлеста $a_{1,2}$ верхняка и стойки в замках податливости рамы; при $a_1 \neq a_2$ происходит концентрация нагрузки со стороны большей величины нахлеста. Кроме того, по значениям $a_{1,2}$ оценивается работа рамной крепи в режиме податливости: насколько произошло срабатывание замка, и исчерпалась ли его конструктивная по-

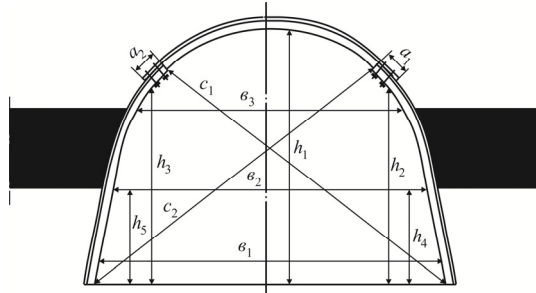


Рис. 2.2. Схема замеров текущих размеров выемочных выработок по мере продвижения очистного забоя

датливость. При этом визуально оценивается качество соединения верхняка и рамы и возможные нарушения самого замка податливости. Остались еще два размера $h_{4,5}$, определяющие расстояние от нижней кромки пласта до почвы выработки. Эти размеры косвенно отмечают величину пучения пород почвы штрека с определенной погрешностью, обусловленной деформацией краевой части пласта под воздействием опорного давления.

В целом, на наш взгляд, описанные измерения позволяют достаточно полно отразить реальные проявления горного давления в выемочных штреках, что обеспечивает объективность сравнительного анализа различных схем установки анкеров в кровле выработок. Результаты измерений представляются в виде графиков изменения того или иного размера в зависимости от расстояния z до очистного забоя. Таким образом, прослеживается динамика нарастания смещений контура выработки с охватом всех наиболее характерных участков ее поддержания.

2.2. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ШАХТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Рассмотрение результатов визуальных и инструментальных наблюдений за состоянием выемочных штреков выполнено последовательно по мере отработки выемочных столбов в пределах вышеуказанного участка шахтного поля пласта C_6 шахты «Юбилейная». Однако, для сокращения объема работы приведены результаты по анализу состояния 590 сборного штрека при отработке 590 и 592 лав пласта C_6 .

590 сборный штрек использовался повторно: сначала в качестве сборного при отработке 590 лавы, а затем в качестве бортового при ведении очистных работ в 592 лаве. Поэтому, на замерных станциях проведены две серии фиксаций перемещений контура выработки – в период прохождения 590 лавы, а затем, спустя продолжительный период времени, при подходе и отходе от замерной станции 592 лавы. Таким образом, удалось оценить состояние повторно используемой выработки за весь срок ее службы.

Замерные станции были размещены на разных участках по длине выемочных столбов 590 и 592 лав:

– ПК47 находился в районе разрезной печи 592 лавы и здесь фиксировались перемещения породного контура штрека в период отхода лавы, то есть, первичной посадки кровли, а ее вторичные посадки происходили уже на достаточном удалении от ПК47 и оказывали малосущественное влияние; поэтому на ПК47 оценивался период деформирования выработки позади очистных забоев от активной фазы недалеко от лавы до зоны стабилизации горного давления при ее удалении на расстоянии более 60 – 80 м;

– ПК31 находился на расстоянии порядка 290 – 320 м от начала выемочных участков и в процессе периодического съема показаний охватывался

все характерные зоны поддержания 590 сборного штрека: вне зоны влияния очистных работ, в зоне фронтального опорного давления, «окно» лавы, зона неустановившегося горного давления в непосредственной близости позади лавы и на участке стабилизации процессов сдвижения надугольной толщи;

– замерные станции на ПК9 – ПК11 расположены в конце выемочных участков 590 и 592 лав на расстоянии порядка 60 – 100 м от линий остановки очистных забоев и также позволили оценить большинство вышеуказанных зон поддержания 590 сборного штрека с некоторыми ограничениями по крайним зонам – отсутствие влияния очистных работ и стабилизация проявлений горного давления.

Следует указать на еще одну особенность выполнения замеров, связанную с технологическими трудностями снятия некоторых показаний из-за размещенного в выработке оборудования. Поэтому на отдельных замерных станциях лишь частично произведена фиксация перемещений, доступных к измерению. Тем не менее, при анализе закономерностей изменения смещений породного контура 590 сборного штрека в зависимости от расстояния z до очистных забоев присутствуют все измеряемые расстояния, полученные путем усреднения показаний на отдельных пикетах при обязательном одинаковом расстоянии z до лавы.

Общая оценка состояния 590 сборного штрека выполнена, начиная с верхней части выемочного столба 590 лавы, то есть, при первичном использовании этой выработки. Обследование 590 сборного штрека, начиная с заезда от Восточного откаточного штрека №3 до ПК8, показало его устойчивое состояние без особых проявлений горного давления, на которые следовало бы обратить внимание. В качестве доказательства приведен фрагмент выработки на участке ПК0 до ПК4 (рис. 2.3). Такая ситуация вполне ожидаема, так как данный участок находится в охранном целике магистральных выработок вне зоны влияния очистных работ, – даже по их окончанию в 590 выемочном столбе линия остановки 590 лавы находится на расстоянии не менее 35 – 40 м от показанного сечения штрека.



Рис. 2.3. Фрагмент 590 сборного штрека на участке от ПК0 до ПК4

На замерной станции ПК9 уже отмечались последствия проявлений горного давления, когда выработка попадала в зону влияния очистных работ. За несколько метров до «окна» лавы получены следующие результаты частных измерений:

– высота выработки уменьшалась на 690 мм, несмотря на то, что впереди лавы была произведена подрывка почвы в среднем на 980 мм; то есть, зафиксировано значительное развитие вертикального горного давления;

– замки податливости рамы сработали в среднем на 160 мм от величины исходного нахлеста, следовательно, в определенной степени выполняют свои функции по предохранению рамы от чрезмерного горного давления; оценка эффективности их работы неоднозначна: с одной стороны, после подрывки почвы продолжало активно развиваться ее пучение из-за весьма слабого сопротивления сжатию ($\sigma_{сж} = 4,2 - 7,5$ МПа) влагонасыщенного алевролита и отмеченная выше потеря высоты штрека частично компенсировалась за счет поднятия почвы, величину которого зафиксировать не представилось возможным (в районе «окна» лавы по технологическим причинам); с другой стороны, в верхняках рам наблюдались участки их пластического изгиба с потерей первоначальной формы, – следовательно, срабатывание замков податливости на 160 мм оказывалось недостаточным; кроме того, штатному режиму работы замков податливости препятствовали деревянные стойки крепи усиления;

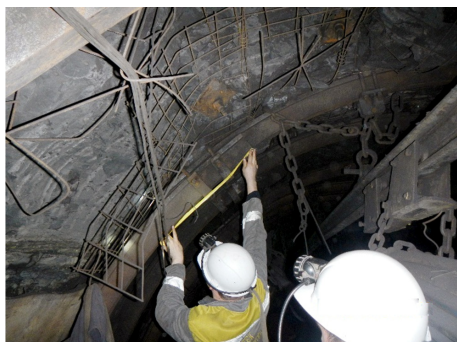


Рис. 2.4. Состояние 590 сборного штрека в районе «окна» 590 лавы

– остальные размеры по схеме на рис. 2.2 зафиксировать не удалось (при данном расстоянии до лавы) ввиду насыщения участка выработки технологическим оборудованием.

В целом, несмотря на близость «окна» лавы, штрек находился в удовлетворительном состоянии по основным размерам и зазорам, необходимым для выполнения технологических операций. Безусловно, имели место нарушения исходной геометрии верхняка и стоек рамы из-за их пластических деформаций, порывы сетки межрамного ограждения с частичным выдавливанием боковых пород со стороны 590 лавы (рис. 2.4), но эти нарушения не оказывали существенного влияния на темпы ведения очистных работ.

Одновременно со снятием показаний на ПК9 производилась фиксация перемещений контура выработки на замерной станции ПК10, которая располагалась (на тот момент времени) на расстоянии примерно 11 – 13 м позади очистного забоя, то есть, в зоне неустановившегося сдвижения надугольной толщи. На рис. 2.5 показаны фрагменты состояния выработки в районе ПК10, на которых отчетливо прослеживаются следующие особенности:

Одновременно со снятием показаний на ПК9 производилась фиксация перемещений контура выработки на замерной станции ПК10, которая располагалась (на тот момент времени) на расстоянии примерно 11 – 13 м позади очистного забоя, то есть, в зоне неустановившегося сдвижения надугольной толщи. На рис. 2.5 показаны фрагменты состояния выработки в районе ПК10, на которых отчетливо прослеживаются следующие особенности:

Одновременно со снятием показаний на ПК9 производилась фиксация перемещений контура выработки на замерной станции ПК10, которая располагалась (на тот момент времени) на расстоянии примерно 11 – 13 м позади очистного забоя, то есть, в зоне неустановившегося сдвижения надугольной толщи. На рис. 2.5 показаны фрагменты состояния выработки в районе ПК10, на которых отчетливо прослеживаются следующие особенности:

– верхняк рамы испытывал пластические деформации в виде его изгиба со стороны выработанного пространства 590 лавы, который провоцировался двумя рядами жестких деревянных стоек крепи усиления; поэтому не происходило надлежащее срабатывание замков податливости в рабочем борту выработки;

– со стороны нерабочего (на тот момент времени) борта наблюдалось некоторое выполаживание верхняка, но эти деформации не мешали срабатыванию замков податливости, – в среднем нахлест составляет 700 мм, что на 300 мм больше его начального значения;

– видимых пластических деформаций стоек рамы у нерабочего борта не наблюдается, а со стороны 590 лавы прослеживается некоторый изгиб стоек в полость выработки.

В данном сечении штрека зафиксированы только вертикальные сближения уровня 450 мм, что на 240 мм меньше, чем на ПК9 в районе «окна» лавы. Это может быть объяснено тем, что ПК10 находился уже частично в области разгрузки над выработанным пространством 590 лавы при отсутствии фронтального опорного давления, нагружающего верхняк рамы и провоцирующего интенсивное пучение пород почвы.

Замерная станция ПК11 находилась уже на расстоянии более 30 м позади лавы; здесь полная стабилизация сдвига надугольной толщи еще не наступила, но уже начали развиваться реологические явления в виде ползучести деформаций горных пород. Результаты замеров указывают на следующие изменения геометрии рамной крепи:

– высота выработки снизилась на 790 мм, а ее ширина на 630 мм; эти перемещения серьезно сказывались на величине потери сечения, но не являлись препятствием для выполнения технологических операций благодаря повышенным начальным размерам 590 сборного штрека под крепь КШГУ-15,0;

– замки податливости работали относительно надежно с увеличением

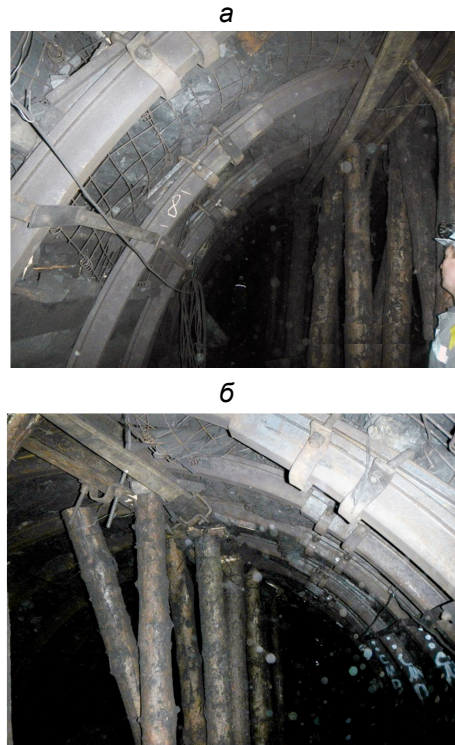


Рис. 2.5. Фрагменты состояния 590 сборного штрека позади 590 лавы (на расстоянии 11 – 13 м, ПК10) в зоне неустановившегося сдвига надугольной толщи со стороны нерабочего (а) и рабочего (б) бортов выработки

нахлеста верхняка и стойки рамы до 700 мм, то есть, в определенной степени обеспечивали «уход» рамы от чрезмерного горного давления;

– асимметрия формы крепи проявлялась слабо: разница между диагоналями c_1 и c_2 составляла всего 100 мм; сами же диагонали уменьшались более существенно: c_1 – на 1070 мм, c_2 – на 970 мм; таким образом, при относительно небольшой асимметрии деформирования рамы со стороны выработанного пространства 590 лавы наблюдались достаточно значительные перемещения по всему контуру штрека.

Отмеченные особенности проявления горного давления подтверждают фрагменты выработки на ПК11, приведенные на рис. 2.6. Действительно,



Рис. 2.6. Состояние 590 сборного штрека на расстоянии не менее 30 м (ПК11) позади 590 лавы

асимметрия формы рамы просматривается слабо, состояние замков податливости вполне рабочее, из-за чего пластические деформации верхняка и стоек визуально малозаметны. В целом состояние 590 сборного штрека на расстоянии не менее 30 м позади 590 лавы можно оценить как удовлетворительное.

Замерная станция на ПК47 располагалась в районе разрезной печи 592 лавы и находилась в целике угля по отношению к разрезной печи 590 лавы. Поэтому, влияние очистных работ в 590 лаве не столь существенно. Выработка находилась в удовлетворительном состоянии с некоторыми отклонениями (от исходного сечения), обусловленными действием реологических факторов:

– высота штрека снизилась на 490 мм, но здесь основной вклад внесло пучение слабых пород почвы;

– ширина выработки уменьшилась на 700 мм, что вызвано сближением стоек рамы в районе их опор в процессе горизонтальных подвижек пород

почвы в полость выработки;

– нахлест верхняка и стойки рамы составил 350 мм, то есть, узлы податливости еще не срабатывали, что лишний раз указывало на потерю высоты выработки за счет пучения ее почвы.

Замерная станция на ПК31 позволила отследить весь спектр проявлений горного давления по мере подвигания 590 лавы от участка вне зоны влияния очистных работ до зоны стабилизации сдвигания надугольной толщи.

Изменение размеров штрека на ПК31 до начала ведения очистных работ фактически одинаковы по сравнению с ПК47, что вполне ожидаемо ввиду схожести горно-геологических условий поддержания на этих участках 590 сборного штрека. Такая стабильность состояния выработки на ее протяжении более 300 м позволила принять его за исходное при оценке влияния исключительно очистных работ, а воздействие геомеханических процессов в массиве до начала отработки 590 лавы не учитывалось. Таким образом, для объективности анализа развития перемещений контура 590 сборного штрека в зависимости от расстояния Z до лавы произведено разделение влияния непосредственно очистных работ и геомеханических процессов, протекавших до начала отработки 590 лавы.

Результаты представлены в виде графиков (рис. 2.7) изменения какого-либо фиксируемого размера в зависимости от расстояния z данного сечения от очистного забоя 590 лавы. Поскольку измерения проведены на нескольких пикетах, то выполнено усреднение полученных результатов.

Для каждого фиксируемого размера выработки приведено два графика:

- пунктирной линией отмечены перемещения контура по отношению к начальным размерам крепи КШПУ-15,0 согласно паспорта проведения 590 сборного штрека. Эти данные дают представление об общей ситуации поддержания выработки, включая необходимость периодической подрывки ее почвы;

- сплошной линией показан вклад в конвергенцию породного контура влияния очистных работ, который определяется как разница между общими смещениями и перемещениями, произошедшими на период поддержания сечения выработки вне зоны влияния очистных работ; такой показатель позволяет более объективно оценить эффективность противодействия крепежной системы штрека проявлениям горного давления в зоне активного сдвижения надугольной толщи.

Анализ вертикальных сближений U_{h_1} кровли и почвы позволил установить следующее. Вне зоны влияния очистных работ зафиксировано уменьшение высоты выработки в интервале 420 – 470 мм; большая часть U_{h_1} обусловлена развитием пучения пород почвы, но, судя по величине срабатывания замков податливости и состоянию верхняка и стоек рамы, опуска-

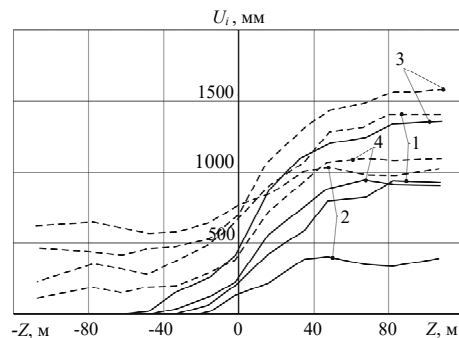


Рис. 2.7. Зависимости перемещений U_i контура 590 сборного штрека от координаты Z положения 590 лавы до измеряемого сечения: 1 – U_{h_1} ; 2 – U_{e_1} ; 3 – U_{c_1} ; 4 – U_{c_2} ; – – общее перемещение i -го параметра измерений; — доля перемещений от влияния очистных работ

ние пород кровли оценено на уровне 120 – 180 мм. При этом все же происходит некоторое изменение первоначальной формы рамы из-за пластических деформаций. Отсюда следует вывод, что даже вне зоны влияния очистных работ крепежная система 590 сборного штрека (с установкой 7 сталеполимерных анкеров в пределах свода) не полностью справляется с формирующейся нагрузкой в кровле выработки.

Причина данной ситуации состоит, на наш взгляд, не только в предрасположенности пород близлежащего массива к явлению ползучести деформаций. Согласно сведениям горно-геологического прогноза аргиллиты и алевролиты основной и непосредственной кровли имеют развитую трещиноватость с переслаиванием литотипов и большой вероятностью влагонасыщения. Такие условия благоприятны для активного расслоения пород кровли и образования обширного свода разупрочненных пород. Предположительно размеры свода превышают длину сталеполимерных анкеров, что не позволило им эффективно противодействовать вертикальному горному давлению, ведь мощность упрочняемой близлежащей кровли достаточно ограничена. Если породы кровли, залегающие над армопородной конструкцией, переходят в неустойчивое состояние, то несущей способности упрочненного слоя может оказаться недостаточно для предохранения от чрезмерных нагрузок рамной крепи.

Влияние приближающегося очистного забоя 590 лавы отмечено на расстоянии $z = -34$ м; смещения U_{h_1} начинают резко увеличиваться с достаточно постоянным градиентом роста на участке от $z = -16$ м до $z = 47$ м; данный участок штрека характеризуется как зона активных сдвижений пород надугольной толщи. Далее градиент роста перемещений U_{h_1} снижается и при $z > 82$ м их прирост не зафиксирован. Эта отметка является началом зоны стабилизации процессов сдвижения надугольной толщи, при которой уменьшение высоты выработки выражено слабо и обусловлено в основном ползучестью деформаций пород близлежащего массива. На участке стабилизации проявлений горного давления влияние очистных работ составляет 60 – 70% от общей величины сближения пород кровли и почвы, которая достигает 1400 мм. Такое уменьшение высоты штрека представляет опасность с точки зрения норм и правил его эксплуатации. Но, здесь следует отметить, что поднятие пород почвы превышает, как правило, опускание пород кровли; поэтому, производство подрывки пород почвы до и после прохода очистного забоя сохраняет высоту выработки на уровне $h_1 = 2850 - 3000$ мм, что вполне достаточно для надежного выполнения технологических операций.

Опускание пород кровли можно ориентировочно оценить величиной до 300 – 400 мм (при ведении очистных работ в 590 лаве). С одной стороны, это значение немногим превышает вертикальную конструктивную податливость рамы, но, с другой, – наблюдается пластический изгиб верхняка и стоек с появлением некоторой асимметрии их деформаций. Поэтому, необхо-

димо отметить, что по фактору вертикальных перемещений U_{h_1} имеет место умеренное нарушение первоначальной формы рамной крепи.

Рассмотрены так же тенденции изменения ширины e_1 выработки по ее почве, представленные графиками 2 на рис. 2.7. Вне зоны влияния очистных работ уменьшение ширины выработки по отношению к первоначальным конструктивным размерам крепи КШПУ-15,0 колеблется в интервале $U_{e_1} = 580 - 600$ мм. Такое существенное сближение боков обусловлено пластическим изгибом стоек рамы, который провоцируется, в первую очередь, перемещающимся в горизонтальном направлении породным слоем непосредственной почвы в районе опор стоек; данное явление вызвано активным пучением пород почвы, распространяющимся за пределы ширины выработки, где разновекторное перемещение приконтурных пород имеет, в том числе, и горизонтальную составляющую. Вторым фактором, усиливающим изгиб стоек, является значительная боковая нагрузка как результат действия опорного давления в боках выработки. Третий фактор – вертикальная нагрузка на раму способствует развитию пластического изгиба стоек, уже потерявших свою первоначальную устойчивую форму.

Таким образом, изначально, еще вне зоны влияния очистных работ, происходит существенное сближение боков выработки с изменением устойчивой формы стоек к менее устойчивой.

Дальнейший рост сближения боков штрека зафиксирован начиная с отметки $z = -(20 - 25$ м) впереди лавы и обусловлен влиянием ее фронтального опорного давления. Градиент роста перемещений U_{e_1} достаточно стабилен до отметки $z = 35$ м позади лавы и отражает активное действие геомеханических процессов сдвижения надугольной толщи в выработанное пространство 590 лавы. Затем, по мере отхода очистного забоя, величина сближения боков штрека (от влияния очистных работ) стабилизируется в диапазоне 330 – 410 мм; общая величина сближения боков за весь период поддержания 590 сборного штрека составила $U_{e_1} = 970 - 1030$ мм.

По изложенным результатам необходимо отметить следующее. Величина сближения боков выработки порядка 1 м по отношению к первоначальным конструктивным размерам крепи КШПУ-15,0 достаточно весома с точки зрения потери сечения штрека при первоначальном использовании его в качестве сборного. Если высоту выработки можно отчасти восстановить за счет подрывки почвы, то увеличение ширины связано с выпуском породы, перекреплением, высокими дополнительными затратами и не является целесообразной в сложившейся ситуации применения большего типоразмера сечения выработки. В то же время, необходимо принимать во внимание перспективу повторного использования 590 сборного штрека и сопутствующую активизацию проявлений горного давления. Помимо этого, необходимо обратить внимание на несоответствие боковой конструктивной податливо-

сти стойки (100 мм) зафиксированной величине сближения ее стоек, имеющее в среднем пятикратное превышение. Это соотношение, безусловно, вызывает не только значительный пластический изгиб стоек рамы с потерей их первоначальной формы, но и нарушает штатный режим работы замков податливости с вероятным разрушением некоторых из них.

Одна из причин такой ситуации видится в сочетании повышенного бокового опорного давления и весьма слабых пород непосредственной почвы, что вызывает как формирование значительной боковой нагрузки на раму, так и интенсификацию процессов пучения пород почвы. Если изменить механические свойства пород непосредственной почвы технически сложно, то управление боковым опорным давлением достаточно реально; здесь имеется ввиду следующее. В примененной схеме крепления 590 сборного штреха семь сталеполлимерных анкеров упрочняют в основном породы центральной части свода по длине верхняка, создавая армопородную конструкцию определенной несущей способности. Но, опирается эта конструкция в основном на рамную крепь и нарушенные приконтурные породы в боках выработки (над угольным пластом и над охранной системой). Все перечисленные квазиопоры обладают той или иной степенью податливости, особенно, нарушенные приконтурные породы непосредственной кровли. При опускании (на податливых опорах) армопородной конструкции она провоцирует (из-за низкого отпора) расслоения в породах основной кровли и, как следствие, формирует в кровле обширную область неустойчивых пород, которая создает не только повышенную нагрузку на раму, но и более высокое боковое опорное давление. Если сконцентрировать упрочнение на породных объемах, выполняющих функции опор в боках выработки, то сопротивление армопородной конструкции в кровле стане жестче с ограничением расслоения вышележащего массива. А, если к этому добавить более «глубинное» упрочнение пород кровли с расширением площади опирания армопородной конструкции, то, очевидно, интенсивность действия бокового опорного давления снизится многократно, что повлечет за собой резкое ограничение воздействия негативных факторов повышенной боковой нагрузки и пучения пород почвы. Поэтому, целесообразно, на наш взгляд, изменить как схему установки анкеров в своде выработки, так и принцип упрочнения близлежащих пород кровли.

Одно из явлений, негативно сказывающихся на устойчивости рамной крепи и выработки в целом, заключается в асимметричном деформировании рамы, обусловленном повышенной нагрузкой со стороны 590 лавы. Количественная оценка степени асимметрии дана путем измерения диагоналей c_1 и c_2 (см. рис. 2.2) и выявления закономерностей их изменения при подвигании 590 лавы (графики 3 и 4 на рис. 2.7).

На участке вне зоны влияния очистных работ диагональ c_1 уменьшается в диапазоне $U_{c_1} = 230 - 330$ мм, а начиная с расстояния $z = - (40 - 45)$ м вле-

реди лавы градиент роста U_{c_1} начинает стабильно увеличиваться и после прохода очистного забоя величина смещения по диагонали C_1 частично стабилизируется; тем не менее, без учета подрывки пород почвы смещения по диагонали c_1 достигают 1430 – 1580 мм в зоне стабилизации проявлений горного давления ($z \geq 40 - 50$ м). При этом, доля влияния очистных работ является определяющей и на участке стабилизации процессов сдвижения надугольной толщи и составляет порядка 85%. Величина смещения U_{c_1} указывает на формирование в кровле выработки позади 590 лавы значительных косонаправленных (со стороны выработанного пространства) нагрузок.

Закономерности изменения диагонали c_2 следующие. Вне зоны влияния очистных работ на протяженном участке вплоть до $z = -30$ м величина смещений изменяется малосущественно в интервале 120 – 190 мм, что заметно меньше величины U_{c_1} . Таким образом, уже вне зоны влияния очистных работ некоторая асимметрия деформирования рамы проявляется. В зоне фронтального опорного давления 590 лавы интенсивность нарастания смещений U_{c_2} увеличивается, а снижение темпов роста U_{c_2} происходит позади лавы, начиная с расстояния $z = 40 - 50$ м. По абсолютной величине уменьшение диагонали C_2 достигает 1050 – 1100 мм (исключая подрывку пород почвы). Как видно из графиков, асимметрия деформирования рамы усиливается по мере отхода очистного забоя и достигает величины 370 – 480 мм в зоне стабилизации процессов сдвижения надугольной толщи. Основная доля асимметрии обусловлена неравномерным нагружением рамы в зоне влияния очистных работ и составляет 60 – 70% от общей разницы текущих размеров диагоналей c_1 и c_2 .

Явление асимметрии деформирования рамной крепи существенным образом изменяет первоначальную ее форму и снижает несущую способность. При этом нарушается штатный режим работы замков податливости, что влечет за собой увеличение нагрузки на крепежную систему, более интенсивное деформирование рамы и связанную с этим потерю сечения выработки. Поэтому, даже с учетом периодической подрывки пород почвы, потеря сечения 590 сборного штрека достаточно значима уже на первом этапе его поддержания при отработке 590 лавы; отсюда следует вывод о недостаточной эффективности усиления рамной крепи системой из 7 сталеполлимерных анкеров, устанавливаемых согласно технической документации по схеме, приведенной на рис. 2.1.

Рассмотрим изменение вспомогательных параметров перемещений рамной крепи по мере подвигания очистного забоя; соответствующие графики приведены на рис. 2.8. Первым из них является разница $h_2 - h_3$ высот h_2 и h_3 со стороны нерабочего и рабочего бортов штрека, замеряемых по верти-

калям от замков податливости рамы до почвы. Как уже отмечалось выше, данный параметр позволяет оценить степень асимметрии деформирования рамы в вертикальном направлении, но при этом следует помнить о некоторой неоднозначности показаний, обусловленной неодинаковым поднятием пород почвы со стороны рабочего и нерабочего бортов выработки. Вне зоны влияния очистных работ наблюдается небольшая асимметрия деформирования рамы по вертикали в пределах 80 – 140 мм, но здесь, вероятно, присутствует погрешность от неравномерного (по ширине выработки) поднятия пород почвы. Начиная с участка $z = - (30 - 40 \text{ м})$ впереди лавы наблюдается стабильный рост разницы $h_2 - h_3$ при примерно постоянном градиенте увеличения вплоть до отметки $z = 45 - 50 \text{ м}$ позади лавы; в зоне стабилизации проявлений горного давления разница анализируемых размеров изменяется в относительно узком интервале 420 – 460 мм.

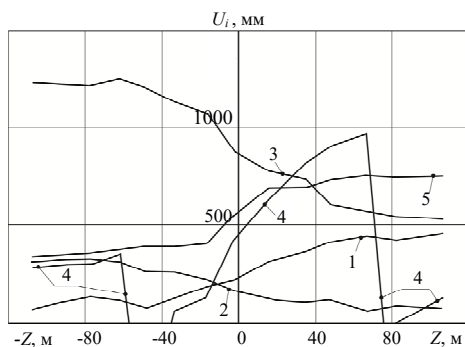


Рис. 2.8. Закономерности изменения вспомогательных параметров оценки состояния 590 сборного штрека в период отработки 590 выемочного участка:

- 1 – $h_2 - h_3$; 2 – $e_1 - e_2$; 3 – $e_1 - e_3$;
4 – U_{h_4} ; 5 – a_1

Далее обратимся к таким вспомогательным параметрам как $e_1 - e_2$ и $e_1 - e_3$, которые позволяют оценить степень деформирования стоек рамы и изменения их первоначальной формы (графики 2 и 3 на рис. 2.8). Разница размеров $e_1 - e_2$ на участке штрека вне зоны влияния очистных работ изменяется в узком интервале 270 – 340 мм; начиная с расстояния до лавы $z = - (30 - 35 \text{ м})$ происходит постепенное уменьшение этого параметра до величины 110 мм при $z = 35 \text{ м}$; в дальнейшем (в зоне стабилизации проявлений горного давления) колебания величины $e_1 - e_2$ находятся в диапазоне 70 – 120 мм. Таким образом, первоначальная разница в конструктивных размерах e_1 и e_2 по мере подхода и отхода лавы сокращается на 200 – 220 мм; такая величина перемещения стоек выходит далеко за пределы упругих деформаций, что подтверждает развитие участков пластического состояния в стойках рамы. В процессе их изгиба происходит приближение к вертикальному положению первоначально наклонных стоек крепи КШПУ-15,0, что снижает их реакцию сопротивления воздействию боковых нагрузок.

Разница размеров $\epsilon_1 - \epsilon_3$ изменяется еще в большей мере в ходе продвижения 590 лавы. Это вполне ожидаемо, поскольку размер ϵ_3 находится на большей высоте по отношению к ϵ_2 и плечо действия сил бокового давления на стойку увеличивается, а вместе с ним возрастает изгибающий момент и соответствующие пластические деформации. На участке штрека вне зоны влияния очистных работ разница в размерах ϵ_1 и ϵ_3 близка к исходной, а диапазон колебаний не превышает 4%. Снижение указанной разницы происходит за счет опережающего перемещения стойки в районе ее опоры над перемещением стойки в районе верхней кромки угольного пласта; это отмечено на расстоянии порядка 60 – 65 м впереди очистного забоя. Далее происходит стабилизация анализируемого параметра в пределах 530 – 610 мм, то есть, сближение стоек в районе их опор превысило сближение стоек в районе верхней кромки пласта на 630 – 710 мм, что лишний раз подтверждает выводы визуальных наблюдений о значительных пластических деформациях стоек рам.

В ракурсе полученных результатов инструментальных наблюдений следует еще раз подчеркнуть мнение об актуальности снижения интенсивности бокового опорного давления за счет выбора рациональных схем анкерного упрочнения пород кровли выработки.

Проблема интенсивного пучения пород почвы 590 сборного штрека решается ее периодическими подрывками (как минимум, до подхода лавы и позади очистного забоя в зоне стабилизации проявлений горного давления). Ранее было отмечено, что фиксация размеров $h_{4,5}$ (см. рис. 2.2) обладает определенной погрешностью при оценке величины пучения. Тем не менее, при общей оценке геомеханической ситуации поддержания 590 сборного штрека представляет интерес и сведения, характеризующие поведение его почвы (график 4 на рис. 2.8). Вне зоны влияния очистных работ величина пучения достаточно стабильна на уровне 290 – 350 мм. Для предупреждения ожидаемой активизации процессов пучения произведена подрывка до начала зоны фронтального опорного давления 590 лавы. Однако, явление пучения (уже после подрывки почвы) не стабилизируется, а продолжает интенсивно развиваться: так, на относительно коротком участке штрека длиной в 35 м вплоть до очистного забоя поднятие почвы составило уже 440 мм и позади лавы продолжает возрастать (с некоторым замедлением темпов) вплоть до второй подрывки; после нее зафиксировано поднятие почвы на 120 мм на отметке 107 м позади очистного забоя.

Последний из фиксируемых параметров – величина нахлеста $a_{1,2}$ (график 5 на рис. 2.8) оценивает степень соответствия работы замков податливости штатному режиму. Здесь необходимо уточнить, что со стороны рабочего борта штрека в зоне влияния очистных работ наблюдаются значительные пластические деформации рамы в районе расположения узлов податливости и их режим работы должен быть признан неудовлетворительным.

Со стороны нерабочего борта штрека также возникают пластические деформации в раме, но они протекают без существенных перегибов СВП, что обуславливает срабатывание замков податливости. Именно для этой группы узлов податливости и зафиксировано изменение величины нахлеста a_1 по мере подвигания очистного забоя.

На участке штрека вне зоны влияния очистных работ и вначале зоны фронтального опорного давления от 590 лавы величина нахлеста составляет 350 – 420 мм; то есть, находится в пределах конструктивных норм крепи серии КШПУ. Начиная с отметки $z = -16$ м происходит сначала резкое увеличение длины нахлеста до 700 мм на участке до 16 м позади очистного забоя, а затем замедление роста a_1 со стабилизацией на уровне 740 – 750 мм при $z \geq 48$ м.

Подводя итоги анализу закономерностей изменения вспомогательных параметров (в зависимости от расстояния до 590 лавы) необходимо отметить их соответствие и полезное дополнение к аналогичным закономерностям для основных параметров смещений (см. рис. 2.7). Подтверждаются все основные выводы, изложенные ранее, включая общую оценку о недостаточной эффективности применяемых схем анкерного упрочнения пород кровли штрека по основным критериям максимально возможного сохранения его сечения и несущей способности крепежной системы для последующего повторного использования 590 сборного штрека.

При отработке 592 выемочного участка 590 сборный штрек был использован повторно в качестве бортового. Замерные станции остались прежними, как и методика съема показаний перемещений контура выработки. Представление результатов замеров нуждается, на наш взгляд, в корректировке исходя из следующих соображений. При первичном использовании 590 сборного штрека в ходе очистных работ в 590 лаве состояние выработки уже зафиксировано комплексом параметров, достаточно полно характеризующих перемещения ее контура. Вполне ожидаемо, что очистные работы в смежной 592 лаве (повторное использование 590 сборного штрека) активизируют проявления горного давления, и фиксируемые параметры будут изменяться по всей своей величине. Простое суммирование показаний перемещений затруднит, по нашему мнению, объективную интерпретацию результатов по оценке степени влияния (на состояние штрека) отработки каждого из 590 и 592 выемочных столбов. Количественные показатели влияния прохождения 590 лавы приведены на графиках рис. 2.7 и 2.8 и уже проанализированы. Поэтому, будет более наглядно и методически более целесообразно оценить степень влияния очистных работ в 592 лаве отдельно, что позволит четко систематизировать закономерности, выводы и рекомендации в ходе первичного и повторного использования выемочного штрека. Поэтому, при построении и анализе закономерностей изменения геометрических параметров 590 сборного штрека в зависимости от расстояния до очистного забоя 592 лавы, считаем логичным отражение только влияния последней, взяв за основу установившиеся размеры штрека после его первичного ис-

пользования. Закономерности изменения перемещений $U_i(z)$ контура 590 сборного штрека приведены на графиках рис. 2.9.

Тенденции развития перемещений U_i схожи между собой в качественном плане, но отличаются количественными показателями. Величина сближения h_1 кровли и почвы на участке вне зоны влияния очистных работ незначительна (до 25 – 30 мм) и определяется в основном поднятием пород почвы. Длина участка зоны фронтального опорного давления впереди 592 лавы составляет 30 – 35 м, если судить по началу более интенсивного роста U_{h_1} ; эта длина участка практически совпадает с таковой для 590 лавы. При ее приближении на расстояние $z = -20$ м градиент роста U_{h_1} резко увеличивается и позади лавы на расстоянии $z = 25 - 30$ м сближение кровли и почвы составляет уже 720 мм. При дальнейшем отходе лавы интенсивность роста U_{h_1} снижается и при $z = 70 - 80$ м происходит стабилизация величины сближения кровли и почвы на уровне 850 – 860 мм.

По сравнению со степенью влияния 590 лавы величина U_{h_1} снизилась всего на 70 – 80 мм, что при определенной погрешности измерений от пучащих пород почвы позволяет считать влияние 590 и 592 лав как равноценное. Если суммировать общее сближение пород кровли и почвы за весь период эксплуатации 590 сборного штрека, то оно достигает величины 2250 – 2280 мм, то есть, на 60 – 65% снижает высоту выработки. Однако, благодаря периодическим подрывкам пород почвы выработки ее высота сохраняется на технологически приемлемом уровне $U_{h_1} = 2600 - 2900$ мм, а уменьшение высоты штрека определяется только опусканием кровли порядка 600 – 900 мм при соответствующем деформировании рамной крепи.

Процесс уменьшения ширины выработки активизируется в зоне фронтального опорного давления впереди 592 лавы лишь за 20 м до очистного забоя. Такое «запаздывание» проявления перемещений стоек по почве штрека может быть объяснено наличием выработанного пространства со стороны отработанного 590 выемочного участка; здесь разрушенные породы обладают повышенной деформируемостью и частично «поглощают» (за счет уплотнения) вертикальные сдвигания надугольной толщи (от влияния

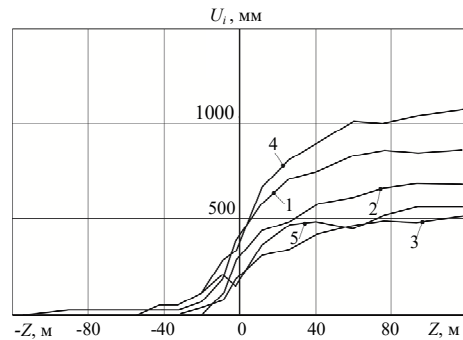


Рис. 2.9. Зависимости перемещений контура 590 сборного штрека от расстояния z до 592 лавы (повторное использование штрека): 1 – U_{h_1} ;

2 – U_{e_1} ; 3 – U_{c_1} ; 4 – U_{c_2} ; 5 – $U_{c_2} - U_{c_1}$

592 лавы), что снижает интенсивность действия бокового опорного давления и уровень деформации стоек рамы. Тем не менее, вблизи очистного забоя на участке от $z = -20$ м до $z = 12$ м градиент роста U_{e_1} чрезвычайно высок, так что в конце этого участка сближение стоек достигает 440 мм. Далее интенсивность роста U_{e_1} постепенно снижается, но стабилизация смещений на уровне 660 – 680 мм наблюдается лишь на расстоянии 75 – 80 м позади очистного забоя. Более протяженный участок стабилизации проявлений горного давления может быть объяснен тем, что очистные работы в 592 лаве расширяют область сдвижения пород надугольной толщи с активизацией части массива вокруг уже отработанной 590 лавы. Процессы «вторичного» расслоения и опускания массива затрагивают более высоко залегающие породные слои, деформирование которых протекает за более длительный период времени, в течение которого 592 лавы успевают отойти дальше от рассматриваемого сечения выработки. Такие рассуждения относятся не только к закономерностям сближения боков штрека на уровне его почвы, но и к другим фиксируемым параметрам.

Суммарные сближения стоек рам (на уровне почвы) за весь период эксплуатации 590 сборного штрека достигают 1630 – 1710 мм, что составляет 31 – 33% от его первоначальной ширины. Потеря до одной трети ширины выработки представляет серьезную проблему для надежного и стабильного ведения очистных работ в 592 лаве и в этом плане необходимо еще раз подчеркнуть актуальность ограничения сближения боков штрека за счет снижения интенсивности бокового опорного давления, о чем было изложено ранее при исследованиях периода отработки 590 лавы. Тогда был сделан вывод о недостаточной эффективности применяемой схемы установки сталеполлимерных анкеров для создания армопородной конструкции в кровле высокой грузонесущей способности, которая бы защищала рамную крепь от чрезмерных нагрузок.

Тенденции снижения диагональных размеров c_1 и c_2 коренным образом изменились в зоне влияния очистных работ 592 лавы по сравнению с периодом отработки 590 лавы. Перемещения U_{c_1} по диагонали c_1 развиваются в гораздо меньшей степени: их заметный рост начинается на расстоянии за 20 – 25 м от очистного забоя 592 лавы и величина U_{c_1} стабильно возрастает с переменным градиентом вплоть до участка на расстоянии 75 – 80 м позади очистного забоя, где зафиксировано максимальное значение $U_{c_1} = 480 – 510$ мм. Величина смещений U_{c_2} по диагонали c_2 , напротив, развивается более интенсивно, начиная с отметки $z = -(30 – 40)$ м впереди 592 лавы до отметки $z = 60$ м позади очистного забоя; хотя, и на более отдаленных участках имеет место небольшой рост U_{c_2} до величины 1070 мм.

Отмеченные закономерности вполне логичны, по нашему мнению,

поскольку многочисленные исследования состояния выемочных выработок в различных горно-геологических условиях указывают на преобладающие перемещения их контура со стороны действующей лавы. Данный факт зафиксирован и в наших исследованиях: смещение U_{c_2} превышает U_{c_1} на 560 мм, что весьма существенно искажает форму рамы, уже сформированную ранее при ведении очистных работ в 590 лаве.

При оценке суммарного сдвижения по диагоналям c_1 и c_2 (см. рис. 2.2) за весь период эксплуатации 590 сборного штрека получены следующие результаты: $U_{c_1} = 2030 - 2090$ мм, $U_{c_2} = 2140 - 2170$ мм. В относительных величинах размеры диагоналей снижаются на 40 – 43% от первоначального значения, что является критическим показателем потери сечения штрека. Однако, благодаря периодическим подрывкам пород почвы размеры диагоналей увеличиваются и не менее, чем на половину ограничиваются смещения U_{c_1} и U_{c_2} , что позволяет добиться удовлетворительного эксплуатационного состояния выработки по фактору ее размеров по диагоналям.

Также следует обратить внимание, что в результате отработки 592 лавы конечная разница смещений сократилась до 80 – 110 мм. Но, это не означает, что форма рамы вернулась к своему начальному положению: произошедшие пластические деформации верхняка и стоек рамы являются необратимыми и приводят к существенной потере несущей способности рамной крепи, несмотря на примерное равенство диагоналей c_1 и c_2 . В ракурсе направления по ограничению пластических деформаций рамы необходимо снизить асимметрию ее нагружения сначала со стороны 590 лавы, а затем со стороны 592 лавы при повторном использовании штрека. Этого можно добиться, сформировав в кровле выработки мощную армопородную конструкцию, воспринимающую на себя большую часть горного давления.

Закономерности изменения вспомогательных параметров (рис. 2.10) дополняют общее представление о состоянии 590 сборного штрека при его повторном использовании в период ведения очистных работ в 592 лаве. В качественном плане представленные закономерности частично схожи с установленными для 590 лавы, а в количественном – имеется ряд отличий.

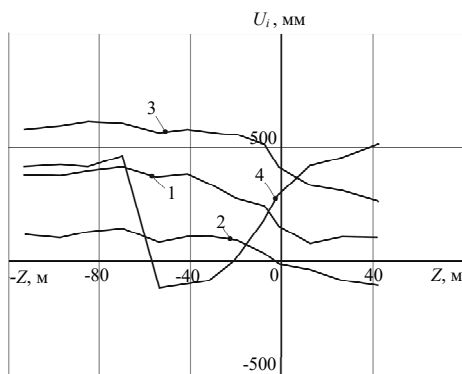


Рис. 2.10. Закономерности изменения вспомогательных параметров оценки состояния 590 сборного штрека в период отработки 592 выемочного участка:

$$1 - h_2 - h_3; 2 - e_1 - e_2;$$

$$3 - e_1 - e_3; 4 - U_{h_4}$$

Разница вертикальных размеров $h_2 - h_3$ на протяженном участке до $z = -42$ м остается немного (на 40 – 80 мм) меньше, чем при прохождении 590 лавы, которая, собственно, и спровоцировала данную асимметрию формы рамы. Но, приближение 592 лавы способствует изменению эпюры нагружения с концентрацией со стороны ее рабочего борта. Поэтому, размер h_2 снижается быстрее, чем размер h_3 (см. рис. 2.2) и их разница $h_2 - h_3$ начинает сокращаться в зоне влияния очистных работ 592 лавы начиная с отметки $z = -42$ м до 12 м позади очистного забоя; далее разница размеров $h_2 - h_3$ стабилизируется на уровне 80 – 110 мм, полностью повторяющем значения асимметрии при измерении диагоналей c_1 и c_2 . Таким образом, асимметрия формы рамы сокращается, но при гораздо меньшем остаточном сечении и значительных пластических деформациях верхняка и стоек.

Разница $e_1 - e_2$ горизонтальных размеров при повторном использовании 590 сборного штрека до отметки $z = -20$ м изменяется в интервале 90 – 150 мм и несколько превышает таковую (70 – 90 мм), зафиксированную после отработки 590 выемочного участка; данное несоответствие обусловлено длительным промежутком времени (между предыдущими замерами и последними), в течение которого погрешность вносит реологический процесс ползучести деформаций близлежащих пород. При подходе 590 лавы на расстояние менее 20 м разница размеров $e_1 - e_2$ снижается до такой степени, что при $z = -3$ м сводится к нулю, а позади очистного забоя уже принимает отрицательные значения порядка 90 – 110 мм. Это указывает на то, что стойки рамы в опорах сближаются на такую величину, что остаточное расстояние между ними e_1 становится меньше, чем остаточное расстояние e_2 на уровне нижней кромки пласта. Такая криволинейная форма нижней части стоек резко снижает их несущую способность, что опять-таки указывает на необходимость ограничения боковых подвижек приконтурных пород.

Разница горизонтальных размеров $e_1 - e_3$ до отметки $z = -32$ м остается практически постоянной (560 – 610 мм), немногим превышающей остаточную разницу в 440 мм в период отработки 590 лавы. Приближение 592 лавы приводит к дальнейшему пластическому изгибу стоек, вследствие чего разница $e_1 - e_3$ снижается до 270 мм при $z = 42$ м позади очистного забоя.

Если подытоживать результаты замеров горизонтальных сближений стоек рамы, то необходимо указать на их существенные пластические деформации, резко снижающие несущую способность рамной крепи и устойчивость выработки в целом. Поэтому особое внимание следует уделить ограничению сближения боков выработки за счет снижения интенсивности бокового опорного давления.

Величина поднятия почвы U_{h_4} после предыдущих ее подрывок стабилизировалась на уровне 420 – 460 мм вне зоны влияния очистных работ. Перед зоной фронтального опорного давления от 592 лавы осуществлена подрывка

пород почвы на глубину порядка 0,6 м, после которой происходит постепенное увеличение поднятия почвы с наибольшей интенсивностью от отметки $z = -32$ м впереди лавы до отметки $z = 12$ м позади очистного забоя; максимальная зафиксированная величина пучения почвы составила 520 мм.

ВЫВОДЫ

Основные выводы по результатам наблюдений за состоянием 590 сборного штрека при его повторном использовании заключаются в следующем. В рассматриваемых горно-геологических условиях развиваются значительные смещения контура выработки по всем фиксируемым направлениям и необходимо иметь запас сечения штрека, чтобы сохранить его для повторного использования. Поэтому, техническое решение о проведении 590 сборного штрека сечением в свету $15,3 \text{ м}^2$ (под крепь КШПУ-15,0) является вполне оправданным. Тем не менее, критически важным является ограничение сближения боков выработки; одним из путей решения данной задачи видится в снижении интенсивности действия бокового опорного давления путем формирования над выработкой армопородной конструкции высокой несущей способности. Это позволит защитить рамную крепь от чрезмерного горного давления и ограничить негативное действие асимметрии деформирования рамы для сохранения ее несущей способности на максимально возможном уровне. Реализация такого направления целесообразно осуществлять путем выбора рациональных параметров установки не только сталеполимерных анкеров, но и «глубинного» упрочнения пород кровли с помощью канатных анкеров.

3. ОБОСНОВАНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА И АНАЛИЗ НДС ПРИКОНТУРНЫХ ПОРОД И БАЗОВОЙ КРЕПЕЖНОЙ СИСТЕМЫ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ

3.1. ПОСТРОЕНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОВЕДЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Проведение вычислительных экспериментов на базе метода конечных элементов (МКЭ) осуществлено с использованием рекомендаций [20, 54 – 58] моделирования геомеханических процессов сдвижения углевмещающего массива в окрестности выемочных выработок. Технология моделирования предполагает синтез общей геомеханической системы из двух составляющих: модель углевмещающего массива и схема крепления выработки. Последняя для объективной оценки выполняется в двух вариантах: существующая крепёжная система согласно технической документации на проведение выемочной выработки, которая названа нами «базовая» схема и усовершенствованная схема крепления, обосновывается на основе исследований состояния породного массива и опыта поддержания повторно используемых выемочных выработок.

В методическом плане составляющие исследования представлены следующим образом:

- обобщение представлений о механизме сдвижения надугольной толщи и нагружения крепёжной системы выемочных выработок;
- анализ НДС породного массива в окрестности выработки;
- оценка НДС грузонесущих элементов базовой крепёжной системы;
- разработка и обоснование усовершенствованной схемы крепления;
- расчет и анализ НДС геомеханической системы «массив – рама – комбинированная анкерная крепь»;
- установление закономерностей влияния основных геомеханических факторов на НДС грузонесущих элементов комбинированной анкерной системы при упрочнении свода выемочной выработки и в сочетании с крепью КШПУ;
- разработка методики расчета параметров анкерной системы выемочной выработки;
- проведение и анализ шахтных испытаний разработанной крепёжной системы повторно используемых выемочных выработок.

Для реализации данного объема исследований создана общая геомеханическая модель и ее составляющие с использованием следующих основных положений.

Первое – обоснование размеров общей модели и условий на ее границах. Для этого произведен тестовый расчет общей геомеханической модели, отличающейся своими увеличенными размерами по координатам: y – высота, x – ширина и z – толщина вдоль осевой координаты выработки. Здесь учитываются возмущения НДС, обусловленные проведением выработки в шахтном поле. Чтобы установить границы аномалий в распределении компонент напряжений необходимо их сравнение с таковыми для нетронутого массива. В этом плане обоснование размеров модели неразрывно связано с условиями нагружения на ее границах, которые обусловлены выбором модели исходного состояния нетронутого массива.

В существующей горнотехнической литературе [49 – 61] нет единого представления об исходном состоянии нетронутого массива: гидростатическое ($\sigma_y = \sigma_x = \sigma_z$) или негидростатическое ($\sigma_y \neq \sigma_x = \sigma_z$). В решенных геомеханических задачах выбрано негидростатическое исходное состояние, как преобладающее в ракурсе описания поведения углевмещающего массива. В исследованиях авторов работы использована модель негидростатического исходного состояния нетронутого массива, характеризующаяся следующими начальными условиями:

$$\sigma_y = \gamma H ; \quad (3.1)$$

$$\sigma_x = \sigma_z = \frac{\mu}{1-\mu} \gamma H , \quad (3.2)$$

где H – глубина размещения выработки;

γ – средневзвешенный объемный вес пород надугольной толщи до дневной поверхности;

μ – коэффициент Пуассона (поперечной деформации) горной породы.

По данным геологической службы шахты выбрана наибольшая глубина проведения участка выработки и в соответствии со структурой надугольной толщи рассчитан ее средневзвешенный объемный вес, а затем, используя формулу (3.1), определены исходные вертикальные напряжения нетронутого массива.

Горизонтальные напряжения $\sigma_x = \sigma_z$ будут отличаться для каждой литологической разности ввиду разного значения коэффициента Пуассона. Учет данного обстоятельства выполнен по отработанной в МКЭ методике путем введения по вертикальным границам модели условия «симметрия». При этом расчет горизонтальных напряжений $\sigma_x = \sigma_z$ выполняется автоматически по назначенным для каждого литотипа значениям μ . Информация о коэффициенте μ взята из данных геологической службы шахты, а недостающие сведения – по результатам исследований физико-механических свойств пород Западного Донбасса, изложенных в работах [62, 63].

Таким образом, на верхней горизонтальной границе модели прикладывается равномерное рассчитанное геостатическое давление σ_y , а на вертикальных границах действуют напряжения $\sigma_x = \sigma_z$ в соответствии с формулой (3.2). Нижняя горизонтальная поверхность модели опирается на жесткое основание в соответствии с наработанными рекомендациями [64 – 67].

По обоснованным граничным условиям произведен тестовый расчет модели массива с отверстием в форме выработки под крепь КШПУ без ее установки, так как влияние крепи распространяется лишь на близлежащие приконтурные породы. Размеры тестовой модели были намеренно завышены, чтобы в ней гарантированно разместились все аномалии НДС, вызванные ведением горных работ. Кроме того, опыт выполнения вычислительных экспериментов показывает возникновение аномалий НДС в районе граничной модели, которые обусловлены приложением нагрузки и действием других граничных условий. Эти краевые эффекты исчезают при движении к выработке и, если размеры модели выбраны достаточными, то влияние краевых эффектов и выработки не накладываются друг на друга.

Исходя из вышеприведенных условий, были проведены тестовые расчеты на модели размерами: высота $y = 60$ м, ширина $x = 70$ м, толщина $z = 8$ м из расчета моделирования в дальнейшем десяти комплектов рамной крепи. Результаты тестовых расчетов показали, что вполне достаточно высоты модели $y = 40$ м, ширины $x = 40$ м, а по толщине z модели краевые эффекты распространяются менее 1,0 м в массив. Поэтому на первом этапе тестовых расчетов с некоторым запасом принято $z = 6$ м.

Строение модели горного массива полностью отвечает структуре углевмещающей толщи в районе размещения выработки и ее ориентировке относительно пласта C_6 . Для повышения достоверности расчетов в модели имитируются реальные процессы нарушения контактов по плоскостям напластований смежных литологических разностей [55, 56, 67, 68].

Перечисленные положения являются содержанием второго этапа тестовых исследований. Что касается структуры углевмещающего массива, то здесь не требуется никакого обоснования, а выполнено построение модели в соответствии с данными прогнозного геологического разреза по горным выработкам.

Более важной структурной особенностью явилось установление степени целостности контактов смежных литологических разностей, так как из работы [55] известно, что нарушение контактов между породными слоями кардинально меняет НДС окружающего выработку массива.

Методика исследований заключается в сравнении величины касательных напряжений τ_{yx} и τ_{yz} , действующих в плоскости контакта какой-либо пары смежных слоев с величиной предельно допустимых касательных напряжений $\tau_{дон}$, которые, согласно теории прочности Кулона-Мора определяются по формуле

$$\tau_{\text{дон}} = C + \sigma_y \cdot f_{mp}, \quad (3.3)$$

где C – величина сцепления по плоскости напластования слоев;

f_{mp} – коэффициент трения смежных литотипов в плоскости контакта.

Из данных горно-геологического прогноза следует, что структура близлежащих к выработке углевмещающей толщи характеризуется регулярным чередованием породного слоя (аргиллита и алевролита) с угольными пластами C_6 и C_6^1 или угольными прослоями мощностью 0,1 м. То есть, в любом из контактов участвует угольный пласт или прослой. Из работ [62, 63] известно, что в условиях Западного Донбасса сцепление угля с другими горными породами практически отсутствует. Поэтому с некоторым запасом в «минус» устойчивости массива можно положить величину сцепления, равной нулю ($c = 0$) и формула (3.3) предельно упростится. Величина коэффициента трения f_{mp} угля по аргиллиту (алевролиту) взята из исследований [69, 70] и снижена на 50% в соответствии с рекомендациями [71] по причине увлажненности либо обводненности контактов.

Используя изложенную методику, выявлена протяженность контактов, где не выполняются условия их целостности

$$\left. \begin{aligned} \tau_{yx} < \tau_{\text{дон}} \\ \tau_{yz} < \tau_{\text{дон}} \end{aligned} \right\} \quad (3.4)$$

По площади данных нарушенных контактов введено условие «среда без трения», которое моделирует режим проскальзывания смежных литотипов относительно друг друга при их деформировании. В итоге построена модель структуры массива в окрестности выработки, которая максимально адекватна реальным условиям ее поддержания.

Физико-механические свойства каждой литологической разности модели соответствуют данным горно-геологического прогноза и экспериментальным исследованиям характеристик литотипов Западного Донбасса [62, 63]. Прочностные свойства пород непосредственной и основной кровли и почвы введены в модель с учетом влагонасыщения по данным испытаний ИГТМ. Для остальных литологических разностей учет обводненности пород выполнен в соответствии с нормативными документами [71, 72], а трещиноватости и реологии так же из документов [71, 72] и исследований, представленных в работах [62, 63].

Третий этап подготовки геомеханической модели к проведению вычислительного эксперимента состоял в обосновании физико-механических свойств каждого литотипа углевмещающего массива на основе данных, полученных из вышеуказанных источников. Здесь, в первую очередь, необходимо было определиться с выбором модели состояния горной породы: упругая, упруго-пластическая, вязко-пластическая, с учетом или без учета

разупрочнения и разрыхления в запредельной стадии деформирования. Наиболее проста и надежна при выполнении расчетов (минимальное количество так называемых «отказов» вычислительного процесса) упругая модель поведения горной породы, в которой учет неупругих деформаций осуществляется путем использования модуля деформации взамен модуля упругости в линейной диаграмме связи напряжений и относительных деформаций [67]. Но, упругая модель не отражает процесс образования и влияние областей предельного и запредельного состояния породы на изменение НДС окружающего массива. Модель полной диаграммы деформирования горной породы и реологическая модель весьма сложны [73] и характеризуются низкой степенью надежности из-за постоянных «сбоев» вычислительного процесса по причинам несовершенства программного обеспечения или недостатка вычислительных ресурсов.

Выход из данной ситуации найден в компромиссном подходе с учетом конкретных горно-геологических условий проведения вычислительного эксперимента. Достаточно крепкие породы кровли способствуют локализации областей разупрочнения в небольших объемах приконтурных пород. Пропорционально этим объемам и происходит влияние на изменение НДС углевмещающего массива. Степень влияния локальных областей разупрочнения можно оценить как малосущественную в близлежащих относительно крепких породах кровли и угольного пласта. Тем не менее, состояние и этих небольших объемов нарушенных пород смоделировано условием пластического течения, что весьма характерно для глинистых пород [74]. Алевролит и аргиллит, залегающие в непосредственной и основной почве, имеют чрезвычайно низкие прочностные характеристики, как в естественновлажном, так и водонасыщенном состояниях. Поэтому, данные литотипы весьма склонны к пластическому течению. Отображение состояния пластического течения обеспечивается билинейной диаграммой деформирования горной породы, которая и использована в вычислительных экспериментах. Первый линейный участок моделирует допредельную стадию нагружения с использованием в качестве деформационной характеристики значение модуля деформации каждого литотипа. Предельные и запредельные стадии имитируются условием пластичности при постоянстве элементарного объема горной породы [74]. В итоге, данная модель поведения углевмещающего массива достаточно адекватно отражает реальные условия его деформирования и относительно стабильна в технологическом процессе проведения вычислительного эксперимента.

Принцип отображения механических характеристик горной породы следующий. В модели каждого литотипа используются такие физико-механические показатели: предел прочности при одноосном сжатии $\sigma_{сж}$, предел прочности при одноосном растяжении σ_p , модуль деформации E , коэффициент Пуассона μ и объемный вес γ . Эти сведения взяты из данных геологической службы шахты и дополнены результатами исследований

механических свойств горных пород Западного Донбасса [62, 63].

При выполнении расчетов учитывалось действие ослабляющих породу факторов: обводненности, трещиноватости и реологии путем введения поправочных коэффициентов в соответствии с действующим нормативным документом [71] и работами [53, 58, 59, 64].

Расчетное сопротивление породы сжатию R и расчетный модуль деформации $E_{расч}$ определялся по формулам [71]

$$R = \sigma_{сж} \cdot K_c \cdot K_w \cdot K_t; \quad (3.5)$$

$$E_{расч} = E \cdot K_t^2, \quad (3.6)$$

где K_c – коэффициент, учитывающий «дополнительную нарушенность массива пород поверхностями ослабления без сцепления и малой связностью»; определяется по табл. 3.1;

K_w – коэффициент, учитывающий «разупрочнение обводняемых пород в результате фильтрации по массиву воды водоносных горизонтов»; определяется по табл. 3.2;

K_t – коэффициент, учитывающий снижение механических характеристик породы при длительном нагружении; рассчитывается по формуле

$$K_t = \sqrt{1 - \frac{x}{\beta}}, \quad (3.7)$$

здесь $\frac{x}{\beta}$ – реологический показатель; определяется в соответствии с работами [62, 63] по формуле

$$\frac{x}{\beta} = 0,8 - 0,326 \lg \sigma_{сж}.$$

Таблица 3.1 – Коэффициент структурного ослабления пород

Среднее расстояние между поверхностями ослабления пород, м	K_c
Более 1,5	0,9
1,5 – 1,0	0,8
1,0 – 0,5	0,6
0,5 – 0,1	0,4
Менее 0,1	0,2

Таблица 3.2 – Коэффициент разупрочнения обводненных пород

Тип пород	K_w
Песчаники и сланцы кремнистые	0,8
Песчаники известковые и известняки	0,7
Песчаники глинистые и алевролиты	0,6
Аргиллиты и мергели	0,5
Глины	0,4 – 0,5

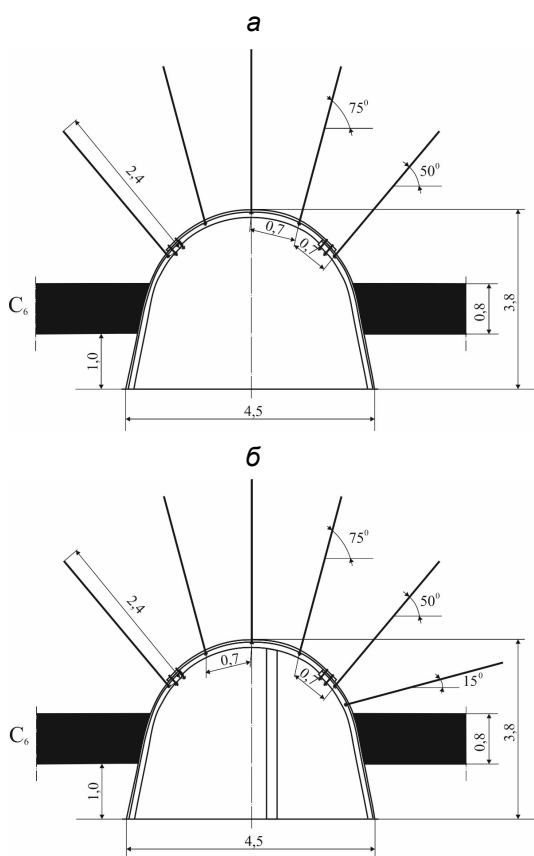


Рис. 3.1. Модели «базового» варианта схемы крепления выработки: впереди лавы вне зоны (а) опорного давления и в ней (б)

дующий состав работ.

Ориентировка выработки относительно пласта C_6 выполнена в полном

Третий этап является завершающим в комплексе тестовых расчетов по созданию геомеханической модели массива; по их итогам полностью обоснована и подготовлена к вычислительному эксперименту модель углевмещающей толщи в окрестности исследуемой выработки.

Следующим (четвертым) обязательным этапом подготовки вычислительного эксперимента является обоснование и тестирование второй составляющей общей геомеханической модели – крепежной системы выработки и условий ее взаимодействия с окружающим массивом.

Моделирование базовой схемы крепления (рис. 3.1) выполнено в полном соответствии с паспортом проведения выработки. Механические характеристики крепежных материалов взяты из работ [16, 19].

Для наиболее достоверного отражения работы крепежной системы использованы методические разработки [57 58, 75, 76].

Исследования четвертого этапа по обоснованию геомеханической модели включали сле-

соответствии с технической документацией на ее проведение. Поперечное сечение выработки ориентировано по простиранию пласта, продольное сечение – по его падению. Воспроизведена комбинированная подрывка непосредственной кровли и почвы пласта C_6 . По контуру рамной крепи с межрамным ограждением, а также породного контура с межрамным ограждением действуют нормальные и касательные усилия.

Таким образом, полностью отражены реальные геометрические параметры, в том числе, воспроизведено поперечное сечение СВП. Для этого сетка покрытия СВП конечными элементами имела масштаб, отличающийся, на два и более порядка от масштаба покрытия горного массива, что обеспечивает высокую точность определения компонент напряжений в рамной крепи. Моделирование узлов податливости рамы осуществлено по рекомендациям [75], сущность которых сводится к следующему. Точное отражение конструкции замка податливости в модели крепи КШПУ не вызывает принципиальных затруднений. Однако, из-за конструктивных несовершенств геометрического порядка верхняк рамы имеет локальные участки контакта со стойкой, особенно, в режиме податливости крепи, когда площадь этих контактов произвольным образом меняется. При этом возникает некоторая статическая неуравновешенность конструкции с увеличением степени свободы перемещения сопряжения стойки с верхняком в любом направлении. Из-за несоответствия этих перемещений шагу приращений напряжений и деформаций в конечно-элементной сетке рамы стабильно возникают «отказы» вычислительной системы. Для устранения указанных недостатков в данной модели рамной крепи КШПУ использован имитатор узла податливости в виде участка СВП с неизменной геометрией поперечного сечения, но с другим пределом текучести материала по сравнению со сталью Ст.5, из которой обычно изготавливается спецпрофиль СВП. По длине замка податливости механические свойства стали СВП остаются неизменными за исключением величины ее предела текучести. Таким образом, достигнуто полное соответствие конструктивной податливости реальной рамы и модели без искажения сущности процесса.

Что касается механических характеристик материала рамной крепи, то профиль СВП изготавливается из стали Ст.5 и ее механические характеристики введены в модель согласно данным [19]. Поскольку нередко наблюдается пластический изгиб верхняка или стоек рамы, то для его отображения использована упруго-пластическая модель поведения стали, диаграмма деформирования которой, при переходе на площадку текучести, весьма достоверно отображается условием идеальной пластичности, что использовано при проведении вычислительного эксперимента.

Для моделирования сталеполимерных и канатных анкеров использована еще более мелкая конечно-элементная сетка, чем для рамной крепи. Это обусловлено конструктивными особенностями сталеполимерного и канатного анкеров, которые полностью отображены в модели. Несущий стержень с механическими характеристиками согласно данным [16], а быстротвердею-

щий полимерный состав с механическими характеристиками согласно технической документации завода-изготовителя с дополнениями из сведений работы [74]; опорная плита с натяжной гайкой со свойствами стали Ст.3.

Параметры установки анкеров взяты из технической документации на поддержание выработки, а на новом (экспериментальном) участке – согласно усовершенствованной крепежной системе. В обоих вариантах анкера устанавливаются посередине длины межрамного пространства.

С точки зрения отображения реального режима работы сталеполимерных и канатных анкеров, то анализ горнотехнической литературы и опыт эксплуатации выработок с анкерной крепью указывает на ее достаточно жесткую деформационно-силовую характеристику. Это означает, что анкеры не допускают сколь-нибудь существенного удлинения или скольжения относительно породных стенок шпура по причине высокой адгезии полимера с породой или металлом.

Поэтому, наиболее объективно моделирование жесткого контакта арматуры анкера с породными стенками шпура, что и осуществлено при проведении вычислительного эксперимента.

По изложенным данным смоделирована работа крепежной системы в целом и проведен тестовый расчет, преследовавший две цели.

Первая – выявление каких-либо принципиальных противоречий в сравнении с результатами современных исследований геомеханических процессов в окрестности пластовой выработки. Результаты тестирования подтверждают существующие представления о процессах сдвижения углевмещающего массива вокруг выработки вне зоны влияния очистных работ.

Вторая – обосновать толщину модели (по координате Z) с учетом установки рамной крепи и анкеров. При этом выявлено, что искажения НДС модели вблизи ее вертикальных границ (по плоскостям YX) происходит не глубже как до второй рамы, начиная от граничной плоскости. Тогда, все последующие рамы будут достаточно объективно отображать характер их НДС. Принято решение о моделировании в продольном сечении выработки пяти комплектов рам и шести рядов анкерной крепи. Центральная рама и соседние ряды анкеров находились вне зоны влияния приграничных аномалий НДС модели. Таким образом, реализованы все положения, предусмотренные планом исследований крепежной системы.

Кроме того, выполнение поставленных задач потребовало изменения параметров геомеханической модели по сравнению с участком поддержания выемочной выработки вне зоны влияния очистных работ. С одной стороны, изменяется напряженное состояние окружающего горного массива по сравнению с таковым на участке вне зоны влияния очистных работ – появляются аномалии горного давления вокруг выемочной выработки, обусловленные очистными работами. Учет влияния очистных работ (на участке подхода лавы) при обосновании геомеханических и построенных моделей выемочной выработки осуществлен исходя из следующих положений.

Первое – опорная зона впереди лавы характеризуется повышенными вертикальными напряжениями σ_y в углевмещающем массиве, концентрация которых усиливается по мере приближения к угольному пласту [51, 77 – 85]. При этом возникает вопрос – какую величину концентрации σ_y задавать в качестве граничного условия при построении и расчете геомеханических моделей.

Второе – области опорного давления по бокам выемочной выработки также характеризуются концентрацией σ_y , увеличивающейся по мере приближения к выработке и угольному пласту, но величина σ_y разная для левого и правого бортов выработки и отличается в зоне опорного давления впереди лавы. Здесь присутствует тот же вопрос относительно концентрации σ_y , используемой в модели.

Следовательно, необходимо согласовать указанные аномальные области для наиболее адекватного и достоверного отражения влияния очистных работ в модели. Это согласование произведено на основе анализа поля σ_y в работе [55] по следующим условиям:

– *во-первых*, области с одинаковым коэффициентом концентрации

$$k = \frac{\sigma_y}{\gamma H}$$

равную высоту в зоне опорного давления впереди лавы и областей опорного давления в боках выработки;

– *во-вторых*, высота (по координате Y) распространения коэффициента концентрации должна превышать суммарную мощность слоев основной кровли, формирующих нагрузку, как на концевые секции механизированной крепи, так и на крепежную систему выемочной выработки, что не вносит изменений в их НДС.

Одновременное выполнение указанных условий достигается в базовой модели на высоте 18,5 – 18,9 м от угольного пласта, где действует коэффициент концентрации $k = 1,8 – 2,1$. По данным параметрам обоснованы граничные условия нагружения модели: на верхней границе модели, проходящей по контакту алевролита и песчаника на высоте 18,95 м, действуют начальные вертикальные напряжения $\sigma_y = 2\gamma H$; остальные граничные условия остаются без изменений.

Другая сторона изменений геомеханической модели касается введения дополнительных крепежных элементов:

– впереди очистного забоя на расстоянии не меньше 20 м устанавливаются центральные деревянные стойки крепи усиления под верхняк рамы с некоторым смещением в сторону рабочего борта выработки;

– в районе замка податливости рамы устанавливается дополнительный анкер длиной 2,4 м под углом 10 – 20° к горизонтали. Этот анкер предназна-

чен для поддержания кровли непосредственно над бермой штрека после прохода лавы.

3.2. АНАЛИЗ ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ В ПРИКОНТУРНЫХ ПОРОДАХ ВЫЕМОЧНОЙ ВЫРАБОТКИ В ЗОНЕ ОПОРНОГО ДАВЛЕНИЯ ВПЕРЕДИ ЛАВЫ

Анализ интенсивности напряжений выполнен отдельно для породного массива вокруг выемочной выработки и для ее крепежной системы, что способствует более детальному и точному изучению полей напряжений.

Приняты во внимание существенные изменения полей напряжений при приближении лавы к рассматриваемому сечению выемочной выработки. Участок длины выработки, где действует опорное давление от приближающейся лавы, относительно невелик, а мероприятия по усилению крепежной системы проводятся на участке – не менее 20 м. При стабильной работе лавы это расстояние она проходит за 4 – 7 сут. В течение этого времени реологические процессы находятся в начальной стадии. Но, учитывая повышенную напряженность массива, смоделированы три состояния при разном расстоянии до лавы: в начале зоны опорного давления (коэффициент концентрации 1,1); посередине участка опорного давления ($k = 1,65$); вблизи очистного забоя ($k = 2,0$).

Основной результирующей компонентой оценки состояния близлежащего к выработке породного массива является интенсивность напряжений σ .

В начале зоны опорного давления эпюра σ характеризуется небольшой асимметрией распределения (относительно вертикальной оси выработки) в сторону приближающейся лавы. Зоны разгрузки затрагивают первые слои основной кровли и почвы с уровнем действующих напряжений $\sigma = 1 - 3$ МПа. В боках выработки концентрация $\sigma = 14 - 17$ МПа имеет весьма ограниченное распространение до 0,4 м, а ширина действия $\sigma = 10 - 13$ МПа не превышает 1,9 м в верхней части непосредственной почвы. Также невысокая концентрация $\sigma = 10 - 14$ МПа действует под опорами стоек рамной крепи. Приведенные данные указывают на слабое влияние зоны опорного давления в начальной период его воздействия, что вполне согласуется с экспериментальными исследованиями по замеру перемещений породного контура выемочной выработки.

По мере подхода лавы к рассматриваемому сечению выработки ее влияние усиливается:

– степень разгрузки σ в кровле и почве снижается и локализуется в небольших областях, а в остальных объемах пород величина $\sigma = 5 - 7$ МПа уже несколько превышает исходное состояние массива;

– в боках выработки усиливается асимметрия распределения σ : если со стороны смежного выемочного участка величина напряжений $\sigma = 11 - 12$ МПа распространяется на высоту до 13 – 16 м и ширину до 7 – 8 м, то со стороны подошедшей лавы такие напряжения доходят до границ модели;

– в приконтурных боковых породах на всю высоту выработки и под опорами стоек рамы действуют разрушающие концентрации $\sigma = 20 - 70$ МПа, распространяющиеся по ширине до 2,1 м.

Таким образом, отмечается достаточно неустойчивое состояние приконтурных пород в боках выемочной выработки, занимающих существенный объем и по этой причине способных создавать повышенную боковую нагрузку на крепежную систему. Обращает внимание активное расслоение приконтурных пород почвы на глубину до 0,8 м, что провоцирует ее пучение.

3.3. ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ БАЗОВОЙ КРЕПЕЖНОЙ СИСТЕМЫ В ЗОНЕ ОПОРНОГО ДАВЛЕНИЯ ВПЕРЕДИ ЛАВЫ

Цель настоящего подраздела состоит в оценке НДС крепежной системы выемочной выработки на участке, попадающем в переднюю часть зоны опорного давления. Анализ компонент напряжений выполнен в каждом грузонесущем элементе: рамной крепи, анкерах и центральных стойках крепи усиления.

Итоговой компонентой, подвергнутой исследованию в крепежной системе выемочной выработки, являются интенсивность напряжений σ .

В начале зоны опорного давления впереди лавы поле σ в элементах крепежной системы характеризуется следующими особенностями. В рамной крепи (как и на участке вне зоны влияния очистных работ) наиболее нагруженными являются стойки. Верхняя рама, благодаря опорно-анкерному креплению и стойке крепи усиления, находится в относительно разгруженном состоянии:

– в центральной части свода σ составляют всего 52 – 70% от предела текучести стали Ст.5;

– в районе пяты свода напряжения увеличиваются до $\sigma = 200 - 260$ МПа и приближаются к предельному состоянию;

– в локальной области контакта центральной стойки крепи усиления с верхняком действуют концентрации $\sigma = 180 - 250$ МПа, которые в дальнейшем приводят к активному изгибу верхняка с потерей его первоначальной формы.

В стойках рамы, особенно по длине прямолинейной части $\sigma = 260 - 300$ МПа вызывают пластическое состояние (или близкое к нему) их материала. Характер распределения σ по сечению СВП указывает на участки активного изгиба стоек:

- в полость выработки на высоте 1,8 – 2,2 м;
- в сторону боковых пород на высоте 1,4 – 1,7 м;
- в полость выработки на высоте 0,7 – 1,3 м;
- в сторону боковых пород в районе опоры стойки на высоте до 0,3 – 0,5 м.

Такой знакопеременный изгиб вызывает потерю устойчивости стойки рамы и требует ее усиления.

Центральная стойка крепи усиления характеризуется достаточно равномерным распределением σ по длине и в поперечном сечении; уровень $\sigma = 20 - 40$ МПа указывает на ее устойчивость в целом, но верхняя граница σ уже достигает предела прочности на сжатие сосны вдоль волокон.

Анкера в системе опорно-анкерного крепления пока не испытывают значительной нагрузки ($\sigma = 50 - 90$ МПа) по большей части своей длины и только на ближних к контуру выработки участках $\sigma = 110 - 140$ МПа. Исключение составляет дополнительный анкер со стороны лавы, где максимумы $\sigma = 180 - 210$ МПа уже приближаются к расчетному пределу текучести арматуры анкера.

При подходе лавы (вблизи очистного забоя) наблюдаются следующие закономерности изменения интенсивности напряжений в крепежной системе выемочной выработки. Верхняя раменная крепь выполаживается с появлением предельного состояния ($\sigma = 260 - 290$ МПа) в верхней части поперечного сечения СВП, а в области контакта с центральной стойкой крепи усиления пластические деформации развиваются еще более интенсивно ($\sigma \geq 290$ МПа), что вызывает перегиб верхняка и еще раз указывает на отрицательное воздействие установки жестких центральных стоек крепи усиления.

Стойки рамной крепи практически по всей своей длине переходят в пластическое состояние и требуют усиления в боковом направлении.

Интенсивность напряжений в центральной стойке крепи усиления изменяются не столь существенно, однако в ее верхней части, где наблюдается максимальный изгиб верхняка, появляются локальные области с разрушающими напряжениями $\sigma = 45 - 55$ МПа. Обеспечение конструктивной податливости центральным стойкам крепи усиления позволило бы выполнить две позитивные функции: снизить напряжения и деформации изгиба в самих стойках и одновременно ограничит пластические деформации в верхняке рамы и его перегиб в области контакта со стойкой крепи усиления.

В анкерах опорно-анкерной крепи, особенно периферийных, происходит увеличение σ до значений 200 – 260 МПа на примыкающих к выработке участках их длины. В дополнительном анкере действуют повышенные напряжения (до 290 МПа) на более протяженном участке его длины. Эпюра интенсивности напряжений σ в анкерах (вблизи очистного забоя) указывает на практически полную загрузку периферийных анкеров, а наименее нагруженным является центральный вертикальный анкер опорно-анкерного крепления.

3.4. ИНТЕНСИВНОСТЬ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИКОНТУРНЫХ ПОРОД В ЗОНАХ НАЧАЛА СОПРОТИВЛЕНИЯ ОХРАННОЙ ПОЛОСЫ И СТАБИЛИЗАЦИИ ПРОЯВЛЕНИЯ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ

После прохода первой лавы рассмотрено изменение поля интенсивности напряжений σ от участка начала работы охранной системы до участка стабилизации проявлений горного давления.

После возведения охранной системы она, как более жесткий элемент, начинает воспринимать повышенную нагрузку со стороны опускающихся породных слоев кровли и передавать ее на берму выработки с формированием соответствующих концентраций σ в породах непосредственной кровли и почвы. В непосредственной кровле над охранной системой концентрации разрушающих напряжений $\sigma = 30 - 80$ МПа действуют только в локальных областях над более жесткими рядами деревянных стоек. Эти очаги σ_{max} пока не представляют существенной опасности, так как за их пределами величина $\sigma = 18 - 23$ МПа еще не превысила сопротивление породы сжатию.

При возрастании проявлений горного давления в указанных областях начинается разрушение непосредственной кровли с развитием повышенных вертикальных нагрузок на крепежную систему. Механизм протекания этого процесса обусловлен увеличением податливости разупрочненного объема пород над охранной системой. Следовательно, опускающиеся слои основной кровли будут преимущественно нагружать крепежную систему. Поэтому важно ограничить объемы разупрочнения непосредственной кровли над ближней к выработке частью охранной системы, а основную нагрузку перенести в глубь выработанного пространства.

Аналогичные процессы происходят в породах непосредственной почвы под охранной системой. Здесь концентрации $\sigma = 30 - 50$ МПа пока имеют еще более ограниченное распространение, но возникает ряд очагов в районе стоек рам, которые впоследствии сформируют повышенную боковую нагрузку. То есть, целесообразно разгрузить приконтурные породы бермы опять-таки с помощью введения переменной жесткости в конструкцию охранной системы.

Со стороны нетронутого массива локальные области опасных концентраций образуются только в приконтурных породах непосредственной почвы по высоте ее подрывки. И здесь существует перспектива роста боковой нагрузки на стойки рамной крепи.

Указанные предположения подтверждаются расчетом поля σ в близлежащем массиве на участке стабилизации проявлений горного давления после прохода лавы. Действительно, происходит расширение зон опорного давления с увеличением концентраций σ уровня 30 – 49 МПа. Так, со сто-

роны нетроннутого массива отмеченная концентрация σ распространяется по всей высоте подрывки почвы и ниже опор стоек рамы и в бока на расстояние до 0,8 – 1,0 м. Здесь однозначно будет происходить разрушение даже необводненной породы с образованием повышенной боковой нагрузки на стойки рамной крепи. В породах непосредственной кровли и почвы в районе размещения охранной системы указанные выше разрушающие концентрации σ многократно расширяют область своего действия. Например, в кровле ширина зоны разупрочнения достигает 2,0 – 2,2 м, а высота – 1,2 – 1,4 м. Разупрочненная порода частично «обыгрывает» охранную систему, проникая в имеющиеся полости и пустоты. Реакция на породные слои основной кровли снижается, а при их опускании усиливается горное давление на крепежную систему. В породах непосредственной почвы по всей высоте бермы на ширину до 1,8 – 2,0 м происходит ее разрушение с перемещением в полость выработки и деформированием стоек рам.

3.5. АНАЛИЗ ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ В БАЗОВОЙ КРЕПЕЖНОЙ И ОХРАННОЙ СИСТЕМАХ ПОЗАДИ ЛАВЫ

После прохода лавы и возведения охранной системы поле распределения интенсивности напряжений в крепежной системе отчасти меняется по сравнению с участком опорного давления впереди лавы, сохраняя общие черты (рис. 3.2).

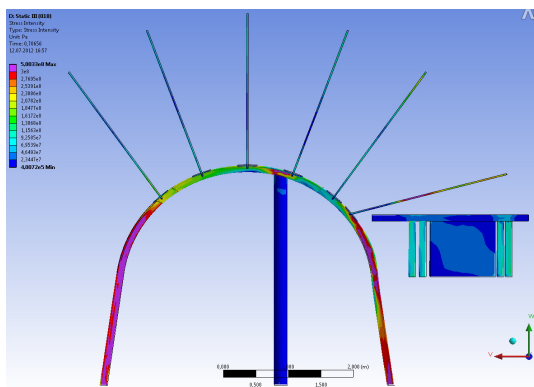


Рис. 3.2. Эпюра интенсивности напряжений σ в базовой крепежной и охранной системах в начальный период ее сопротивления

регулярным изменением знака кривизны: в полость выработки на уровне извлеченного угольного пласта; в сторону массива по высоте бермы и в районе опоры стойки.

Верхняя рама остается наименее нагруженной с образованием пластического контакта со стойкой крепи усиления. Относительная равномерность распределения σ в стойках рамы нарушается появлением деформаций изгиба:

- со стороны нетроннутого массива изгиб стоек рамы менее интенсивен и направлен в полость выработки в центральной части, а в опоре стойки – в сторону массива;

- со стороны выработанного пространства происходит более активный изгиб стойки рамы с

Напряжения σ в центральной стойке крепи усиления достаточно равномерны и остаются на прежнем уровне ($\sigma = 20 - 40$ МПа) по сравнению с зоной опорного давления впереди лавы.

Среди анкеров наиболее загруженным является дополнительный анкер, устанавливаемый в кровле над охранной конструкцией; в его арматуре интенсивность напряжения превышает предел текучести σ_T стали на среднем участке длины, а на заглубленном участке приближаются или равны σ_T . Это объясняется высокой интенсивностью напряжений и перемещений в области опорного давления над охранной конструкцией.

Остальные анкера находятся в упругом состоянии. Наиболее нагруженными являются периферийные анкера, где на заглубленных участках и близких к контуру выработки, величина σ приближается к пределу текучести стали арматуры. Такая особенность распределения σ по длине анкеров соответствует сложившимся представлениям о механизме работы сталеполномерных анкеров и указывает на процесс их смещения в полость выработки совместно с упрочняемыми породами непосредственной кровли, которые расслаиваются более интенсивно в приконтурной части выработки и менее интенсивно – в заглубленной части длины анкеров. Также следует, что активные смещения пород кровли выходят за пределы длины анкеров в 2,4 м: состояние кровли со стороны лавы (особенно, над охранной конструкцией) требует не только более густой сетки армирования, но и его более глубокого распространения.

Один из вариантов технологического решения данной проблемы – установка канатных анкеров, которые могут выполнять функцию более глубокого упрочнения пород кровли, ограничивая ее расслоение. Если разместить два канатных анкера (с шагом $L = 1,6 - 2,0$ м) в поперечном сечении симметрично по 0,8 – 1,0 м от вертикальной оси выработки под углом 70 – 80° к горизонтали, то они упрочняют объем кровли на ширину до 7,5 – 8,0 м. Данной ширины зоны упрочнения недостаточно для полного перекрытия области опорного давления над охранной конструкцией, но повышенная устойчивость породных консолей этого и не требует по причине ограничения размеров зоны предельного состояния.

В охранной конструкции в достаточно устойчивом состоянии при небольшом смятии древесины находится только накатный костер и брусья перекрытия. Все деревянные стойки испытывают напряжения σ , в 1,5 – 3 раза превышающие их сопротивление сжатию. По этой причине они активно деформируются, а процесс вдавливания в породы почвы и кровли определенным образом предохраняет стойки от полного разрушения.

При дальнейшей эксплуатации выработки в зоне стабилизации проявлений горного давления наблюдается ряд изменений в поле интенсивности напряжений σ (рис. 3.3) с общей тенденцией некоторого усиления нагруженности крепежной и охранной систем. Это касается следующих грузонесущих элементов. В стойке рамы со стороны выработанного пространства

на высоте до 0,7 м от почвы увеличиваются до 10 – 15% напряжения σ и соответствующие размеры области однозначных пластических деформаций ($\sigma \geq 300$ МПа). Наиболее существенно растет нагрузка на центральную стойку крепи усиления, которая практически по всему своему объему находится в предельном или близком к нему состояниях. Также значительно увеличиваются σ в двух периферийных анкерах опорно-анкерной крепи и, особенно в дополнительном анкере со стороны выработанного пространства.

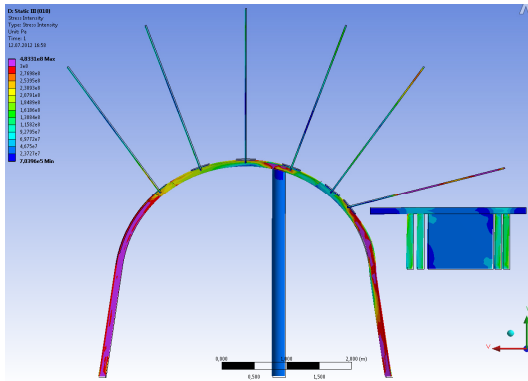


Рис. 3.3. Эпюра интенсивности напряжений σ в базовой крепежной и охранной системах в зоне стабилизации проявлений горного давления

вдавливанию в породы почвы и кровли накатный костер продолжает выполнять функции опорной части охранной системы, но при этом уменьшается ее высота и, как следствие, – высота выемочной выработки;

– во всех деревянных стойках и без того высокие напряжения σ увеличиваются на 10 – 20% и способны их разрушить, несмотря на действие других факторов.

Таким образом, установлена тенденция длительного развития опускания пород кровли со стороны выработанного пространства, следствием которой является рост нагруженности охранной системы, пород бермы и стоек рамы, а также центральных стоек крепи усиления и анкеров со стороны выработанного пространства. Остальные грузонесущие элементы крепежной системы (центральные анкера в своде, верхняя рама и ее стойка со стороны нетронутого массива) практически не меняют свое напряженное состояние спустя длительный период после прохода лавы.

Это еще раз подчеркивает целесообразность усиленного упрочнения объема пород кровли над охранной системой, подвижки которого происходят достаточно длительный период. На это указывает также рост нагрузки во всех элементах охранной конструкции:

– в накатанном костре напряжения σ практически по всему объему близки или равны сопротивлению сосны сжатию, а в угловых частях заметно превышают его; однако, за счет смятия древесины, низкого отношения высоты костра к остальным его размерам (меньше единицы),

ВЫВОДЫ

В целом, по результатам исследований эффективности базовой крепежной и охранной систем сформулированы следующие выводы:

1. Наибольшую опасность устойчивости крепежной системе несут стойки рамы, особенно, со стороны выработанного пространства – они пластически деформируются по всей длине; верхняя рама выполаживается с изгибом в полость выработки в центральной части и появлением предельного состояния ($\sigma = 260 - 290$ МПа) в верхней части СВП, а в области контакта с центральной стойкой крепи усиления пластические деформации развиваются еще более интенсивно ($\sigma \geq 290$ МПа); среди анкеров наиболее загруженным является дополнительный анкер, размещенный в кровле выработки над охранной полосой и отчасти периферийные анкера, а центральные анкера в своде выработки не догружены; центральные стойки крепи усиления (деревянные) по всему своему объему находятся в предельном состоянии, а на контакте с верхняком рамы – в запредельном состоянии.

2. Особенность распределения σ по длине анкеров соответствует сложившимся представлениям о механизме работы сталеполлимерных анкеров и указывает на процесс их смещения в полость выработки совместно с упрочняемыми породами кровли, которые расслаиваются более интенсивно в приконтурной части выработки и менее интенсивно – в заглубленной части длины анкеров. Также следует, что активные смещения пород кровли выходят за пределы длины анкеров в 2,4 м: состояние кровли со стороны лавы (особенно, над охранной конструкцией) требует не только более густой сетки армирования, но и его более глубокого распространения. Один из вариантов технологического решения данной проблемы – установка канатных анкеров, которые одновременно могут выполнять функцию более глубокого упрочнения пород кровли, ограничивая ее расслоение. Так, если разместить два канатных анкера (с шагом $L = 1,6 - 2,0$ м, то есть, через две рамы по длине выработки) в поперечном сечении симметрично по 0,8 – 1,0 м от вертикальной оси выработки под углом 70 – 80° к горизонтали, то они упрочняют объем кровли на ширину до 7,5 – 8,0 м, что достаточно для повышения устойчивости породных консолей и ограничения размеров зоны предельного состояния пород.

4. ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ГРУЗОНЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ВЫЕМОЧНОЙ ВЫРАБОТКИ «МАССИВ – РАМА – КОМБИНИРОВАННАЯ АНКЕРНАЯ СИСТЕМА»

4.1. НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВМЕЩАЮЩИХ ВЫРАБОТКУ ПОРОД НА УЧАСТЕ СТАБИЛИЗАЦИИ ПРОЯВЛЕНИЙ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ

Проведенные многовариантные вычислительные эксперименты достаточно обширны, что не позволяет поместить все полученные эпюры в рамки настоящей работы. Поэтому выбран один из вариантов комбинированных анкерных систем (два сталеполимерных анкера в центральной части свода и два канатных анкера в его периферийной части), который сравнивается с традиционной схемой поддержания выемочного штрека, например, для условий отработки пласта C_6 .

Для данного варианта изложены результаты сравнительного анализа по распределению трех основных компонент напряжений (вертикальных σ_y , горизонтальных σ_x и интенсивности напряжений σ) в массиве и крепежной системе; но, во главу угла положены особенности эпюры распределения интенсивности напряжений σ , как обобщающей характеристики напряженно-го состояния любого горнотехнического объекта.

Анализ эпюры интенсивности напряжений в окружающем выработку массиве при использовании комбинированной анкерной системы взамен базовой показал ряд изменений в состоянии близлежащих пород.

В кровле выемочного штрека образуется зона разгрузки σ , отличающаяся от таковой для базовой схемы крепления по своей форме и размерам. Во-первых, разгрузка практически не затрагивает породы непосредственной кровли. Со стороны выработанного пространства образуется локальная область с величиной σ , соответствующей состоянию нетронутого массива. Над центральной частью свода в породах возникает область с концентрацией σ уровня 1,6 – 2,0 от начального состояния нетронутого массива. По абсолютной величине эта концентрация σ не представляет опасности, так как в 3,0 – 3,8 раза ниже сопротивления сжатию песчаника непосредственной кровли. На данный факт необходимо обратить внимание по следующей причине. Обычно, в том числе и в базовой схеме крепления, в непосредственной кровле над выработкой образуется зона разгрузки, где пониженные σ характеризуют прогиб породного слоя в выработку с соответствующими его горизонтальными подвижками. Если породный слой целостный, то его

горизонтальные подвижки не снижают сопротивления вертикальному горному давлению. Как правило, непосредственная кровля разбита трещинами разрыва на породные блоки и если породные блоки выйдут из контакта друг с другом, то при их прогибе распорной конструкции не образуется, а породные блоки обрушаются на рамную крепь [11, 15, 72]. При наличии горизонтального распора породные блоки сопротивляются вертикальному горному давлению, а именно небольшая концентрация σ указывает на повышенный горизонтальный распор породных блоков. Описанное состояние непосредственной кровли сформировалось благодаря ее соединению с основной кровлей посредством канатных анкеров, – образуется весьма мощная армопородная плита высокой несущей способности.

Во-вторых, характер распределения σ в первом слое основной кровли (представленном мощным алевролитом) указывает на возможность частично независимого прогиба основной и непосредственной кровли с некоторыми горизонтальными подвижками относительно друг друга благодаря ограниченной податливости каната за счет его удлинения при растяжении. Возможность горизонтальных перемещений относительно друг друга слоев непосредственной и основной кровли способствует появлению в последней локальной области разгрузки размерами в плоскости сечения $0,7 \times 1,0$ м. Уровень разгрузки составляет $0,4 - 0,8$ от величины начального состояния нетронутого массива. Это указывает на сохранение части горизонтального распора в пределах этой локальной области, выше которой состояние алевролита переходит в исходное начальное. На половине мощности породного слоя основной кровли действует концентрация σ уровня $1,2 - 2,0$. Данная концентрация характеризует действие распорных усилий при сопротивлении прогибу нижнего слоя основной кровли, а абсолютные значения σ в $1,75 - 2,91$ раза ниже сопротивления сжатию алевролита.

Таким образом, можно сделать следующий вывод: абсолютной жесткости армопородной плиты из основной и непосредственной кровли добиться не удалось. Но этого и не требуется по причине их совместного и активного сопротивления горному давлению в пределах напряжений σ , весьма далеких от разрушающих значений. В то же время, в базовой схеме крепления зона разгрузки проходит через всю мощность непосредственной кровли с весьма вероятным ее обрушением.

Негативным обстоятельством является появление участка разупрочненных пород на глубину до $0,15 - 0,20$ м в приконтурной области со стороны нетронутого массива. Однако, это не может существенно повлиять на сопротивление непосредственной кровли горному давлению. Концентрация σ лишь раз подчеркивает активное вовлечение пород непосредственной кровли в противодействие процессам сдвижения надугольной толщи.

В прилегающих боковых породах со стороны нетронутого массива наблюдается еще одна особенность в распределении интенсивности напряжений – пониженные σ в сравнении с базовым вариантом крепления. Так, концентрация σ составляет $1,6 - 2,0$ на ширину в массив до $2,1$ м, которая многократно

меньше сопротивления сжатию, как пород непосредственной кровли, так и угольного пласта; в слабых породах непосредственной почвы такая концентрация вызывает их разупрочнение и способствует интенсификации процесса пучения.

Если сравнивать боковое опорное давление при использовании комбинированной анкерной системы, то оно в 2 – 3 раза ниже по отношению к базовому варианту крепления. Очевидно, это происходит потому, что сформированная армопородная плита в кровле имеет повышенную площадь опоры на боковые породы; тогда их напряженность снижается. Более высокие концентрации σ наблюдаются только в приконтурных породах на ширину до 0,3 – 0,7 м, но ни для пород непосредственной кровли, ни для угольного пласта они не представляют опасности в плане разупрочнения.

Со стороны выработанного пространства над и под охранной конструкцией формируются высокие концентрации напряжений что обусловлено относительно небольшой площадью опоры в виде охранной системы, которая провоцирует разупрочнение определенных объемов пород непосредственной кровли и почвы.

Повышенная крепость пород непосредственной кровли ограничивает область разупрочнения. На контакте с охранной конструкцией разупрочнение прогнозируется по всей ее ширине, а на границе с основной кровлей ширина разупрочнения пород не превышает 0,3 м. В породах непосредственной почвы глубина разупрочнения достигает 6,5 м при ширине до 3,1 м, что, безусловно, генерирует активное сдвижение пород почвы пласта в полость выработки.

Из приведенных сведений следует, что для повышения жесткости опоры со стороны выработанного пространства необходимо ограничение области разупрочнения над и под охранной конструкцией. Но, это представляет уже другую, отдельную задачу, которая рассмотрена в работе [80]. Здесь же отметим, что по ширине влияния канатного анкера (со стороны выработанного пространства) в примыкающих к выработке породах непосредственной кровли концентрация напряжений не разрушающая, как и в нижнем слое основной кровли. Прогнозируется целостность армопородной плиты, формируемой комбинированной анкерной системой. Следовательно, эта плита будет активно противодействовать вертикальному горному давлению.

В слабых породах почвы выемочной выработки по ее ширине образуется зона разгрузки, распространяющаяся по глубине до 5,5 м. В угловых частях выработки действуют разрушающие напряжения в обширных областях пород почвы. Данные области будут способствовать перемещению пород в зону разгрузки и далее в выработку. Поэтому можно прогнозировать достаточно интенсивное пучение пород почвы штрека. Здесь влияние комбинированной анкерной системы прослеживается в меньшей степени. Основным фактором пучения является весьма низкая крепость пород почвы. Тем не менее, размеры областей разупрочнения в почве заметно ниже, чем при базовом варианте крепления и главной причиной тому является не интен-

сивное опорное давление в боках выемочной выработки.

Подводя итоги особенностям распределения интенсивности напряжений в близлежащем породном массиве, следует отметить позитивное влияние комбинированной анкерной системы на состояние пород кровли, где формируется армопородная плита достаточно высокой устойчивости. Под ее защитой прогнозируется удовлетворительное состояние выемочной выработки.

Позитивные особенности, подчеркивающие процесс формирования армопородной плиты в кровле с помощью комбинированной анкерной системы, достаточно четко проявляются на эпюре горизонтальных напряжений σ_x . Область их концентраций распространяется по всей ширине свода и мощности непосредственной кровли. Величина $\sigma_x \leq 18 - 25$ МПа и высока в сравнении с исходным состоянием нетронутого массива (коэффициент концентрации $k_x = 5,2 - 7,3$). Разупрочнения пород непосредственной кровли это не вызывает. Повышенные горизонтальные сжимающие напряжения действуют по всей мощности слоя, создавая такой распор в породных блоках непосредственной кровли, который не допускает существенных ее прогибов в полость выработки. В боковых частях (по отношению к выработке) непосредственной кровли также имеет место относительно неоднородное поле распределения сжимающих σ_x по ее мощности, – здесь, опять-таки, происходит распор породных блоков. В результате распорная блочная система в непосредственной кровле не только устойчива, но и активно сопротивляется нагрузке со стороны основной кровли.

В породных слоях основной кровли наблюдается изгиб по мощности каждого литотипа. Со стороны выработанного пространства изменение знака кривизны слоев фиксирует направление поверхности полных сдвижений (опускание блоков основной кровли на обрушенные породы непосредственной) в соответствии с существующими представлениями о процессах сдвижения надугольной толщи при очистной выемке [29, 86]. Начало этой поверхности находится за пределами ширины охранной системы и удалено в сторону выработанного пространства на расстояние 2,5 – 3,0 м. В данной области прослеживается изгиб породных слоев основной кровли с появлением небольших растягивающих σ_x до 1,0 – 2,5 МПа в верхней части каждого слоя. Растяжение ограничено и составляет 5 – 10% от мощности слоев. Следовательно, вероятность развития трещин разрыва в слоях основной кровли также ограничена. По остальной мощности слоев действуют сжимающие напряжения, обеспечивающие их устойчивое состояние за счет распора. В большей части областей основной кровли напряжение изменяется в диапазоне, близком к начальному состоянию нетронутого массива, и меньшим величины сопротивления литотипов сжатию.

Таким образом, по фактору распределения компоненты σ_x в породах кровли прогнозируется их устойчивое состояние; особенно это касается

непосредственной кровли, где комбинированная анкерная система создает высокие усилия распора между породными блоками, связывает их с породами основной кровли и обеспечивает, тем самым, достаточное сопротивление вертикальному горному давлению.

Образованная армопородная плита в кровле имеет расширенную площадь опоры на породы в боках выработки. Об этом свидетельствует практически однородное поле напряжений σ_x за исключением локальных участков приконтурных пород на ширину до 0,8 м. В базовом варианте аномалии горизонтальных напряжений распространяются на 4,0 – 4,5 м в боку выработки.

Со стороны выработанного пространства в породах непосредственной почвы (по глубине нижней подрывки штрека) возмущения горизонтальных напряжений не столь развиты, как в базовом варианте крепления и в большей части данной области имеют небольшие отклонения от начального состояния нетронутого массива. Здесь можно предположить пониженное боковое опорное давление за счет того, что опускающиеся в выработанное пространство породные блоки основной кровли имеют определенный распор с породными слоями над выработкой и за счет него сохраняют часть несущей способности по противодействию вертикальному горному давлению.

В области пород почвы непосредственно под выработкой аномалии напряжений также не столь велики, но имеется область растяжения глубиной до 0,6 м, где происходит расслоение и перемещение пород в выработку.

По результатам анализа поля распределения горизонтальных напряжений можно подтвердить ранее сделанный вывод о том, что комбинированная анкерная система способствует созданию достаточных усилий распора для сохранения устойчивости непосредственной кровли, с одной стороны, а, с другой, – объединяя непосредственную кровлю с основной, создает армопородную плиту высокой несущей способности.

В заключение анализа НДС близлежащего породного массива рассмотрены особенности распределения вертикальных напряжений σ_y .

В кровле штрека зона разгрузки от вертикальных напряжений σ_y существенно отличается от базовой схемы крепления в сторону снижения размеров зоны и степени разгрузки:

– разгрузка уровня $k_y = 0,47 - 0,83$ распространяется в кровлю всего до 1,8 м против 4,3 м в базовой схеме крепления;

– более глубокая степень разгрузки ($k_y = 0,10 - 0,47$) имеет место в приконтурных породах на высоту до 0,6 м и шириной до 1,9 м. В базовой схеме крепления эти размеры составляют 2,0 и 3,5 м, соответственно. Это указывает на распространение весьма глубокой разгрузки по всей мощности непосредственной кровли и по большей части ширины свода выработки;

– полной разгрузки ($\sigma_y = 0$) с появлением растягивающих вертикальных напряжений практически не наблюдается в отличие от базовой схемы крепления.

Приведенные данные свидетельствуют об отсутствии свода предельного равновесия, который образуется при расслоении пород кровли за счет действия растягивающих напряжений. Это обусловлено формированием (с помощью канатных анкеров) мощной армопородной плиты, не допускающей значительных прогибов над выработкой, а локальные расслоения в центральной части свода предупреждают два сталеполимерных анкера.

Другой особенностью является маловыраженная зона опорного давления со стороны нетронутого массива. Здесь наблюдается концентрация сжимающих ($k_y = 1,2 - 1,9 \text{ } \mu\text{H}$) и лишь в локальных областях приконтурных пород на ширину 0,2 – 0,5 м действуют повышенные концентрации уровня ($k_y = 3,0 - 4,2 \text{ } \mu\text{H}$). Такое поведение пород в боку выработки объясняется повышенной площадью опоры армопородной плиты в кровле, распределяющей вертикальную нагрузку более равномерно. Со стороны выработанного пространства действует высокая концентрация ($k_y = 3,0 - 4,2 \text{ } \mu\text{H}$) над и под охранной конструкцией, но эта область распространяется по высоте в кровлю в 1,7 раза и по глубине в почву в 2,1 раза меньше, чем при базовой схеме крепления.

Главная причина здесь видится в частичном сохранении распорных усилий между породными блоками над выработкой и со стороны выработанного пространства. Эти усилия позволяют создать противодействие вертикальной составляющей горного давления и распределить его по большей площади, в том числе, и в сторону выработанного пространства. Большая площадь его распределения снижает концентрацию.

В почве выработки зона разгрузки σ_y также меньше как по размерам, так и по величине в сравнении с базовой схемой крепления. Это обусловлено снижением параметров зон опорного давления в боках выработки.

Таким образом, анализ состояния углевмещающего массива вокруг выемочной выработки убедительно доказывает, что применение комбинированных анкерных систем позволяет более эффективно использовать несущую способность пород кровли за счет сохранения усилий распора между породными блоками и формирования армопородной плиты. Действуя по аналогии с «цепной реакцией» снижается интенсивность аномалий НДС в боках и почве выемочной выработки. Из этого следует вывод о позитивном влиянии комбинированных анкерных систем на устойчивость окружающего породного массива, что ограничивает проявления горного давления в выемочной выработке.

4.2. НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ КРЕПЕЖНОЙ СИСТЕМЫ ВЫЕМОЧНОЙ ВЫРАБОТКИ И СРАВНЕНИЕ С БАЗОВЫМ ВАРИАНТОМ ЕЕ КРЕПЛЕНИЯ

Анализ поведения массива в окрестности выемочной выработки позволил предположить, что комбинированная анкерная система способствует созданию таких распорных усилий, которые позволяют рассматривать непосредственную кровлю и нижний слой основной как армопородную плиту, воспринимающую большую часть вертикального горного давления и защищающую, тем самым, рамную крепь от чрезмерных нагрузок.

Следующий этап исследований состоит в комплексной оценке состояния всех крепежных элементов сравниваемых вариантов (базового и предлагаемого) выработки, руководствуясь эпюрами распределения вертикальных

σ_y , горизонтальных σ_x напряжений и их интенсивности σ . В первую очередь рассмотрено поле интенсивности напряжений, поскольку этот параметр включает в себя определенную комбинацию всех компонент напряжений и является интегральным показателем состояния того или иного крепежного элемента. Эпюра интенсивности напряжений приведена на рис. 4.1.

Верхняк рамной крепи находится в разгруженном состоянии, которое весьма часто фиксируется при проведении вычислительных экспериментов для условий шахт Западного Донбасса. Однако, степень недогруженности верхняка при использовании комбинированной анкерной

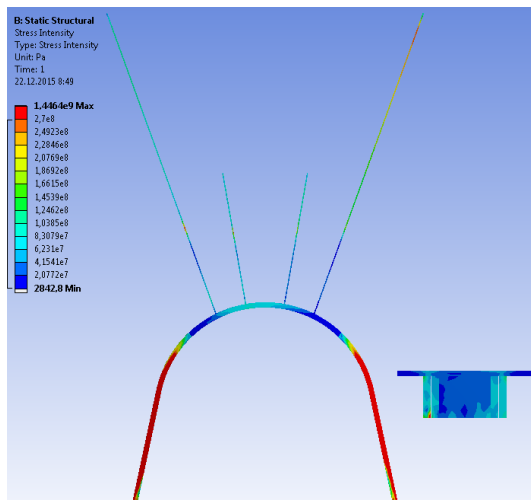


Рис. 4.1. Эпюра интенсивности напряжений σ в крепежных элементах выемочной выработки при использовании комбинированной анкерной системы

системы существенно отличается от таковой для базового варианта крепления, что рассмотрено более подробно. Периферийный участок верхняка в районе замков податливости характеризуется минимальной напряженностью ($\sigma \leq 20 - 25$ МПа), что вполне объяснимо штатным режимом их работы. В базовом варианте крепления на концевом участке верхняка со стороны выработанного пространства величина интенсивности напряжений составляет уже 47 – 93 МПа, то есть, возрастает в несколько раз. Со стороны нетронутого массива концевой участок верхняка подвержен действию

$\sigma = 185 - 270$ МПа; верхняя граница этого диапазона уже соответствует расчетному пределу текучести стали Ст.5, из которой обычно изготавливается спецпрофиль СВП. Такая высокая интенсивность напряжений свидетельствует о наступлении жесткого режима работы узла сопряжения верхняка и стойки по причине исчерпания вертикальной податливости рамы. Далее, при движении к центральной части свода (в базовом варианте крепления) интенсивность напряжений снижается до $70 - 185$ МПа со стороны нетронутого массива и повышается со стороны выработанного пространства. В месте опоры верхняка на центральную (деревянную) стойку крепи усиления возникает область его пластического состояния протяженностью до $0,7$ м. Таким образом, по длине верхняка базового варианта крепления наряду с участками разгрузки наблюдаются области его предельного состояния, где вероятен пластический изгиб верхняка с изменением его первоначальной формы. Иная ситуация наблюдается в верхняке при установке комбинированной анкерной системы. Здесь происходит плавный рост интенсивности напряжений до $83 - 104$ МПа в центральной части свода. Заметим, что эти значения существенно ниже, чем в базовом варианте крепления и составляет всего $31 - 39\%$ от расчетного предела текучести стали СВП, т. е., состояние верхняка далеко от предельного на всей его длине. На наш взгляд, главная причина выявленных отличий в состоянии верхняка – это действие пониженной вертикальной нагрузки за счет формирования армопородной плиты (комбинированной анкерной системой) с надлежащими усилениями распора в непосредственной кровле и нижнем слое основной кровли.

В противоположность весомых отличий в состоянии верхняка рамы распределение σ в ее стойках достаточно схоже для обоих сравниваемых вариантов крепления. Основная черта этой схожести заключается в высокой загруженности (на уровне предельного состояния) стоек рам, но имеются и некоторые отличия в распределении интенсивности напряжений.

Во-первых, в стойке рамы со стороны выработанного пространства интенсивность напряжений близка к расчетному пределу текучести стали СВП ($92 - 98\%$), но не превосходит его; то есть, наблюдается состояние, близкое к предельному. По большей части длины стойки распределение интенсивности напряжений равномерное в ее поперечном сечении, что указывает на отсутствие сколь-нибудь существенного изгибающего момента. Исключение составляет нижняя часть стойки на высоту до $0,7$ м от почвы, где происходит ее изгиб в полость выработки. В базовой крепежной системе таких участков изгиба стойки несколько, они имеют разное направление и расположены по всей высоте стойки от ее криволинейной части до опоры. Кроме того, в базовом варианте величина интенсивности напряжений выше на $10 - 40\%$, так что по высоте стойка находится в предельном состоянии и требует усиления по противодействию боковому горному давлению.

Во-вторых, в стойке рамы предлагаемого варианта со стороны нетронутого массива интенсивность напряжений либо равна, либо превосходит расчетный предел текучести стали СВП. Интенсивность напряжений распреде-

ляется равномерно, а изгибающий момент действует только в районе опоры стойки на высоту до 0,4 м от почвы. В базовом варианте крепления изгибающий момент переменного знака (хотя и пониженной величины) возникает по всей длине стойки, а величина σ увеличивается до 30%.

Таким образом, следует отметить повышенную нагрузку стоек рамы в базовом варианте крепления, что подтверждает тезис о снижении вертикальной нагрузки на рамную крепь при использовании комбинированной анкерной системы в кровле выработки.

Рассмотрим состояние анкеров в кровле выемочной выработки при базовой схеме крепления – пять сталеполлимерных анкеров, установленных по контуру свода в пределах протяженности верхняка рамы, имеют разную степень нагрузки. В центральной части свода три анкера подвержены воздействию напряжений σ от 8 – 26% до 34 – 51% от расчетного предела текучести стали арматуры анкера. Два периферийных анкера нагружены в большей степени:

- в приконтурной части длины анкера до 0,4 м (со стороны нетронутого массива) действуют σ уровня 68 – 85% от его несущей способности. Это указывает на активное расслоение породного массива в области установки анкера, а остальная часть его длины нагружена в меньшей степени;

- периферийный анкер со стороны выработанного пространства, напротив, испытывает повышенную нагрузку (77 – 100% от предела текучести стали) на заглубленном участке длиной до 0,5 м. Это обусловлено сопротивлением анкера горизонтальным подвижкам породных блоков непосредственной кровли, опускающихся на охранную конструкцию, а остальная часть длины анкера также остается слабонагруженной.

Таким образом, в базовой схеме крепления отмечается повышенное сопротивление горному давлению только у периферийных анкеров, установленных в районе замков податливости рамы.

В комбинированной анкерной системе в своде выработки наблюдаются следующие особенности распределения интенсивности напряжений. Два сталеполлимерных анкера, установленных в центральной части свода, преимущественно нагружены на заглубленном участке своей длины, которая составляет порядка 52% для анкера со стороны выработанного пространства, а анкер со стороны нетронутого массива загружен по всей своей длине. Уровень напряжений на этих участках соответствует 31 – 77% от расчетного предела текучести стали анкера. Со стороны нетронутого массива присутствует ограниченный участок, где напряжения развиваются до 84 – 92% его несущей способности. Если сравнивать уровень сопротивления центральных сталеполлимерных анкеров, то он заметно выше у комбинированной анкерной системы, что указывает на их более эффективную работу по созданию распорной конструкции из породных блоков в непосредственной кровле.

Установление канатных анкеров также активно противодействуют развитию горного давления, и это относится к участкам их длины, расположенных

в нижнем слое основной кровли. Так, для канатного анкера со стороны нетронутого массива на участке до 75% его длины действует напряжения 60 – 90% от несущей способности. Для канатного анкера со стороны выработанного пространства длина участка активного сопротивления немного ниже (до 70%), но на его заглубленной части расширяется участок практически полной загрузки анкера – до 100% от несущей способности.

Здесь можно провести сравнение между интенсивной работой комбинированной анкерной системы и снижением аномалий НДС в породном массиве, особенно, в кровле выработки. Эти процессы, безусловно, взаимосвязаны и доказывают обоснованность применения комбинированных анкерных систем в кровле выемочных выработок.

Есть еще один косвенный довод в пользу комбинированных анкерных систем – степень нагруженности охранной конструкции выемочной выработки. Индивидуальные деревянные стойки на берме штрека и стойки рядов органной крепи нагружены в 1,5 – 1,7 раза меньше, чем в базовом варианте крепления. Это служит подтверждением ранее высказанному предположению о частичном сохранении распора между породными блоками над выработкой и блоками, которые опускаются на обрушенные породы в выработанном пространстве. Такой частичный распор способствует восприятию некоторой доли вертикального горного давления породными блоками основной кровли, что снижает нагрузку на охранную конструкцию.

В развитие доказательной базы объективности целесообразного использования комбинированных анкерных систем рассмотрены особенности распределения горизонтальных напряжений σ_x (рис. 4.2) в крепежных элементах выемочной выработки.

В верхняке рамы распределение σ_x наиболее информативное в плане выявления изгибающих моментов. В этой связи сразу же отметим, что на каждом участке верхняка действуют разные горизонтальные напряжения, но в поперечном сечении СВГ σ_x распределяются достаточно равномерно. Следовательно, можно зафиксировать отсутствие сколь-нибудь существенного изгибающего момента по длине верхняка. Это является одним из признаков по-

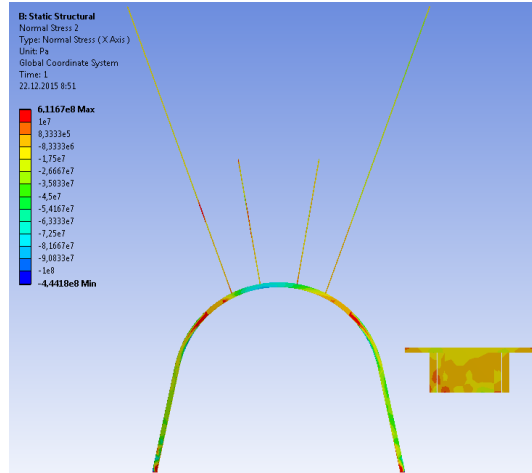


Рис. 4.2. Эпюра горизонтальных напряжений σ_x в крепежных элементах выемочной выработки при использовании комбинированной анкерной системы

ниженной вертикальной нагрузки, действующей на раму. По своей величине пониженные σ_x до 8 – 15 МПа распределены на периферийных участках верхняка, что свидетельствует о развитии небольших горизонтальных усилий в районе замков податливости и косвенно указывает на ограниченные горизонтальные подвижки непосредственной кровли по причине сопротивления комбинированной анкерной системы. В центральной части свода сжимающие σ_x увеличиваются от 25 – 35 МПа до 70 – 80 МПа в замке свода. Величины напряжений многократно ниже предельных для стали крепи из СВП, но, тем не менее, они характеризуют определенную нагрузку верхняка рамы, несмотря на создание грузонесущей армопородной плиты в кровле.

Если сравнивать приведенные данные с базовым вариантом крепления, то существенных отличий по величине сжимающих σ_x не наблюдается, однако, присутствуют два участка на полуарке со стороны выработанного пространства, где зафиксировано действие среднего по величине изгибающего момента разных знаков. Тем не менее, эти возмущения не играют решающей роли в наступлении предельного состояния верхняка рамы.

В стойках рамы действуют пониженные горизонтальные напряжения для обоих сравниваемых вариантов крепления выемочной выработки с отличиями, не вносящими существенный вклад в устойчивость рамной крепи; тем не менее, отметим основные из них.

Во-первых, в криволинейной части стойки со стороны нетронутого массива в базовом варианте крепления действуют сжимающие $\sigma_x = 30 – 70$ МПа, а в рекомендуемом варианте – знакопеременные σ_x от 10 – 15 МПа растяжения около замка податливости и до 15 – 35 МПа сжатия внизу криволинейной части стойки. Эти результаты указывают на пониженное боковое давление (при использовании комбинированной анкерной системы) по причине уменьшения концентраций опорного давления в боку выработки. В прямолинейной части стойки величина сжимающих напряжений оказалась несколько ниже в базовом варианте, чем в рекомендуемом варианте. Их абсолютное значение практически не влияет на устойчивость стойки.

Во-вторых, в стойке рамы со стороны выработанного пространства эпюра распределения σ_x изменяется малосущественно (по сравнению с противоположной стойкой) для варианта применения комбинированной анкерной системы. Для базового варианта крепления в криволинейной части стойки происходит активное изменение знака кривизны ввиду действия знакопеременного изгибающего момента. Это происходит из-за высоких концентраций опорного давления в районе охранной конструкции, которые частично сглаживаются при использовании в кровле комбинированной анкерной системы.

Регулярная ссылка на эффективность работы комбинированной анкерной системы находит свое подтверждение при анализе распределения σ_x в сталеполлимерных и канатных анкерах. Для обоих типов анкеров, несмотря на их преимущественно вертикальное расположение, действуют небольшие

растягивающие σ_x в пределах мощности непосредственной кровли, что указывает на ограничение ее горизонтальных подвижек с помощью комбинированной анкерной системы. В базовом варианте крепления три сталеполлимерных анкера в центральной части свода не участвуют в сопротивлении горизонтальным подвижкам непосредственной кровли, а растяжение арматуры усилиями σ_x проявляются только в приконтурной части периферийных сталеполлимерных анкеров.

В целом, результаты анализа распределения горизонтальных напряжений в крепежных элементах выемочной выработки подтверждают более благоприятное состояние рамной крепи при установке комбинированной анкерной системы.

В заключение анализа НДС элементов крепежных конструкций выемочной выработки рассмотрено распределение вертикальных напряжений σ_y , эпюра которых показана на рис. 4.3.

В обоих рассматриваемых крепежных конструкциях верхняя рама находится в относительно разгруженном состоянии, но имеются отличия, как по степени разгрузки, так и по характеру распределения σ_y по длине верхняка и в его поперечном сечении.

Минимальная загруженность верхняка горным давлением со стороны пород наблюдается при установке в ней комбинированной анкерной системы. По всей длине верхняка σ_y изменяется от 15 –

20 МПа растяжения и до 25 – 30 МПа сжатия. Это проявляется на ограниченном участке длиной до 0,6 м в центральной части свода, несколько смещенным в сторону нетронутого массива. Здесь действует небольшой изгибающий момент, направленный в сторону пород кровли. На остальной длине верхняка распределение σ_y в его поперечном сечении достаточно равномерное без появления сколь-нибудь значимого изгибающего момента. В районе расположения замков податливости возникают локальные очаги (размером до 100 – 150 мм) растягивающих $\sigma_y \leq 40 – 50$ МПа, что обусловлено упругими деформациями сопряжения верхняка и стоек рамы.

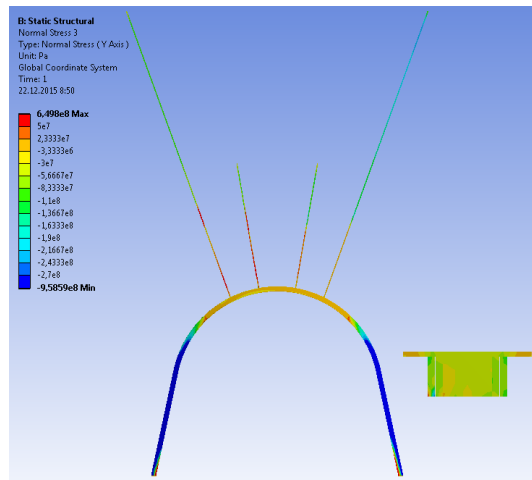


Рис. 4.3. Эпюра вертикальных напряжений σ_y в крепежных элементах выемочной выработки при использовании комбинированной анкерной системы

В базовом варианте крепления по большей части длины верхняка величина σ_y также невелика – от 25 МПа растяжения до 75 МПа сжатия, а его прогиб в полость выработки наблюдается практически по всей центральной части свода. Аномалии σ_y действуют в районе опоры верхняка на центральную стойку крепи усиления. Здесь концентрация сжимающих σ_y повышается до 150 – 200 МПа, а в отдельных локальных очагах доходит до расчетного предела текучести стали СВП, что провоцирует пластический изгиб верхняка. На периферийных участках также имеет место рост сжимающих σ_y до уровня 100 – 150 МПа. Последний факт является весьма показательным. Сжатие верхняка в замковой части податливости указывает на выполаживание при деформировании центральной части свода в полость выработки. Хотя этот процесс находится в основном на упругой стадии деформирования, он характеризует повышенную вертикальную нагрузку на верхняк рамы со стороны пород кровли. Следовательно, можно отметить, что по фактору состояния верхняка наблюдается снижение вертикальной нагрузки на раму при использовании комбинированной анкерной системы.

Стойки рамы весьма загружены вертикальными напряжениями для обоих вариантов крепления, а некоторые отличия состоят в следующем. В варианте применения комбинированной анкерной системы подавляющая часть длины стоек загружена достаточно равномерно в их поперечном сечении. То есть, изгибающий момент практически отсутствует за исключением участков опор стоек высотой до 0,4 м со стороны выработанного пространства и до 0,3 м со стороны нетронутого массива. Здесь происходит изгиб опорной части стоек в полость выработки.

В базовом варианте крепления распределение σ_y в стойке со стороны нетронутого массива весьма схоже с вышеописанным. По высоте стойки со стороны выработанного пространства возникают четыре участка пластического изгиба в сторону выработки. Эти участки могут существенно изменить геометрию стойки в направлении снижения ее устойчивости и существенной потери несущей способности рамной крепи в целом. Таким образом, анализ состояния стоек рамы по фактору σ_y также отмечает благоприятное воздействие комбинированной анкерной системы.

Далее рассмотрено распределение σ_y в анкерах, размещенных по контуру свода выработки. Во всех пяти сталеполлимерных анкерах базовой схемы крепления наблюдается более-менее одинаковая картина напряжений. В приконтурной части анкеров действуют растягивающие σ_y до 50 – 75 МПа на длине арматуры 0,25 – 0,70 м. Причем, меньшее значение относится к центральному анкеру, а большее – к периферийному анкеру со стороны выработанного пространства. Эти данные указывают на противодействие расслоению приконтурной части пород непосредственной кровли, поскольку

заглубленная часть анкеров свободна от растягивающих усилий.

В комбинированной анкерной системе крепления свода выемочных выработок растягивающие σ_y действуют на ближних к выработке участках, как сталеполимерных, так и канатных анкеров. Длина этих участков гораздо больше и изменяется в интервале 1,1 – 1,8 м с некоторым увеличением у анкеров, расположенных со стороны нетронутого массива. Здесь система сопротивляется расслоению практически по всей или подавляющей части мощности непосредственной кровли. Следовательно, в большей степени сохраняется ее целостность и способность противодействия вертикальному горному давлению.

Подводя итоги выполненному анализу НДС, констатируем всесторонне обоснованный факт снижения напряженности рамной крепи при установке в кровле выработки комбинированной анкерной системы. Этот факт вполне объясним, учитывая закономерности изменения напряженного состояния близлежащего массива в направлении повышения устойчивости пород кровли за счет формирования армопородной плиты высокой грузонесущей способности.

ВЫВОДЫ

В результате выполненных исследований НДС углевмещающей толщи, окружающей выемочную выработку, крепежной и охранной систем сформулированы следующие выводы.

1. В породах кровли за счет комбинации канатных и сталеполимерных анкеров формируется армопородная плита, высокая грузонесущая способность которой достигается посредством сохранения горизонтальных усилий распора даже в условиях разбиения слоев кровли на породные блоки. Снижаются концентрации всех компонент напряжений до уровня ниже прочностных характеристик литотипов, а появление растягивающих напряжений σ_y и σ_x носит локальный характер. Поэтому мощная армопородная плита в кровле предохраняет крепежную систему выемочной выработки от чрезмерного вертикального горного давления.

2. Установлено снижение напряженности верхняка и стоек рамной крепи при использовании в кровле комбинированной анкерной системы, которое обосновано восприятием части вертикального горного давления армопородной плитой, сформированной в кровле благодаря активному сопротивлению сталеполимерных и канатных анкеров процессам сдвижения углевмещающего массива.

3. Снижение концентраций напряжений и размеров областей разупрочнения в боках выработки благоприятно сказывается на уровне напряженности пород почвы, что позволяет прогнозировать менее интенсивное развитие процесса пучения.

5. УСТАНОВЛЕНИЕ И АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ АНКЕРНОЙ СИСТЕМЫ ГОРНОМУ ДАВЛЕНИЮ И ЦЕНТРАЛЬНЫХ СТОЕК КРЕПИ УСИЛЕНИЯ

5.1. ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЯ ОЦЕНКИ УРОВНЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ АНКЕРОВ ПРОЯВЛЕНИЯМ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ

Соппротивление комбинированной анкерной системы определяется уровнем действия интенсивности напряжений σ и протяженностью наиболее нагруженных участков сталеполимерных и канатных анкеров, установленных в кровле выемочной выработки. Чем больше σ и длиннее участок его распространения, тем активнее противодействует система сдвигению пород кровли в выработку. Закономерности связи параметров сопротивления комбинированной анкерной системы с геомеханическими факторами, характеризующими условия поддержания выемочных выработок, установлены на основе проведения серий многовариантных вычислительных экспериментов, которые имеют конечную цель – определение рациональных параметров установки комбинированной анкерной системы в зависимости от горно-геологических условий поддержания выемочной выработки. В этой связи, первый этап исследований состоит в установлении степени влияния ряда геомеханических факторов на уровень сопротивления сталеполимерных и канатных анкеров. При их низком сопротивлении правомерен вопрос о целесообразности применения комбинированной анкерной системы в данных горно-геологических условиях. Вполне вероятно здесь достаточно использование традиционных схем крепления.

На втором этапе исследований, необходимо определиться с количеством анкеров, достаточным для формирования армопородной плиты в кровле, надежно защищающей выемочную выработку от проявлений горного давления. Поэтому представляется чрезвычайно важным очертить круг условий эффективного применения комбинированных анкерных систем на базе установленных закономерностей степени нагрузки анкеров и влияния геомеханических факторов, характеризующих условия поддержания выработки.

На основе общего алгоритма поиска рациональных параметров установки комбинированных анкерных систем в составе схемы поддержания выработки в целом выявлен и обоснован ряд геомеханических факторов, оказывающих наибольшее влияние на степень нагрузки анкеров. К ним относятся: глубина размещения выработки H , среднее расчетное сопротивление сжатию R близлежащих углевмещающих пород, отношение расчетного сопро-

тивления сжатию пород непосредственной кровли угольного пласта к ее мощности $\frac{R_1^K}{m_1^K}$. Для лучшего восприятия принятое отношение выражено через b_m^r , которое применено в полученных зависимостях.

Для оценки степени нагрузки анкеров необходимо обосновать соответствующий критерий, что является непросто задачей ввиду значительных колебаний интенсивности напряжений σ по длине анкеров. Наиболее объективной характеристикой является длина участка, где анкер нагружен на уровне своей несущей способности, то есть, работает с максимальной эффективностью. Безусловно, следует признать достаточную эффективность работы анкера, когда он сопротивляется горному давлению на уровне, например, 70 – 90% от своей несущей способности. Но, тогда возникает многокритериальность и некоторая неоднозначность оценки его упрочняющего действия. К тому же участки длины анкера с указанной степенью нагрузки всегда соседствуют с участками предельного (пластического) состояния (загрузка 100%) его арматуры (несущего элемента). Поэтому условие появления участков пластического состояния несущего элемента автоматически включает в себя и участки допредельного состояния с высокой степенью сопротивления.

Также следует учесть разную длину анкеров в комбинированной анкерной системе. Наиболее объективным будет использование такого относительного параметра как отношение длины участка пластического состояния несущего элемента ко всей длине анкера. В качестве критерия оценки эффективности работы анкеров, в составе комбинированной анкерной системы, предложена относительная длина участка пластического состояния несущего элемента (арматура в сталеполимерных анкерах и канат в канатных анкерах), которая выражена в процентах.

Помимо прочего, возникает вопрос группирования анкеров, особенно при их достаточно большом количестве в кровле выработки. Это осуществлено на основе результатов предыдущих исследований по изучению распределения компонент напряжений по длине анкеров. Группирование (где это было возможным) выполнено по условию степени схожести их НДС и подобию тенденций влияния геомеханических факторов. В итоге приняты к изучению следующие критериальные параметры:

- Δ – относительная дина пластического состояния несущего элемента сталеполимерных анкеров в центральной части свода выработки;
- $\Delta_{l,m}^{кан}$ – относительная длина пластического состояния несущего элемента канатных анкеров в кровле со стороны выработанного пространства и нетронутого массива, соответственно.

5.2. ВЛИЯНИЕ ГЛУБИНЫ РАЗМЕЩЕНИЯ ВЫРАБОТКИ

Тенденции влияния глубины H размещения выемочной выработки на степень нагруженности анкеров в центральной части свода приведены на рис. 5.1 для одной из серий расчетов НДС исследуемой геомеханической системы. Общая закономерность для всех анкеров в составе комбинированной анкерной системы состоит в увеличении относительной длины участков пластического состояния с ростом параметра H . Все закономерности близки к линейным функциям $\Delta(H)$

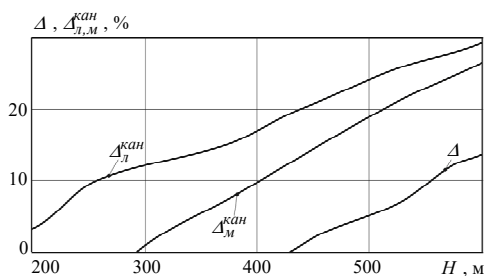


Рис. 5.1. Зависимости изменения относительной длины Δ и $\Delta_{л,м}^{кан}$ участков пластического состояния несущего элемента анкера от глубины H размещения выработки

и $\Delta_{л,м}^{кан}(H)$.

Отмечается разная степень нагрузки сталеполимерных и канатных анкеров. Так, в данной серии расчетов, приведенных в качестве одного из примеров, участки пластического состояния в сталеполимерных анкерах проявляются, начиная с глубины $H = 428$ м, и развиваются до $\Delta = 13,7\%$ при граничной глубине $H = 600$ м выполнения вычислительных экспериментов. Для канатного анкера, размещенного со стороны выработанного пространства, участки пластического состояния величиной $\Delta_{л}^{кан} = 3,3\%$ присутствуют уже на глубине $H = 200$ м и увеличиваются до $\Delta_{л}^{кан} = 29,5\%$ при $H = 600$ м. Со стороны нетронутого массива эти участки занимают промежуточное положение. Пластическое состояние каната появляется при глубине $H = 293$ м и длина участка увеличивается до $\Delta_{м}^{кан} = 26,7\%$ при граничном значении расчетов $H = 600$ м.

Приведенные данные позволяют сделать ряд выводов помимо уже отмеченной тенденции увеличения участков пластического состояния несущего элемента с увеличением глубины размещения выработки.

Во-первых, канатный анкер со стороны выработанного пространства более нагружен, чем со стороны нетронутого массива, что объясняется более интенсивным сдвижением надугольной толщи над выработанным пространством.

Во-вторых, проявляется стабильная тенденция пониженной нагрузки сталеполимерных анкеров. Это можно объяснить их меньшей длиной (2,4 м) по сравнению с канатным анкером (6 м). Известно, что анкер нагружается растягивающими усилиями за счет разницы смещений массива на контуре выработ-

ки и на заглубленном участке. Чем длиннее анкер, тем дальше от контура выработки отстоит заглубленный участок и тем больше указанная разница в перемещениях. Но, присутствует еще один постоянно повторяющийся фактор. Чем ближе сталеполимерный анкер к вертикальной оси выработки, тем он менее нагружен. Таким образом, при разных координатах расположения сталеполимерных анкеров по протяженности верхняка рамы линия $\Delta(H)$ будет занимать разное положение. Стабильной остается тенденция пониженной величины Δ по отношению к $\Delta_{л,м}^{кан}$.

В-третьих, суммируя вышеизложенное, следует отметить высокий уровень сопротивления канатных анкеров при любой глубине размещения выработки (в пределах $200 \text{ м} \leq H \leq 600 \text{ м}$ диапазона проведения вычислительного эксперимента), в то время как сталеполимерные анкера активно сопротивляются горному давлению, начиная с глубины $H \approx 400 \text{ м}$ для описанной серии расчетов.

5.3. ВЛИЯНИЕ СРЕДНЕГО РАСЧЕТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОРОД СЖАТИЮ БЛИЗЛЕЖАЩЕГО МАССИВА

Вторым геомеханическим фактором, существенно влияющим на степень нагрузки анкеров в составе комбинированной анкерной системы, является величина среднего расчетного сопротивления сжатию R породных слоев близлежащей углевещающей толщи; один из фрагментов закономерностей влияния приведен на рис. 5.2.

Общая тенденция для всех анкеров состоит в увеличении относительной длины участков пластического состояния Δ , $\Delta_{л,м}^{кан}$ при снижении параметра R , но зависимости $\Delta(R)$ и $\Delta_{л,м}^{кан}(R)$ существенно отличаются друг от друга. Так, для сталеполимерных анкеров участок пластического состояния появляется только при $R \leq 14,5 \text{ МПа}$ и при дальнейшем снижении R происходит достаточно интенсивный рост Δ по явно нелинейной зависимости: при $R = 6,6 \text{ МПа}$ величина Δ составляет уже 12,7%.

Иная закономерность изменения функции $\Delta_{л,м}^{кан}(R)$ наблюдается для

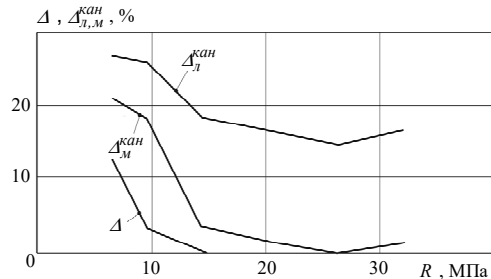


Рис. 5.2. Зависимости изменения относительной длины Δ и $\Delta_{л,м}^{кан}$ участков пластического состояния несущего элемента анкера от среднего расчетного сопротивления сжатию R близлежащего массива

канатного анкера, установленного со стороны выработанного пространства. В данном примере в диапазоне $14,3 \leq R \leq 32,1$ МПа величина $\Delta_{л}^{кан}$ достаточно стабильна и колеблется в интервале $\Delta_{л}^{кан} = 14,9 - 18,1\%$. При $R < 14,3$ МПа происходит некоторый рост относительной длины участка пластического состояния с максимумом $\Delta_{л}^{кан} = 26,7\%$ при $R = 6,6$ МПа.

Для канатного анкера, установленного со стороны нетронутого массива, закономерность связи $\Delta_{м}^{кан}$ и R качественно похожа, но количественно график располагается ниже зависимости $\Delta_{л}^{кан}(R)$. Так, в диапазоне $14,3 \leq R \leq 32,1$ МПа величина $\Delta_{м}^{кан}$ близка к нулю с максимумом $3,3\%$ при $R = 14,3$ МПа. Если R нижеуказанного значения, то происходит увеличение параметра $\Delta_{м}^{кан}$, который достигает значения $21,2\%$ при $R = 6,6$ МПа.

При выявлении описанных закономерностей подтвержден факт снижения степени нагрузки сталеполимерных анкеров при их установке ближе к вертикальной оси выработки и, напротив, увеличения Δ при смещении координат установки сталеполимерных анкеров к периферийным участкам верхняка.

Примечателен еще один вывод по результатам анализа зависимостей $\Delta(R)$ и $\Delta_{л,м}^{кан}(R)$. Существует некоторое значение параметра R , ниже которого развивается достаточно интенсивно нагрузка всех анкеров в составе комбинированной анкерной системы. В приведенном примере – это $R = 14,3$ МПа. Такое явление может быть объяснено частичной потерей устойчивости распорной системы из породных блоков непосредственной кровли. Созданный распор не может удержать свой вес от обрушения за счет сил распора. Необходимы дополнительные усилия со стороны анкеров для сохранения устойчивости распорной блочной системы в непосредственной кровле.

5.4. ВЛИЯНИЕ ОТНОШЕНИЯ СРЕДНЕГО РАСЧЕТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СЖАТИЮ ПОРОД НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ КРОВЛИ К ЕЕ МОЩНОСТИ

Анализ результатов вычислительных экспериментов показал, что на степень нагрузки анкеров в составе комбинированной анкерной системы существенно влияет отношение b_m^r расчетного сопротивления сжатию R_1^K пород непосредственной кровли к ее мощности m_1^K . Фрагменты зависимостей Δb_m^r приведены на рис. 5.3.

Здесь частично нарушено уже ставшее традиционным соотношение между параметрами Δ и $\Delta_{л,м}^{кан}$. Так, до величины $b_m^r \geq 7,5 - 8,3$ МПа/м относительная

длина участка пластического состояния сталеполлимерных анкеров заметно меньше, чем таковая для канатных анкеров. Участки пластического состояния в сталеполлимерных анкерах появляются только при $b_m^r \leq 20$ МПа/м. При снижении параметра b_m^r ниже отмеченной границы в 7,5 – 8,3 МПа/м относительная длина участка пластического состояния арматуры сталеполлимерных анкеров Δ резко возрастает, превышая соответствующие значения $\Delta_{l,m}^{кан}$ и достигая величины 64,4% при $b_m^r = 1,4$ МПа/м; при этом сама зависимость Δb_m^r весьма нелинейная. Объяснение такого стремительного роста Δ , на наш взгляд, вполне очевидно. Низ-

кие значения параметров b_m^r характеризуют условия залегания весьма слабой непосредственной кровли при достаточно большой ее мощности, что провоцирует интенсивное расслоение примыкающих к выработке пород на значительное расстояние в кровлю. Поэтому, противодействие сталеполлимерных анкеров активному опусканию пород кровли затрагивает большую часть длины анкера с появлением протяженных участков пластического состояния их арматуры.

Для канатных анкеров, устанавливаемых со стороны выработанного пространства, зависимость $\Delta_{l,m}^{кан}$ несколько иная. Здесь участок пластического состояния каната присутствует при любом значении b_m^r от 10,6% при $b_m^r = 80$ МПа/м и до 22,0% при $b_m^r = 20$ МПа/м. В данном диапазоне значений b_m^r наблюдается относительно медленный рост $\Delta_{l,m}^{кан}$ при снижении параметра b_m^r ; при дальнейшем уменьшении отношения b_m^r градиент роста $\Delta_{l,m}^{кан}$ увеличивается существенно нелинейно, достигая $\Delta_{l,m}^{кан} = 50\%$ при $b_m^r = 1,4$ МПа/м.

В канатных анкерах, установленных со стороны нетронутого массива, зависимость $\Delta_{l,m}^{кан}$ от b_m^r занимает, как всегда, промежуточное положение, как по величине $\Delta_{l,m}^{кан}$, так и по степени нелинейности связи этих параметров. Участки пластического состояния каната появляются при $b_m^r \leq 40$ МПа/м и

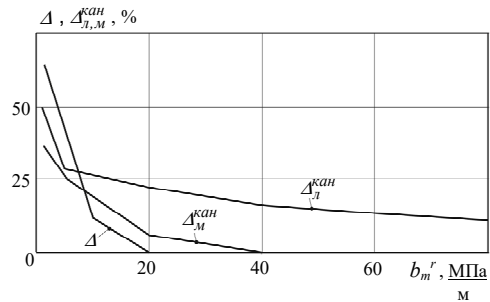


Рис. 5.3. Зависимости относительных длин Δ и $\Delta_{l,m}^{кан}$ участков пластического состояния несущего элемента анкера от изменения параметра b_m^r

интенсивно растет их длина до 36,1% при $b_m^r = 1,4$ МПа/м. Отмеченный интенсивный рост участков пластического состояния канатов с обеих сторон выработки объясняется все той же неустойчивостью пород непосредственной кровли при низких значениях b_m^r .

Активное расслоение слабой и достаточно мощной непосредственной кровли увеличивает нагрузку на канатные анкера, закрепленные в основной кровле. Эта составная часть кровли испытывает меньшие перемещения в направлении выработки и за счет натяжения канатов удерживает породы непосредственной кровли от обрушения. Поэтому часть снижения устойчивости непосредственной кровли перекладывается на увеличение нагрузки на канатные анкера и длина участков пластического состояния канатов возрастает.

Выявленные закономерности дают оценку степени влияния геомеханических факторов на нагрузки всех анкеров, входящих в состав комбинированной анкерной системы, что является одной из основ при разработке методики расчета ее рациональных параметров в зависимости от условий поддержания выемочной выработки.

5.5. АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЦЕНТРАЛЬНЫХ СТОЕК КРЕПИ УСИЛЕНИЯ В ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТКАХ

На шахтах Донбасса, в частности Западного его региона, достаточно широко применяются центральные стойки крепи усиления (далее – стойки) для поддержания выемочных выработок в зоне влияния очистных работ. Они отличаются конструктивным исполнением: деревянные, гидравлические, стойки трения из спецпрофиля СВП. Основная функция центральных стоек (одинарных и сдвоенных) – усиление рамной крепи для противодействия вертикальному горному давлению, которое резко возрастает от зоны опорного давления впереди лавы и вплоть до участка стабилизации геомеханических процессов в выемочной выработке позади очистного забоя. Также важной функцией центральных стоек является поддержание верхняка рамы на участке демонтажа ее ножки вблизи «окна» лавы.

При анализе напряженно-деформированного состояния стоек обоснован критерий оценки их нагруженности по реакции сопротивления при опускании пород надугольной толщи. Здесь наиболее объективный параметр – деформационно-силовая характеристика стойки, описывающая связь ее сопротивления с продольной податливостью.

Стойки трения из спецпрофиля СВП и гидростойки работают в режиме, близком к режиму постоянного сопротивления: до некоторого значения сопротивления они находятся жестком режиме при незначительной податливости, обусловленной в основном упругими деформациями материала;

после наступает режим податливости и тогда сопротивление стойки колеблется в определенном диапазоне вокруг среднего значения, практически не зависящего от опускания пород кровли. Такой режим работы обеспечивается узлом податливости в стойках трения из спецпрофиля СВП или периодическим срабатыванием предохранительного клапана в гидростойках.

Как правило, режим податливости конструкций стоек наступает еще до подхода лавы, в зоне ее фронтального опорного давления, что обусловлено процессами опускания кровли. Поэтому в зоне стабилизации проявлений горного давления стойки трения и гидростойки работают в режиме постоянного сопротивления, при котором нагрузка на них достаточно постоянна. Это означает, что напряженное состояние стоек тоже будет относительно стабильным вне зависимости от геомеханических процессов, протекающих вокруг выемочной выработки и обусловленных глубиной ее размещения, структурой и свойствами близлежащего углевмещающего массива.

Таким образом, невозможно проследить влияние геомеханических факторов на состояние стоек, работающих в режиме постоянного сопротивления. Сформулированный вывод стабильно подтверждается результатами расчетов напряженно-деформированного состояния геомеханических моделей при разных вариантах крепежных и охранных систем, где используются центральные стойки крепи усиления рассматриваемых конструкций. Так, диапазон вариации приведенных напряжений σ составляет до 20 – 25%.

Указанная вариация зависит от действия косо направленной нагрузки (изгиб со сжатием), а также от появления локальных областей концентраций напряжений из-за влияния контактных напряжений в местах опирания стоек на породы подошвы выработки и их сопряжения с верхняком рамы. В процессе исследований не было отмечено существенных изменений напряженно-деформированного состояния стоек при их установке в один либо в два ряда как в центральной части площади поперечного сечения выработки, так и их некотором смещении в сторону лавы.

Несколько иная ситуация возникает в случае установки деревянных центральных стоек крепи усиления. Они также обладают некоторой податливостью за счет:

- упругопластических продольных деформаций древесины;
- смятия деревянных подложек под стойки на контакте с подошвой выработки и верхняком рамы;
- вдавливания стоек в подошву выработки;
- изгиба стоек при потере устойчивой формы.

Последняя составляющая податливости прослеживается при вариантах установки деревянных стоек диаметром не более 15 – 16 см в условиях интенсивного вертикального горного давления. Деформация деревянных стоек происходит в соответствии с классическими представлениями о потере устойчивости стержня под действием сжимающей нагрузки. Определенная нагрузка Q провоцирует возникновение как первой, так и второй форм потери устойчивости по Эйлеру. В обоих случаях площади сечения стоек с

максимальным изгибом представляют наибольшую опасность из-за потери устойчивости с последующим разрушением. Процесс дополнительно провоцирует косонаправленная нагрузка, которая, как правило, действует под углом к вертикали $\alpha = 10 - 20^\circ$. Изгиб центральных деревянных стоек крепи усиления с их разрушением часто наблюдается в практике поддержания выемочных выработок (рис. 5.4). Для ограничения этого явления, центральные стойки нередко устанавливают под небольшим углом к вертикали.

а



б



Рис. 5.4. Общий вид крепежной системы выемочной выработки позади лавы:
а – выполаживание и пластические деформации верхняков рамы; б – разрушения центральных (деревянных) стоек крепи усиления

ные стойки нередко устанавливают под небольшим углом к вертикали.

Рассмотренные составляющие податливости деревянных стоек невозможно регулировать (по сравнению со стойками трения из спецпрофиля или гидростойками), поэтому их режим работы остается неконтролируемым, что усложняет разработку каких-либо рекомендаций по выбору параметров стоек. Тем не менее для стоек диаметром 20 – 22 см прослеживаются некоторые закономерности связи с такими геомеханическими параметрами, как глубина H размещения выработки и среднее расчетное сопротивление сжатию R породных слоев близлежащей углевмещающей толщи.

Как видно из рис. 5.5, эти закономерности не столь ярко выражены и ограничены возможностью разрушения стойки, с одной стороны, и неконтролируемой ее податливостью, с другой. В то же время общая тенденция к увеличению нагрузки Q на деревянные стойки по отношению к их максимальной несущей способности проявляется при увеличении глубины размещения выработки и снижении прочностных свойств близлежащего углевмещающего массива.

Выполненный анализ напряженно-деформированного состояния центральных стоек позволяет обосновать расчетные положения для определения их рациональных параметров: расстояния x по горизонтали от вертикальной оси выработки; угла наклона β стоек к вертикальной оси выработки и диаметра d деревянных стоек крепи усиления; для всех видов конструк-

ций стоек осуществляется поиск минимально достаточной реакции стойки.

Необходимость в установке центральных стоек крепи усиления продиктована интенсивными проявлениями горного давления в сложных горно-геологических условиях, например, при наличии слабого обводненного тонкослоистого массива основной кровли мощностью 8 – 10 м и более. В условиях весьма неустойчивой основной кровли формируется обширный свод предельного равновесия, породы которого создают большую нагрузку на крепежную систему выемочной выработки. Положение осложняется удалением границ свода предельного состояния от контура выработки, что не дает возможности закрепить замки анкеров (необходимой длины) в более устойчивых породах. Это ослабляет эффект упрочнения кровли, особенно на участке демонтажа ножек рамы вблизи «окна» лавы.

Обработка результатов серии вычислительных экспериментов методами корреляционно-дисперсионного анализа позволила получить уравнение регрессии, определяющее критическую глубину $H_{кр}$ размещения выработки, больше которой рекомендуется установка стоек:

$$H_{кр} = 74,2R^{0,8}. \quad (5.1)$$

В исследованиях зафиксирована асимметричность нагружения крепежной системы в зоне влияния очистных работ, которая проявляется в формировании повышенной косонаправленной нагрузки со стороны приближающейся или удаляющейся лавы. Данное явление подтверждается опытом ведения концевых операций по усилению крепежной системы в месте сопряжения лавы с выемочной выработкой, когда, как правило, стойки сдвигают в сторону лавы на некоторое расстояние относительно вертикальной оси выработки. Поиск рациональной координаты x установки стоек осуществлен по условию максимальной разгрузки рамной крепи, согласно которому определяющим параметром являлась интенсивность напряжений σ . Причем в разгрузке в большей степени нуждается не верхняя, а ножки рамной крепи, особенно со стороны лавы. Расчетами установлена необходимость смещения крепи усиления стоек в сторону лавы с достаточно стабильным значением $x = 0,4 - 0,6$ м. Меньшее значение соответствует пониженному

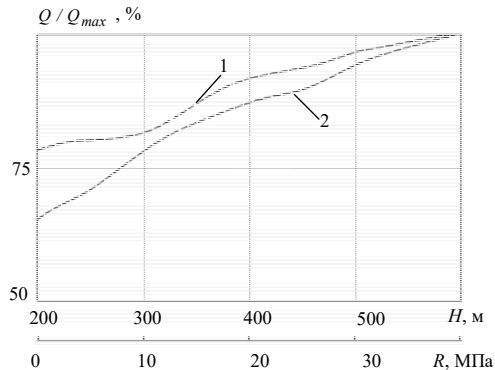


Рис. 5.5. Закономерности влияния на степень нагруженности Q / Q_{max} центральных деревянных стоек крепи усиления: 1 – глубины H размещения выработки; 2 – среднего расчетного сопротивления сжатию R близлежащей углевмещающей толщи

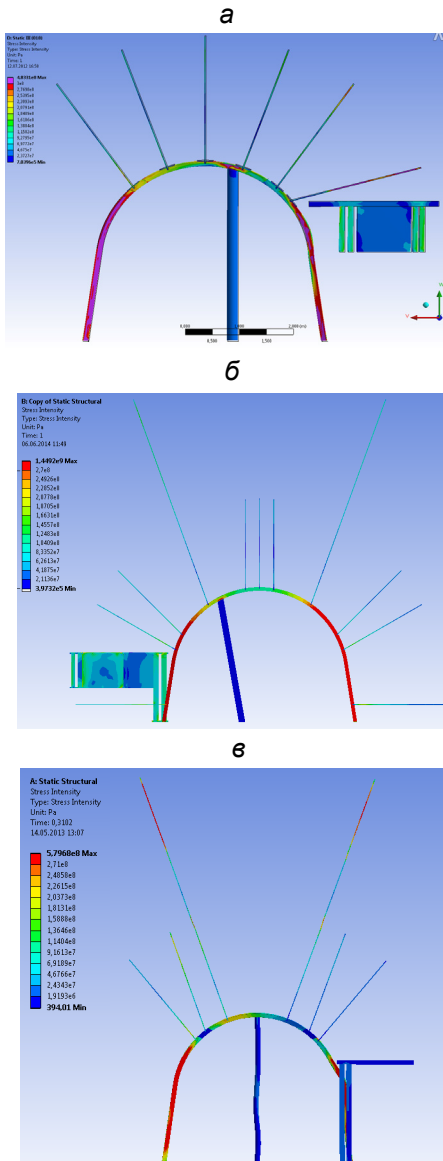


Рис. 5.6. Эпюры приведенных напряжений σ в крепежной системе выемочной выработки при повышенной (а), умеренной (б) и пониженной (в) жесткости деревянной стойки крепи усиления рамы

типоразмеру площади сечения выработки и уменьшенному вылету породных консолей со стороны выработанного пространства, а большее – повышенному типоразмеру площади поперечного сечения выработки и увеличенной длине зависающих породных консолей.

Угол наклона β центральной стойки крепи усиления к горизонтальной оси выработки имеет важное значение, поскольку косонаправленная нагрузка со стороны пород кровли (внецентренное сжатие) активизирует потерю ее устойчивости и несущая способность стойки резко снижается. Чтобы избежать внецентренного сжатия, продольная ось стойки должна совпадать с направлением вектора перемещений пород кровли в месте их сопряжения. Расчеты напряженно-деформированного состояния крепежной системы показали, что при рекомендуемой координате $x = 0,4 - 0,6$ м значение β колеблется в пределах $75 - 85^\circ$. Значение $\beta = 80^\circ$ рекомендуется при установке центральных стоек крепи усиления вне зависимости от их конструкции и горно-геологических условий эксплуатации выработки.

Последний из искомых рациональных параметров центральных стоек – их минимально достаточная реакция нагрузки, критерием рациональности которой служит условие максимальной разгрузки рамы, с одной стороны, и исключение перегиба верхняка рамы в месте его контакта со стойкой, с другой. Указанное обстоятельство (возможность появления пластического шарнира в верхняке) важно для сохранения устойчивой формы свода выработки, особенно на участке

демонтажа стоек рамы в районе «окна» лавы.

Выявленная особенность НДС верхняка рамы на контакте со стойкой крепи усиления показана на эпюрах рис. 5.6, где приведены схемы крепежной и охранной систем для разных шахт Западного Донбасса. Многовариантными вычислительными экспериментами установлено, что появление и развитие областей пластических деформаций в месте контакта верхняка и стойки возможно в различных горно-геологических условиях и определяется в основном деформационно-силовой характеристикой стойки, то есть зависимостью реакции нагрузки от податливости крепи во время противодействия опусканию кровли.

При повышенной жесткости деревянной стойки ($d = 24$ см) ее повышенная реакция, если податливость невелика, провоцирует активный изгиб верхняка рамы в месте контакта, о чем свидетельствует появление достаточно обширной области действия приведенных напряжений σ , превышающих предел текучести стали марки Ст.5, – происходит пластическое течение стали (по всей поперечной площади сечения профиля СВП) с резким падением сопротивления верхняка (см. рис. 5.6, а).

В случае уменьшения диаметра деревянной стойки до 20 см ее реакция сопротивления снижается, а податливость увеличивается, в том числе и за счет существенных деформаций (см. рис. 5.6, б). Область пластического состояния верхняка рамы заметно уменьшается и уже не распространяется на всю площадь поперечного сечения СВП, – снижение несущей способности верхняка невелико. Если центральная стойка крепи усиления малого диаметра ($d = 16$ см), то она работает на грани потери устойчивости (см. рис. 5.6, в), в ее нижней части прослеживаются две полуволны поперечного изгиба – вторая форма потери устойчивости по Эйлеру. Причем податливость стойки резко увеличивается при снижении ее реакции сопротивления. В результате в месте контакта стойки с верхняком рамы интенсивность приведенных напряжений σ составляет всего 50 – 60% предела текучести стали Ст.5 и такой режим работы стойки не генерирует дополнительные возмущения напряженно-деформированного состояния в верхняке рамы, а промежуточная опора резко повышает несущую способность рамной крепи в целом.

Результаты проведенных исследований подтверждают целесообразность применения жесткоподатливого режима работы стоек крепи усиления с максимальным приближением к режиму их постоянного сопротивления, который характеризуется следующими условиями:

- минимальной податливостью (в пределах упругих деформаций материала) при росте реакции сопротивления;
- переходом в режим постоянного сопротивления после достижения значения Q_1 с небольшим колебанием реакции при увеличении податливости вплоть до наступления равновесного состояния всей геомеханической системы поддержания выработки.

Кроме того, была решена задача по установлению рациональной реакции Q_1 в зависимости от горно-геологической условий поддержания выемочной

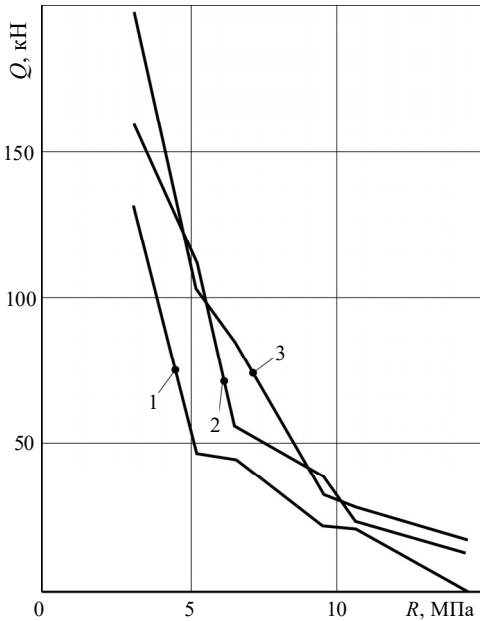


Рис. 5.7. Связь нагрузки Q на центральную стойку крепи усиления со средним расчетным сопротивлением сжатию R близлежащих пород кровли при глубине размещения выемочной: 1 – $H = 200$ м; 2 – $H = 400$ м; 3 – $H = 600$ м

выемочной выработки. Согласно результатам многовариантных вычислительных экспериментов (рис. 5.7) на формирование размеров свода предельного равновесия выемочной выемочной выработки существенное влияние оказывают два основных параметра: глубина H размещения выемочной выработки и сопротивление сжатию R близлежащих пород кровли.

Закономерности связи таковы, что с увеличением глубины размещения выемочной выработки наблюдается практически линейный закон роста требуемой реакции Q_1 стойки, а с параметром R выявлена обратно пропорциональная зависимость, которая стремится к нулю (установка центральных стоек крепи усиления нецелесообразна) при среднем расчетном сопротивлении сжатию близлежащих пород кровли $R \geq 12 - 15$ МПа. При весьма неустойчивых породах кровли ($R \leq 5 - 7$ МПа) требуемая несущая способность стойки возрастает до 100 – 200 кН. Практически

это достигается выбором диаметра деревянной стойки, типоразмера стойки трения или гидростойки.

Путем статической обработки результатов расчета напряженно-деформированного состояния крепежной системы получено уравнение для определения требуемой реакции сопротивления стойки:

$$Q = 620 / R^{1.7} (1 + 2.1 \cdot 10^{-3} H). \quad (5.2)$$

При расчете также следует учитывать рекомендуемый режим постоянного сопротивления во время работы стоек.

Чтобы обеспечить надежный режим постоянного сопротивления, рекомендуется применять стойки трения из СВГ или гидростойки с несущей способностью, соответствующей нагружению со стороны породного массива, для которых регулирование сопротивления Q_1 рационально.

Наиболее значимо на степень нагруженности центральных стоек крепи усиления крепежной системы выемочной выработки влияют глубина ее размещения и среднее расчетное сопротивление сжатию близлежащей углевмещающей толщи. Закономерности влияния этих факторов использованы в процессе поиска рациональных параметров установки центральных стоек крепи в выемочной выработке в зависимости от геомеханических условий ее поддержания.

Конструктивные особенности стоек трения из спецпрофиля СВП и гидростоек, обеспечивающие работу в режиме постоянного сопротивления, придают им универсальность в управлении нагружением рамной крепи в оптимальном режиме. Нерегулируемый жесткий режим работы деревянных стоек крепи усиления зачастую приводит к потере их устойчивой формы и разрушению, то есть утрачиваются их первоначальные функции по усилению крепежной системы.

5.6. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ПОДАТЛИВОЙ СТОЙКИ КРЕПИ УСИЛЕНИЯ НА НДС КРЕПЕЖНОЙ СИСТЕМЫ ВЫРАБОТКИ

В ходе выполнения предыдущих этапов анализа НДС различных вариантов крепежных систем надрабатываемых штреков отмечалось негативное влияние (на верхняк рамы) работы жесткой деревянной стойки крепи усиления. Для проверки рекомендаций по повышению устойчивости верхняка рамной крепи были проведены вычислительные эксперименты с установкой центральной гидростойки при сохранении всех прочих равных условий крепежной системы «рама – сталеполимерные и канатные анкера в кровле».

Анализ состояния крепежной системы проведен по трем основным компонентам: вертикальным σ_y , горизонтальным σ_x и интенсивности напряжений σ .

5.6.1. АНАЛИЗ ВЕРТИКАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ НАПРЯЖЕНИЙ

Эпюра распределения вертикальных напряжений σ_y в элементах крепежной системы с центральной гидростойкой приведена на рис. 5.8 и характеризуется следующими особенностями.

Верхняк рамы подвержен наиболее сильному влиянию режима работы центральной стойки крепи усиления. Это влияние имеет разную интенсивность по длине верхняка. На его периферийных участках (около замков податливости) эпюра σ_y изменяется малосущественно по сравнению с вариантом установки деревянных стоек крепи усиления. Так, основной интер-

вал вариации σ_y составляет от 1 – 2 МПа растяжения до 20 – 25 МПа сжатия, что не превышает 7 – 9% от величины расчетного предела текучести стали СВП. Изгибающий момент минимален: на участке ниже координат расположения хвостовиков канатного анкера изгиб направлен в сторону пород кровли; на участке выше хвостовика – наблюдается прогиб в полость штрека. В целом, достаточная равномерность распределения σ_y в попе-

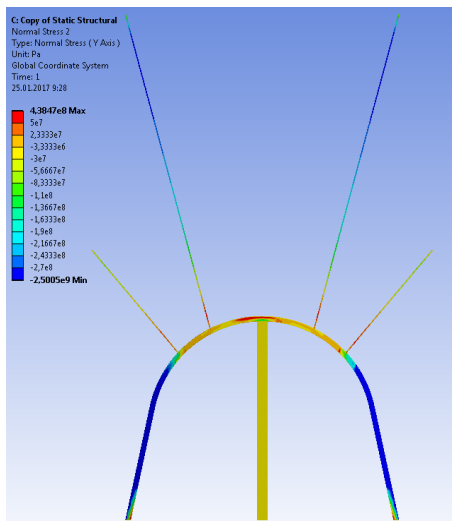


Рис. 5.8. Эпюра вертикальных напряжений σ_y для варианта крепежной системы с центральной гидравлической стойкой

речном сечении СВП и малые их абсолютные значения указывают на высокую степень устойчивости верхняка (по фактору действия вертикальных напряжений) на периферийных участках длиной до 0,6 м со стороны очистного забоя и до 0,7 м со стороны нетронутого массива.

В центральной части верхняка ситуация резко меняется: появляются определенные возмущения σ_y с некоторой их асимметрией в сторону очистного забоя надрабатывающей лавы; этот участок занимает длину 0,7 – 0,8 м. При приближении к центральной гидростойке увеличиваются растягивающие σ_y до 40 – 70 МПа, что составляет всего 15 – 26% от расчетного предела текучести стали и не представляет опасности для устойчивости верхняка. Причем, имеет место разновекторный изгиб: со стороны нетронутого массива – в полость выработки; со стороны очистного забоя – в сторону кровли.

Непосредственно в районе контакта с гидростойкой (по ширине до 300 мм) направление изгиба наблюдается в сторону кровли, однако концентрация сжимающих σ_y невелика – всего до 50 – 80 МПа (19 – 30% от расчетного предела текучести стали).

Таким образом, установлено, что при установке гидростойки (податливый режим работы) не происходит «традиционного» перегиба в верхняке рамы, как это наблюдалось в вариантах с жесткой деревянной стойкой крепи усиления. Уровень действующих концентраций σ_y более чем в 3 раза меньше расчетного предела текучести стали СВП, что не только отмечает устойчивое состояние верхняка рамы, но и подтверждает целесообразность применения податливых стоек крепи усиления, например, гидростоек в период прохождения лавы над штреком. Следовательно, учет режимов взаимодей-

ствия элементов крепежной системы (особенности выявлены по результатам вычислительного эксперимента) позволяет радикально изменить состояние верхняка по фактору действия вертикальных напряжений.

В стойках рамной крепи существенных изменений эпюры σ_y не отмечаются при сравнении вариантов с деревянной и гидравлической стойками крепи усиления в верхней части стоек (в районе замков податливости) длиной 300 – 350 мм σ_y увеличивается от небольших растягивающих (до 20 – 30 МПа) до весомых напряжений сжатия (80 – 190 МПа), а с переходом в прямолинейную часть стоек σ_y достигает 80 – 90% от величины расчетного предела текучести стали СВП. В прямолинейной части стоек вертикальные напряжения стабильны, близки, но не достигают расчетного предела текучести стали СВП. Такое околопредельное состояние стоек рамы указывает на их высокую степень нагруженности. Однако практически равномерное распределение σ_y в поперечном сечении СВП минимизирует изгибающий момент вплоть до его полного исчезновения; этот довод несколько улучшает прогноз устойчивости стоек. В их нижней части на высоте до 0,5 м появляется весомый изгибающий момент, что позволяет прогнозировать высокую вероятность изгиба района опор стоек в полость выработки.

Гидростойка благодаря своей работе в режиме практически постоянного сопротивления отличается чрезвычайной однородностью эпюры σ_y . Равномерность вертикальных сжимающих напряжений до 30 МПа указывает на полное отсутствие изгибающего момента и каких-либо концентраций σ_y : гидростойка работает в благоприятных условиях нагружения, а ее реакция сопротивления соответствует технической характеристике.

Комбинированная анкерная система активно сопротивляется опусканиям пород кровли, а параметры распределения σ_y несколько отличаются от таковых в сравнении с вариантом установки жестких деревянных стоек крепи усиления.

Вполне закономерно, что податливая гидростойка, обеспечивая определенную податливость верхняку рамы, способствует перераспределению части ее сопротивления на комбинированную анкерную систему. Происходит увеличение на 15 – 20% растягивающих напряжений σ_y в сталеполимерных и канатных анкерах, но это проявляется лишь в близлежащем породном слое кровли на расстоянии 0,6 – 0,9 м, а далее по длине анкеров различия в эпюрах σ_y уменьшаются. Данный факт можно объяснить следующим образом: общеизвестно, что наиболее активные расслоения кровли происходят вблизи контура выработки и именно здесь, если верхняк рамы «уходит» от повышенного горного давления, то эту разницу должно компенсировать сопротивление других крепежных элементов, которыми в данном случае являются сталеполимерные и канатные анкера.

В целом по результатам анализа эпюры распределения вертикальных напряжений установлены два фактора, связанные с заменой жесткой деревянной стойки на податливую гидростойку крепи усиления:

- состояние верхняка рамы коренным образом улучшается, его перегиба в районе центральной стойки не прогнозируется, так как максимумы σ_y более чем в 3 раза ниже величины расчетного предела текучести стали СВП;
- распределение σ_y в остальных крепежных элементах изменяется либо малосущественно, либо на ограниченных участках длины анкеров.

5.6.2. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭПЮРЫ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ НАПРЯЖЕНИЙ

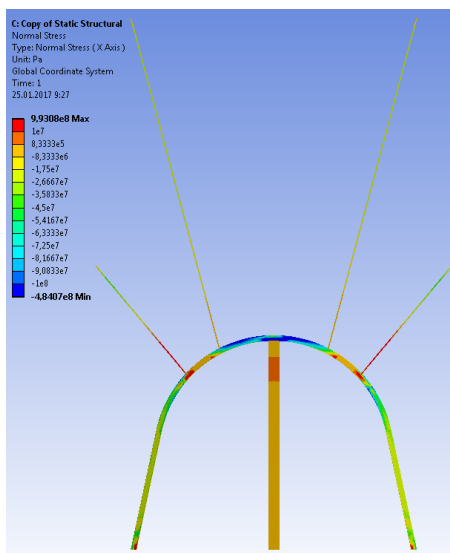


Рис. 5.9. Эпюра горизонтальных напряжений σ_x для варианта крепежной системы с центральной гидравлической стойкой

Для иллюстрации сравнительного анализа распределения горизонтальных напряжений при двух вариантах центральных стоек крепи усиления на рис. 5.9 приведена эпюра σ_x .

Наиболее существенные отличия наблюдаются в верхняке рамной крепи, что вполне прогнозируемо, так как именно он контактирует с центральной стойкой, у которой принципиально изменился режим сопротивления; к тому же, горизонтальные напряжения наиболее информативно описывают процесс изгиба верхняка под воздействием горного давления. Локальные области верхняка (длиной 200 – 250 мм) в районе замков податливости рамы подвержены действию изгибающего момента, направленного в полость выработки. Однако, уровень σ_x (от растяжения порядка 10 – 30 МПа до сжатия в диапазоне до 50 – 70 МПа) не позволяет судить о какой-либо опасности

с точки зрения появления пластических деформаций изгиба, так как σ_x не превышает 19 – 26% от величины расчетного предела текучести стали СВП. Далее, при движении к центральной части верхняка действуют только напряжения сжатия: в нижней части сечения СВП – порядка 40 – 75 МПа, в верхней – 70 – 90 МПа. Перепад σ_x по высоте сечения СВП невелик, что указыва-

ет на пониженный изгибающий момент, а сами максимумы σ_x в 3 раза меньше расчетного предела текучести стали.

В центральной части свода в районе контакта с гидростойкой направление изгиба верхняка меняется: прослеживаются тенденции его перегиба вокруг гидростойки. Так, в верхней части сечения СВП действуют сжимающие $\sigma_x = 55 - 70$ МПа, в нижней части сечения $\sigma_x = 90 - 110$ МПа. Приведенные данные отмечают два факта: *во-первых*, относительно небольшой перепад σ_x на внешней и внутренней поверхностях СВП указывает на действие весьма ограниченного изгибающего момента; *во-вторых*, максимумы σ_x не превышают 41% от расчетного предела текучести стали. В итоге, состояние верхняка рамы (по фактору действия σ_x) следует оценить как весьма устойчивое без каких-либо признаков появления его пластического перегиба относительно центральной стойки. Следовательно, гидростойка, благодаря своей работе в режиме постоянного сопротивления, устраняет опасные концентрации σ_x и саму возможность появления пластических деформаций в верхняке рамной крепи.

В стойках рамной крепи не произошло существенных изменений эпюры σ_x в связи с заменой жесткой деревянной стойки на податливую гидростойку. Имеет место относительно равномерное (в поперечном сечении СВП) распределение σ_x за исключением района опор стоек на высоту до 0,6 м. В криволинейной части стоек сжимающие σ_x изменяются в интервале 30 – 45 МПа, а отдельные локальные понижения σ_x до 0 – 10 МПа наблюдаются только в районе замков податливости рамы. В прямолинейной части стоек сжимающие σ_x уменьшаются до 20 – 25 МПа и лишь в районе опор стоек возникают некоторые возмущения σ_x с появлением растягивающих σ_x до 10 – 30 МПа. В целом, уровень действующих горизонтальных напряжений весьма невелик и по фактору распределения σ_x следует указать на устойчивое состояние рамной крепи.

В гидростойке наблюдается весьма однородное распределение σ_x в ее поперечном сечении, что лишним раз подчеркивает особенность «самовыравнивания» нагрузки по площади сечения за счет податливости стойки и ее «ухода» не только от повышенной вертикальной нагрузки, но и от ее косонаправленного действия. На подавляющей части высоты стойки (89%) величина σ_x минимальна в интервале от 0,8 МПа растяжения до 8 МПа сжатия и лишь на остальном участке появляются растягивающие напряжения до 5 – 6 МПа, что можно объяснить известным эффектом развития поперечных деформаций при продольном сжатии.

В комбинированной анкерной системе влияние замены деревянной стойки на гидростойку малозаметно в целом и ощущается лишь в приконтурной части длины анкеров:

– в канатных анкерах минимальный уровень σ_x (от 0,8 МПа растяжения до 8 МПа сжатия) наблюдается в приконтурной части длиной 0,8 – 1,0 м; далее, по мере приближения к заглубленной части канатного анкера сжимающие σ_x увеличиваются до 17 – 25 МПа, что, очевидно, обусловлено повышением горизонтальных напряжений в породных стенках шпура и окружающем массиве в целом;

– в сталеполимерных анкерах (из-за их пониженного угла наклона) более весомо проявляются растягивающие σ_x , что указывает на активное сопротивление анкеров боковым подвижкам приконтурного массива; так, на длине 0,9 – 1,1 м приконтурной части сталеполимерных анкеров растягивающие σ_x достигают 30 – 50 МПа и препятствуют расслоению породы.

В целом, по итогам анализа распределения горизонтальных напряжений в основных элементах крепежной системы можно сделать такие выводы относительно установки центральной гидростойки:

– максимальное влияние имеет место на верхняк рамы в плане ликвидации концентраций σ_x и высоких изгибающих моментов; полностью исключена вероятность появления пластических деформаций;

– остальные крепежные элементы не подвержены влиянию режима работы гидростойки в части существенного изменения горизонтальных напряжений.

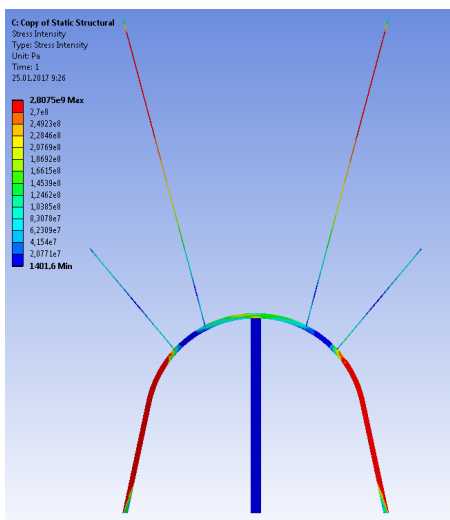


Рис. 5.10. Эпюра интенсивности напряжений σ для варианта крепежной системы с центральной гидравлической стойкой

5.6.3. АНАЛИЗ ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ

Результат изменений эпюр компонент напряжений при установке гидростойки подытожен путем изучения поля интенсивности напряжений σ в основных элементах рекомендуемой крепежной системы надрабатываемой выработки (рис. 5.10).

По мере приближения к центральной части свода выработки интенсивность напряжений возрастает до 140 – 180 МПа (52 – 67% от расчетного предела текучести стали СВП), но эти значения далеки от опасных. К тому же, высокая степень равномерности распределения σ по площади сечения СВП указывают на отсутствие сколь угодно значимого изгибающего момента на этих участках верхняка.

Весьма умеренный изгибающий момент появляется на двух участках верхняка: непосредственно в районе контакта с гидростойкой и на участке длиной 300 – 350 мм, примыкающем к гидростойке со стороны очистного забоя. Здесь перепад σ по высоте сечения СВП составляет всего 50 – 60 МПа, который не способен сформировать существенный изгибающий момент, но отчетливо прослеживается изменение его знака: со стороны очистного забоя прогиб направлен в полость выработки, а непосредственно на контакте с гидростойкой – в сторону пород кровли. На этих участках максимумы $\sigma = 190 - 210$ МПа, что по отношению к расчетному пределу текучести стали СВП составляет 70 – 78%. Обобщая приведенные данные можно утверждать о достаточной степени устойчивости верхняка с немалым запасом прочности, что не наблюдается при установке жестких деревянных стоек крепи усиления.

Сами стойки рамной крепи практически не подвержены влиянию режимов работы гидростойки в плане изменения эпюры распределения интенсивности напряжений σ . В верхней части стоек вблизи замков податливости рамы σ имеют пониженную величину в интервале 40 – 120 МПа, но по мере приближения к прямолинейной части стоек интенсивность напряжений подходит к опасным значениям, составляя 85 – 96% от расчетного предела текучести стали СВП. Однако, распределение σ в поперечном сечении СВП весьма равномерное (вплоть до района опор стоек), что указывает на отсутствие сколь-нибудь существенного изгибающего момента и позволяет прогнозировать устойчивое состояние стоек, хотя и близкое к предельному. В районе опор на высоту до 0,4 м появляются возмущения σ в поперечном сечении СВП, которые фиксируют появление существенного изгибающего момента, деформирующего стойку в полость выработки. В целом отмеченные параметры распределения σ практически не отличаются от варианта с установкой жесткой деревянной стойки крепи усиления. Этот факт объясняется тем, что гидростойки (вне зависимости от податливого режима своей работы) оказывает активное сопротивление вертикальному горному давлению, помогая стойкам рамной крепи на том же уровне, что и центральная деревянная стойка.

Распределение σ в гидростойке отличается чрезвычайно высокой равномерностью как в поперечном сечении, так и по ее высоте. Податливый режим работы способствует более полной «адаптации» стойки к характеру проявлений горного давления, что практически исключает возникновение каких-либо концентраций напряжений. Данная особенность позволяет гидростойке развивать «штатное» усилие сопротивления в соответствии с ее технической характеристикой.

В комбинированной анкерной системе распределение интенсивности напряжений весьма схоже с вариантом установки центральной деревянной стойки. Следует отметить высокую эффективность работы канатных анкеров по сопротивлению сдвиганиям пород кровли штрека. На заглубленном участке (протяженностью 52 – 57% от общей длины анкера) интенсивность напряжений составляет 77 – 98% от величины расчетного предела текучести

каната, а на оставшейся его длине он также активно предотвращает расслоения пород кровли.

Сталеполимерные анкера на границах свода выработки работают по ограничению расслоений боковых пород и создают относительно целостные концевые участки армопородной плиты над всей выработкой и за пределами ее ширины в боках.

Таким образом, результаты анализа НДС крепежной системы с использованием центральной гидростойки в качестве крепи усиления убедительно доказывают целесообразность применения последней в направлении повышения устойчивости верхняка рамы не в ущерб остальным крепежным элементам.

ВЫВОДЫ

1. Установлена зависимость координат установки и угла наклона сталеполимерных анкеров в своде выемочной выработки от интенсивности горного давления b^r при учете его проявления в породах непосредственной кровли в зависимости от мощности вынимаемого пласта b_m^r . Эффективность противодействия армопородной плиты вертикальному горному давлению повышается за счет снижения напряженности пород в боках выработки, которые являются опорами для распорной системы в кровле.

2. Обоснован критерий оценки уровня сопротивления анкеров в составе комбинированной анкерной системы, который использован для установления наиболее влияющих геомеханических факторов в части степени нагруженности системы: глубина размещения выработки, среднее расчетное сопротивление сжатию близлежащего массива пород, отношение расчетного сопротивления сжатию пород непосредственной кровли к ее мощности.

3. Установлены закономерности степени нагрузки (дифференцированно) анкеров в составе комбинированной анкерной системы от основных влияющих геомеханических факторов. Доказана градация уровня сопротивления анкеров проявлениям горного давления: максимум противодействия создают канатные анкера, установленные со стороны выработанного пространства; минимум – сталеполимерные анкера.

4. Компоненты напряжений σ , σ_x и σ_y во всех элементах схем крепления практически не подвержены влиянию реакции центральных податливых стоек крепи усиления за исключением локальных участков в верхняке рамы в районе их совместного контакта. Это указывает на целесообразность исключения центральной стойки крепи усиления с жесткой рабочей характеристикой.

5. Установлены рациональные координаты размещения анкеров в центральной части свода выемочной выработки и углы их наклона в зависимости от типоразмера сечения выемочной выработки. Полученные закономер-

ности являются основой для поиска рациональных параметров комбинированной анкерной системы с конечной целью разработки методики выбора ее параметров в зависимости от горно-геологических условий поддержания выемочной выработки.

б. В результате исследований изменения НДС крепежной системы при установке гидростойки (податливый режим работы) сформулированы следующие выводы.

– наблюдавшийся ранее (при установке жестких деревянных стоек крепи усиления) пластический перегиб верхняка рамы не происходит; уровень действующих концентраций вертикальных напряжений σ_y более чем в 3 раза меньше расчетного предела текучести стали СВП, что доказывает целесообразность применения податливых стоек крепи усиления. Изменения распределения σ_y в остальных элементах крепежной конструкции не представляют опасности для ее устойчивого противодействия вертикальному горному давлению;

– гидростойка, благодаря своей работе в режиме постоянного сопротивления, устраняет опасные концентрации горизонтальных напряжений σ_x и саму возможность появления пластических деформаций в верхняке рамной крепи. Не отмечено существенного влияния изменения режима работы стойки крепи усиления на эпюру распределения σ_x в стойках рамы и комбинированной анкерной системе;

– результирующая оценка крепежной конструкции по величине интенсивности напряжений подтвердила вывод о достаточной устойчивости верхняка рамы (противодействует горному давлению с немалым запасом прочности), чего не наблюдается при установке жестких деревянных стоек крепи усиления. В целом, полученные результаты убедительно доказывают целесообразность использования центральных податливых стоек крепи усиления с их установкой впереди зоны фронтального проявления горного давления очистного забоя и демонтажем позади лавы в зоне стабилизации аномалий горного давления.

6. РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ УПРОЧНЕНИЯ ПОРОД КРОВЛИ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК КОМБИНИРОВАННОЙ АНКЕРНОЙ СИСТЕМОЙ

6.1. ОБОСНОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ РАСПОЛОЖЕНИЯ СТАЛЕПОЛИМЕРНЫХ АНКЕРОВ В ПОРОДАХ СВОДА ВЫРАБОТКИ

В соответствии с общей стратегией выбора параметров элементов крепежной системы выемочной выработки в зависимости от горно-геологических условий ее поддержания основная задача настоящего раздела состоит в определении рациональных параметров размещения сталеполимерных и канатных анкеров, упрочняющих породы кровли пластовой выработки. Под рациональными параметрами сталеполимерных и канатных анкеров понимаются такие, которые реализуют два условия: с одной стороны, анкера совместно с упрочненными породами кровли должны максимально разгружать рамную крепь для эффективного ограничения потери сечения выработки; с другой стороны, анкера в кровле должны работать с максимальной реакцией сопротивления горному давлению, то есть, устанавливаться в минимально достаточном количестве.

Отдельное рассмотрение сталеполимерных и канатных анкеров в кровле выработки продиктовано следующим обстоятельством.

Во-первых, длина канатных анкеров в два и более раза превышает длину сталеполимерных, что предопределяет разные области упрочнения приконтурных пород.

Во-вторых, их функции существенно отличаются друг от друга. Сталеполимерные анкера при упрочнении пород непосредственной кровли свода выработки ограничивают ее расслоение и совместно с боковыми анкерами создают связи между отдельными породными блоками. В конечном итоге формируется породная плита, воспринимающая на себя часть горного давления, что снижает нагрузку на рамную крепь.

Канатные анкера связывают непосредственную и основную кровлю, что повышает устойчивость как одного, так и другого породных объемов над выработкой и защищают крепь от горного давления.

Перечень параметров установки сталеполимерных анкеров, размещенных в кровле выработки по контуру верхняка рамы, состоит из определения угла наклона β_i анкера к горизонтальной оси выработки и его несущей способности (выраженная через диаметр d_i «арматуры»). Задается длина сталеполимерных l_i анкеров (2,4 м), что обусловлено их функцией по формированию грузонесущей армопородной плиты в кровле выработки. Размеры свода предельного равновесия в кровле (в зоне стабилизации проявлений горного давления)

таковы, что в большинстве случаев этой длины недостаточно для закрепления их замков в устойчивых породах и эту функцию делегируют канатным анкерам. Четвертым параметром является координата установки каждого анкера x_i , которая отсчитывается от вертикальной оси выработки по горизонтали.

При выявлении связи координат установки x_i сталеполлимерных анкеров с геомеханическими факторами по сформулированным выше условиям использованы закономерности изменения степени нагруженности анкеров. Силовой потенциал сталеполлимерных анкеров в кровле реализуется только при интенсивном проявлении вертикальной составляющей горного давления. Это важно для условий Западного Донбасса, где глубина заложения выработки $H \geq 400 - 450$ м и слабые породы близлежащего углевмещающего массива ($R \leq 10 - 15$ МПа), а также низкое сопротивление сжатию пород непосредственной кровли при ее повышенной мощности ($b_m^r \leq 15 - 20$ МПа/м). Здесь сталеполлимерные анкера активно сопротивляются процессам расслоения и опускания пород кровли выработки, что предполагает повышенную плотность их установки. На практике данная горно-геологическая ситуация характеризуется размещением в кровле выработки порядка 7 – 9 анкеров. В более благоприятных горно-геологических условиях количество анкеров в кровле существенно снижается (до 3 – 5 анкеров), поскольку они остаются недогруженными, как показывают результаты вычислительных экспериментов [20].

Вопрос о минимально необходимом количестве сталеполлимерных анкеров в кровле совмещен с поиском координаты x_i расположения каждого анкера. При этом перебор вариантов расчета существенно упрощается исходя из следующих соображений.

Во-первых, установлено, что степень нагрузки анкеров прямо пропорционально глубине H размещения выработки и обратно пропорциональна величине среднего расчетного сопротивления сжатию R близлежащей углевмещающей толщи. Под этим термином понимается радиус влияния выемочной выработки на окружающие ее породы, который составляет 3 – 5 ширины выработки. Таким образом, подтверждаются известные тенденции развития горного давления, интенсивность которого традиционно связывают с отношением $\frac{H}{R}$, которое для упрощения обозначено b^r . Кроме того, по причине

постепенного увеличения параметра H (по технологии расчета упруго-пластической задачи) в ходе одного вычислительного эксперимента можно получить набор значений по степени нагруженности анкеров.

Во-вторых, используя данные исследований [20], варианты с повышенным количеством сталеполлимерных анкеров в кровле рассчитываются только для ограниченного круга сложных горно-геологических условий, отмеченных выше.

В-третьих, при существенной недогрузке каких-либо анкеров они исключаются из рассмотрения при сохранении их результатов. При этом нагрузка,

воспринимаемая недогруженными анкерами, учитывается при увеличении интенсивности напряжений за счет резерва сопротивления, обусловленного площадкой и стадией упрочнения любой стали «арматуры» анкера.

Используя изложенный подход, получены графики зависимостей координат

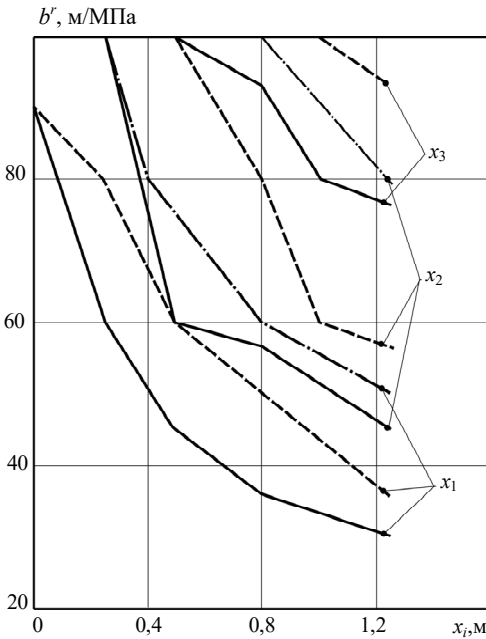


Рис. 6.1. Связь координат x_i ($i = 1, 2, 3$) установки сталеполимерных анкеров в центральной части свода выработки от параметра b^r : — $b_m^r = 4,8$ МПа/м;

-- $b_m^r = 10,2$ МПа/м; - · - $b_m^r = 15,6$ МПа/м

брина расположения выработки при пониженной крепости окружающего массива) сталеполимерные анкера целесообразно сосредотачивать ближе к замку свода, что продиктовано весьма интенсивным расслоением кровли преимущественно посередине пролета выработки, то есть, в центральной части ее свода. При повышенной устойчивости вмещающих пород (снижение величины b^r) координаты установки анкеров перемещаются ближе к пяте свода, а количество анкеров в кровле снижается, что не противоречит существующим представлениям и рекомендациям. Анкера, для которых координата x_i достигает или превышает координату расположения замка податливости рамы, переходит в иное качество – верхних боковых анкеров и их рациональные параметры уже установлены в работе [35]. При этом количест-

x_i установки сталеполимерных ан-

керов от параметров b^r и b_m^r , которые приведены на рис. 6.1. Предварительно установлено, что размещать более шести анкеров в центральной части кровли не рационально ввиду их низкой загруженности. Это подтверждается как серией многовариантных расчетов НДС крепежной системы [20], так и опытом поддержания выемочных выработок. Тогда при симметричной (относительно вертикальной оси выработки) схеме установки анкеров необходимо проанализировать изменение трех координат x_i ($i = 1, 2, 3$) в зависимости от горно-геологических условий.

Наблюдается обратно пропорциональная связь координат x_i с

величиной отношений b^r , которая стабильно повторяется для всех вариантов расчета вне зависимости от количества анкеров в своде выработки. При большой величине

отношения b^r (повышенная глу-

во анкеров в кровле снижается.

Иным образом на координаты установки сталеполимерных анкеров влияет отношение b_m^r . С увеличением крепости породы кровли нагрузка на анкера снижается, и их количество целесообразно уменьшать, что соответствует увеличению расстояния между анкерами (смещению координат их установки от замка к пяте свода).

Выявленные закономерности связи рациональных координат установки сталеполимерных анкеров в своде выработки с геомеханическими параметрами ее поддержания позволили получить набор уравнений регрессии по расчету значений x_1, x_2, x_3

$$x_1 = -5,8 \cdot 10^{-2} b_m^r \ln(0,015b^r - 0,52), \text{ м}; \quad (6.1)$$

$$x_2 = 10^{-2} b_m^r [4,8 - 10,9 \ln(0,015b^r - 0,52)], \text{ м}; \quad (6.2)$$

$$x_3 = 10^{-2} b_m^r [12,6 - 17,2 \ln(0,015b^r - 0,52)], \text{ м}. \quad (6.3)$$

В приведенных выражениях индекс «1» обозначает координату x_1 установки сталеполимерного анкера с минимальным расстоянием от вертикальной оси выработки, а индекс «3» – с максимальным расстоянием. Если величина x_3 превышает горизонтальную координату расположения замка податливости рамной крепи, то крайний анкер исключается из схемы установки анкеров в своде. Аналогичным образом рассматривается целесообразность установки в своде сталеполимерных анкеров с координатами x_2 и x_1 . Тогда в некоторой области соотношения геомеханических параметров нет необходимости в установке анкеров по контуру свода на участке между замками податливости рамы. Обоснованность данного утверждения состоит в том, что устойчивая кровля не нагружает анкера до уровня их активной работы по сопротивлению горному давлению. Оказывает влияние и длина анкеров, где имеет место разные смещения пород кровли в хвостовике и на участке замка. При увеличенной длине анкеров разница в указанных смещениях возрастает, что способствует их полноценной нагрузке. Следует отметить особенности работы рамной крепи по поддержанию кровли выемочной выработки. Верхняя рама менее нагружена, чем ее стойки крепи, особенно, в благоприятных горно-геологических условиях шахт Западного Донбасса [20].

Таким образом, существует область горно-геологических условий, когда наблюдается низкая эффективность упрочнения сталеполимерными анкерами пород кровли в пределах центральной части свода выработки. Для определения границ этой области получены следующие соотношения геомеханических параметров для выемочных выработок с крепью КШПУ:

– для КШПУ – 11,0 (11,7)

$$b^r \leq 34,7 + 66,7 \exp(-17,2b_m^r), \text{ м/МПа}; \quad (6.4)$$

– для КШПУ-15,0

$$b^r \leq 34,7 + 66,7 \exp(-19,8b_m^r), \text{ м/МПа}; \quad (6.5)$$

– для КШПУ-17,7

$$b^r \leq 34,7 + 66,7 \exp(-22,4b_m^r), \text{ м/МПа}. \quad (6.6)$$

При величине b^r меньше расчетной по формулам (6.4) – (6.6) не рекомендуется установка сталеполимерных анкеров в центральной части свода.

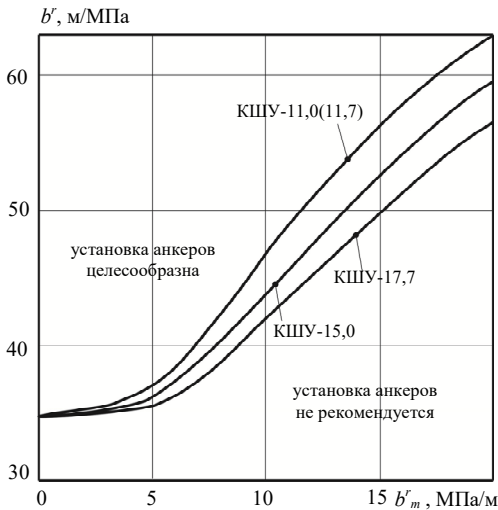


Рис. 6.2. Область целесообразного размещения сталеполимерных анкеров в центральной части свода выемочной выработки

В противном случае координаты размещения анкеров и их количество определяются по формулам (6.1) – (6.3).

Для оперативной оценки целесообразности размещения анкеров в центральной части свода выработки построены графики, определяющие границу указанных областей по соотношениям геомеханических параметров b^r и b_m^r , которые приведены на рис. 6.2.

Следующими параметрами установки сталеполимерных анкеров в своде выемочной выработки являются их угол наклона β_i и диаметр d_i несущего стержня.

При исследовании постоянно отмечался факт недогрузки рассматриваемой группы анкеров. Здесь нецелесообразно применять анкер

обычной конструкции, несущая способность которой оценивается порядка 200 кН [4, 87, 88]. Рекомендуются конструкции с уменьшенным диаметром «арматуры» в интервале $d_i = 15 - 18$ мм, сопротивление разрыву которой до 2 – 2,5 раза ниже, чем у обычных конструкций. Этого вполне достаточно для формирования армопородной грузонесущей плиты в кровле выработки. Поэтому для данной группы анкеров нецелесообразно проводить исследования по выявлению закономерностей связи диаметра «арматуры» с геомеханическими параметрами поддержания выработки. Величина диаметра d_i выбирается постоянной для всей группы анкеров в пределах вышеуказанного интервала.

Иная ситуация имеет место с выбором рациональных углов β_i наклона сталеполимерных анкеров к горизонтальной оси выработки. Этот параметр

связан с координатой x_i и является переменным для анкеров, устанавливаемых в центральной части свода выработки. Максимальный эффект упрочнения массива достигается когда продольная ось анкера совпадает с вектором перемещений пород кровли при данной координате x_i [42]. В соответствии с общей тенденцией изменения вектора перемещений пород от вертикального в замке свода до косонаправленного в его пяте получены закономерности связи угла β_i наклона анкера с координатой x_i его установки, которые отражены на графиках рис. 6.3. Наблюдается стабильное знакопеременное снижение β_i при смещении места установки анкера (увеличение координаты x_i) в сторону замка податливости рамы. Эта стабильность подтверждается несущественным влиянием таких геомеханических параметров, как отношения b^r и b_m^r .

Так, при увеличении параметра b^r в 2 раза диапазон вариации угла наклона анкера составляет 0 – 10% с максимальным отклонением 11,8%. При уменьшении параметра b_m^r в 3,25 раза максимальное отклонение β_i не превышает 10%. Приведенные данные косвенно подчеркивают объективность критерия выбора угла наклона анкера по вектору перемещений окружающего массива в направлении полости выработки. Применение корреляционно-дисперсионного анализа результатов вычислительного эксперимента позволило получить следующее уравнение регрессии

$$\beta_i = 90(1 - 0,41x_i^{0,8}), \text{ град.} \quad (6.7)$$

Полезность выражения (6.7) в совокупности с формулами (6.1) – (6.3) заключается в возможности обоснованного выбора параметров установки сталеполлимерных анкеров по контуру свода выемочной выработки.

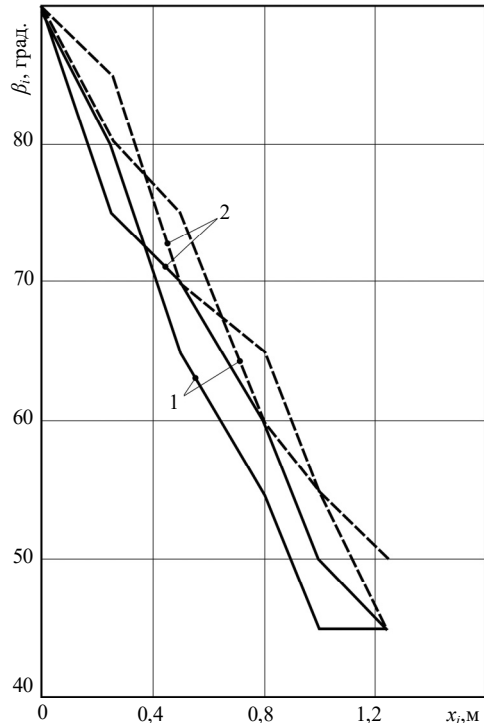


Рис. 6.3. Связь угла β_i наклона сталеполлимерного анкера с координатой x_i его установки в своде выемочной выработки при разных значениях параметра b^r :

— $b^r = 40$ м/МПа; - - $b^r = 80$ м/МПа;
1 - $b_m^r = 4,8$ МПа/м; 2 - $b_m^r = 15,6$ МПа/м

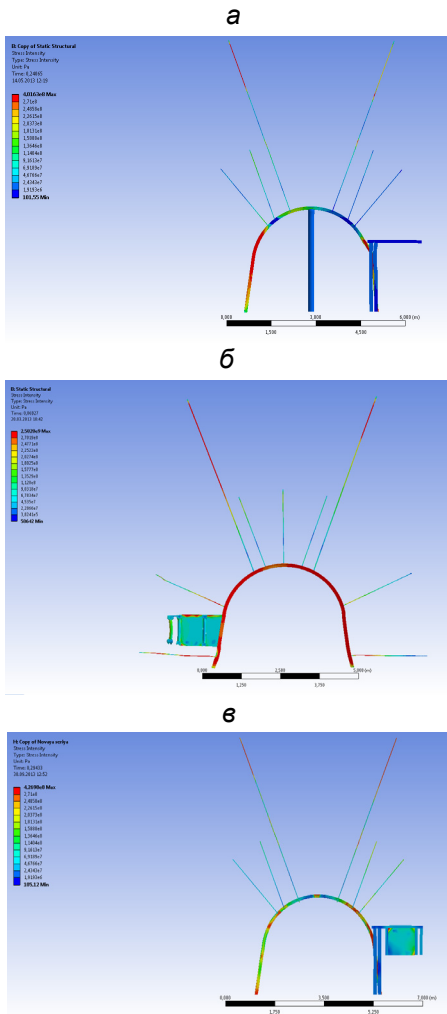


Рис. 6.4. Эпюры интенсивности напряжений σ в крепежной и охранной системах выемочных выработок шахт Западного Донбасса: а – шахта «Самарская» ШУ «Терновское»; б – шахта им. Героев Космоса ШУ «Героев Космоса»; в – шахта «Степная» ШУ «Першотравенское»

установки канатных анкеров в поперечном сечении относительно вертикальной оси выработки. Данное решение обосновано тем, что в качестве основного аргумента приведена перспектива повторного использования выемочной выработки и выравнивание асимметрии протекания геомеханиче-

6.2. ОБОСНОВАНИЕ И РАСЧЕТ УПРОЧНЕНИЯ ПОРОД СВОДА ВЫРАБОТКИ КАНАТНЫМИ АНКЕРАМИ

Канатные анкера выполняют основную функцию в процессе поддержания выемочной выработки в зоне влияния очистных работ. Глубинное упрочнение пород кровли, основной эффект которого состоит в ограничении расслоения мощной структуры из пород непосредственной и основной кровли, не только ограничивает их опускание в выработку, но и повышает сопротивление горному давлению.

Приведенная функция канатных анкеров принципиально отличает их от сталеполимерных. Для подтверждения данного тезиса на рис. 6.4 приведены эпюры интенсивности напряжений σ крепежных и охранных систем выемочных выработок на трех шахтах Западного Донбасса. В своде выработки четко прослеживается более высокая нагруженность канатных анкеров по сравнению со сталеполимерными вне зависимости от горно-геологических условий поддержания выработки, схемы размещения анкеров и применяемого способа охраны.

Исходя из изложенного, для канатных анкеров разработана методика расчета рациональных параметров, включающих: длину $l^{кан}$ анкера, диаметр $d^{кан}$ каната, координату $x^{кан}$ и угол $\beta^{кан}$ наклона его установки. Предполагается симметричность

ских процессов при подходе второй лавы.

Рациональная длина $l^{кан}$ канатного анкера выбирается по условию закрепления его замковой части за пределами свода предельного равновесия, то есть в относительно устойчивых породах основной кровли. Это условие записано в виде

$$l^{кан} \geq l_{зам} + b_l^K + l_{хв}, \quad (6.8)$$

где $l_{зам}$ – длина замка анкера;

$l_{хв}$ – длина хвостовой части анкера, выходящего в полость выработки; обычно принимают $l_{хв} = 0,1$ м;

b_l^K – ширина области разупрочнения боковых пород, определяется по формуле [58]

$$b_l^K = \frac{4,1l_{ox}^{0,73}}{R^{0,1}(R_1^K)^{0,21}} \left[1 - \exp(-5,9 \cdot 10^{-3} H) \right]. \quad (6.9)$$

Здесь l_{ox} – ширина охранной полосы.

В формуле (6.8) из неопределенных параметров остается только длина замка. Расчетами и испытаниями установлено, что несущая способность сталеполимерного анкера порядка 200 кН обеспечивается при длине замка $l_{зам} = 0,6 - 0,7$ м. Как минимум не меньшая несущая способность канатных анкеров достигается при длине замка не более 1,0 – 1,1 м.

Для определения минимально достаточной длины канатного анкера необходимо знать границы контура свода предельного равновесия, чему посвящено много исследований, начиная от проф. М.М. Протодьяконова [89], проф. П.М. Цимбаревича [90] и заканчивая современными методами моделирования геомеханических процессов [55, 73, 91]. Данные классические представления настолько аргументированы, что вошли в целый ряд нормативных документов [71, 72, 92, 93], в том числе и в отраслевой стандарт [71]. Однако, в указанном документе, наряду с расчетом высоты h свода, не учитывается ширина области разупрочненных пород в его боках, что доказано в работе и определено по уравнению регрессии (6.9). Принимая во внимание области разупрочнения в боках выработки, размеры свода предельного равновесия существенно увеличиваются, что обосновано еще проф. П.М. Цимбаревичем. Для уточнения размеров свода предложено использовать следующую комбинацию:

– высота свода h предельно равновесия определяется по документу [71];

– ширина области разупрочнения в боках выработки определяется по (6.9);

– форма контура свода определяется уравнением параболы согласно проф. М.М. Протодяконову

$$y = h \left[1 - \frac{4x^2}{(B + 2b_l^K)^2} \right], \quad (6.10)$$

где y и x – вертикальная и горизонтальная координаты с точкой отсчета, расположенной в замке свода выработки;

B – ширина выработки в проходке;

b_l^K – определяется по формуле (6.9); этот параметр принят к расчету как максимальный размер ширины области разупрочнения в боку выработки со стороны лавы, что идет в некоторый запас надежности вычислений, а при повторном использовании выработки размеры b_l^K и b_m^K будут уравниваться по своим значениям.

Условие закрепления замковой части канатного анкера за границей свода предельного равновесия преобразуется по отношению к формуле (6.8) без изменения его физического смысла. Расчет минимальной длины $l^{кан}$ канатных анкеров (устанавливаются симметрично относительно вертикальной оси выработки) производится по формуле

$$l^{кан} = l_{зам} + l_{хв} + \frac{h_г - h^{кан}}{\sin \beta^{кан}} + \frac{Z_2 - Z_1}{\cos \beta^{кан}}, \quad (6.11)$$

где $h_г$ – высота выработки в проходке;

$h^{кан}$ – высота установки канатного анкера от почвы выработки;

$\beta^{кан}$ – угол наклона канатного анкера к вертикальной оси выработки;

Z_1 и Z_2 – вспомогательные геометрические параметры, определяемые по формулам

$$Z_1 = x^{кан} + (h_г - h^{кан}) \operatorname{ctg} \beta^{кан}, \quad (6.12)$$

$$Z_2 = \frac{(B + 2b_l^K)^2}{8h} \left[\sqrt{\operatorname{tg}^2 \beta^{кан} + \frac{16h}{(B + 2b_l^K)^2} (h + Z_1 \operatorname{tg} \beta^{кан})} - \operatorname{tg} \beta^{кан} \right]. \quad (6.13)$$

В формуле (6.12) символом $x^{кан}$ обозначено расстояние от вертикальной оси выработки до места установки канатного анкера. Задача выбора рациональных значений параметра $x^{кан}$ решена перебором вариантов расчета НДС рассматриваемой геомеханической системы с учетом ранее установлен-

ных закономерностей. По аналогии с выбором параметров x_i для сталеполлимерных анкеров критерием рациональности значений служит сочетание условий максимального сопротивления канатных анкеров и минимальной нагруженности рамной крепи. Закономерности изменения $x^{кан}$ таковы, что влияние геомеханических параметров оценивается неоднозначно по причине действия противоположных тенденций.

Во-первых, выявлено сколь-нибудь заметное влияние только двух геомеханических параметров, определяющих размеры предельного равновесия, – глубина H размещения выемочной выработки и среднее расчетное сопротивление сжатию R близлежащего массива. Данный факт представляется вполне логичным:

- глубина размещения выработки определяет общую напряженность массива, от которой зависят размеры свода предельного равновесия и степень нагруженности канатных анкеров;
- параметр R характеризует сопротивляемость близлежащего массива распространению границ свода предельного равновесия.

Параметры R_1^K и m_1^K непосредственной кровли входят в качестве составляющих в более общий показатель R , так как повышенная длина канатных анкеров затрагивает и другие породные слои кровли на технически освоенную высоту до 9 м. Поэтому отношение b^r наиболее полно характеризует как размеры свода предельного равновесия, так и степень сопротивления канатных анкеров опусканию кровли выработки.

Во-вторых, влияние отношения b^r на координату $x^{кан}$ определяется действием ряда противоположных тенденций. Чем больше высота свода, тем больше нагрузка в его центральной части и для активного сопротивления канатных анкеров их следует концентрировать ближе к замку свода (уменьшение координаты $x^{кан}$). При увеличении высоты свода одновременно растет и его ширина, то есть увеличиваются объемы неустойчивых пород в боках выработки – соответственно возрастает нагрузка в этой части контура свода и целесообразность размещения здесь канатных анкеров (увеличение координаты $x^{кан}$).

Результат действия перечисленных противоположных тенденций приводит к некоторой их взаимной компенсации и стабилизации рациональной координаты установки канатных анкеров в довольно узком диапазоне $x^{кан} = 0,8 - 1,1$ м. Меньшее из значений $x^{кан}$ соответствует меньшему типу-размеру сечения выработки (например, под крепь КШПУ-9,5), а больше из значений $x^{кан}$ – повышенному размеру выработки (например, под крепь КШПУ-15,0). В целом, для сечения выемочных выработок под крепь КШПУ-11,7 (11,0) рекомендуется размещать хвостовик канатного анкера на расстоянии 1,0 м от вертикальной оси выработки.

Аналогичная ситуация выявлена при определении рационального угла $\beta^{кан}$ наклона канатного анкера к вертикальной оси выработки. Здесь действуют два главных фактора. Первый – узкий диапазон изменения рациональной координаты $x^{кан}$ установки канатного анкера предопределяет ограниченную вариацию значений его угла наклона. Второй фактор обусловлен повышенной длиной канатного анкера порядка 6 – 9 м. Вектор его перемещений изменяется. Ранее было отмечено, что анкер наиболее эффективно сопротивляется сдвигению массива, когда его продольная ось совпадает с вектором перемещения вмещающих пород. Особенность смещений пород кровли по ее высоте состоит в том, что изменение их вектора (по ширине свода) от вертикального до косонаправленного наиболее активно происходит в приконтурных породах. С удалением от контура в глубину кровли интенсивность изменения направления вектора смещений ослабевает. На заглубленном конце канатного анкера (с учетом координаты его установки $x^{кан} = 0,8 - 1,1$ м) вектор перемещений направлен ближе к вертикальному положению, чем на контуре выработки. Изогнуть анкер (путем бурения криволинейного шнура) до такой степени, чтобы его продольная ось постоянно совпадала с вектором перемещений, не представляется технической возможности. Целесообразно задать усредненное направление канатному анкеру как среднее арифметическое из векторов перемещения массива на заглубленном его конце и на контуре выработки. Такая процедура была осуществлена для вышеуказанного диапазона изменения координаты $x^{кан}$ и получен интервал вариации рационального угла наклона канатного анкера $\beta^{кан} = 65 - 80^\circ$ для разных горно-геологических условий поддержания выемочной выработки. Этот интервал существенно отличается от углов наклона β_i сталеполимерных анкеров для одной и той же координаты x_i . Меньшее значение $\beta^{кан}$ соответствует $x^{кан} = 1,1$ м и более благоприятным горно-геологическим условиям; большее значение $\beta^{кан}$ соответствует $x^{кан} = 0,8$ м и более сложным горно-геологическим условиям.

Последним из искомым параметров канатных анкеров является рациональная величина их сопротивления сдвигению пород кровли, которое выражается через минимально достаточный диаметр «арматуры» канатного анкера $d^{кан}$. Критерий выбора рациональных значений $d^{кан}$ остается прежним (как и для сталеполимерных анкеров) и его сущность состоит в реализации максимально возможной загрузки каната анкера в пределах допустимых напряжений на разрыв.

Анализ результатов многовариантных вычислительных экспериментов показал, что наиболее существенно влияют на степень загрузки анкеров два геомеханических параметра – глубина H размещения выработки и величина среднего расчетного сопротивления сжатию R близлежащей углевме-

щающей толщи. Отношение b_m^r имеет определенное влияние в диапазоне $b_m^r \leq 0 - 15$ МПа/м. Здесь существенно изменяется величина R , так как непосредственная кровля повышенной мощности ближе всего расположена к выработке. Согласно приведенным результатам в работе [71] этот параметр имеет максимальное влияние на величину среднего расчетного сопротивления массива сжатию. Он содержит в себе воздействие низких значений отношения b_m^r и нет необходимости в отделении влияния этого параметра на степень нагруженности канатных анкеров. Отмеченные закономерности подтверждены результатами выполненных серий вычислительных экспериментов, также как и то, что влияние каждого из оставшихся геомеханических параметров (H и R) необходимо устанавливать отдельными зависимостями, поскольку отношение b^r не дает тесной корреляционной связи.

По итогам проведенных исследований получены зависимости связи минимально достаточного диаметра каната анкера с геомеханическими параметрами H и R , которые приведены на рис. 6.5. При увеличении глубины H диаметр $d^{кан}$ каната увеличивается близко к линейному закону и обратно пропорционально к параметру R . Основной диапазон изменения минимально достаточного диаметра канатного анкера ограничен величиной $d^{кан} = 15 - 16$ мм, что хорошо коррелирует с шахтными наблюдениями по оценке устойчивости выработок, в кровле которых установ-

лены канатные анкера диаметром $d^{кан} = 15,2$ мм. Однако, при весьма низком значении $R \leq 5 - 7$ МПа резко возрастает нагрузка на канатные анкера (интенсивно расширяются границы свода предельного равновесия), что требует увеличения диаметра их каната до 20 – 28 мм при рассматриваемой схеме установки.

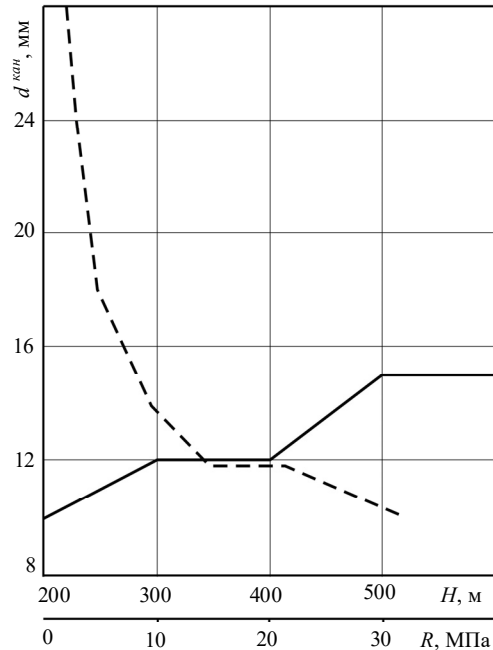


Рис. 6.5. Закономерности изменения минимально достаточного диаметра каната $d^{кан}$ анкеров от глубины H размещения выработки (—) и среднего расчетного сопротивления сжатию R (- -) близлежащего углевмещающего массива

Обработка результатов многовариантных расчетов позволила получить уравнение регрессии для прогнозирования минимально достаточного диаметра каната

$$d^{\text{кан}} = \frac{139}{\sqrt{\sigma^6}} \left[\left(1,7 + 9,1 \cdot 10^{-3} H \left(\frac{14,3}{R^{1,8}} + 0,66 \right) \right)^{0,5} \right], \text{ мм.} \quad (6.14)$$

Уравнение (6.14) получено при рассмотрении варианта установки двух канатных анкеров с шагом $L^{\text{кан}} = 3,2$ м, вдоль выработки, то есть в межрамном пространстве через каждые три рамы на четвертую, которые, в свою очередь, устанавливаются с шагом $L = 0,8$ м. Канатные анкера выпускают стандартных диаметров $d_{\text{см}}^{\text{кан}}$ (самый распространенный $d_{\text{см}}^{\text{кан}} = 15,2$ мм) ограниченного количества типоразмеров. Поэтому, если расчетное значение $d^{\text{кан}}$ по формуле (6.14) позволяет выбрать ближайший больший типоразмер $d_{\text{см}}^{\text{кан}}$, то именно он принимается к использованию в крепежной системе выемочной выработки. Если расчетное значение $d^{\text{кан}}$ превышает стандартную величину $d_{\text{см}}^{\text{кан}}$ канатов, имеющихся в наличии, то увеличивается количество $n^{\text{кан}}$ канатных анкеров на 1 п.м выработки по формуле

$$n^{\text{кан}} = 0,625 \frac{d^{\text{кан}}}{d_{\text{см}}^{\text{кан}}}, \text{ шт/м,} \quad (6.15)$$

где $d_{\text{см}}^{\text{кан}}$ – диаметр канатного анкера, применяемого в конкретной выемочной выработке, мм.

Результаты многовариантных вычислительных экспериментов и их корреляционно-дисперсионный анализ позволили определить все параметры, необходимые для эффективного поддержания кровли выемочной выработки канатными анкерами.

6.3. АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ КОМБИНИРОВАННОЙ АНКЕРНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ПОРОД СВОДА ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК

Комплекс выполненных исследований создал все предпосылки, необходимые для разработки методики расчета и выбора параметров крепежной системы выемочных выработок в условиях интенсивной отработки угольных пластов на шахтах Западного Донбасса. Методика предусматривает следующую последовательность выполнения расчетов:

1. Группирование исходных данных, используемых при выполнении расчетов. Этот пункт нацелен на определение расчетного значения каждого из параметров, участвующих в вычислениях.

Группа геомеханических параметров включает:

- расчетная глубина H размещения выработки;
- среднее расчетное сопротивление сжатию R близлежащих пород кровли и почвы;
- мощность m_1^K и расчетное сопротивление сжатию R_1^K пород непосредственной кровли;
- мощность m_1^H и расчетное сопротивление сжатию R_1^H пород непосредственной почвы.

Перечисленные исходные параметры определяются по данным геологической службы шахты, исследованиям [58, 59] и нормативным документам [67, 68].

Группа горнотехнических параметров:

- типоразмер сечения выемочной выработки и ее крепи;
- ширина l_{ox} охранной системы;
- ширина B и высота h_g выработки в проходке.

Указанные исходные параметры определяются по нормативно-технической документации при составлении паспортов выемочного участка, проведения и крепления выемочных выработок.

Из механических характеристик крепежных материалов используется предел текучести несущего стержня анкера, который определяется по справочным данным [16, 19] в зависимости от применяемой марки стали завода-изготовителя анкеров.

2. Определение размеров области неустойчивых пород вокруг выемочной выработки характеризуется параметрами h и b_n^K . Высота свода h предельного равновесия рассчитывается по документу [71]. Ширина b_n^K области неустойчивых пород в кровле выработки вычисляется по формуле (6.9).

3. Выбор типа рамной крепи и расчет шага ее установки производится по документу [67] для участка выемочной выработки вне зоны влияния очистных работ.

4. Расчет параметров комбинированной анкерной системы в своде выемочной выработки производится по следующим позициям:

- сталеполимерные анкера в центральной части свода выработки;
- канатные анкера в непосредственной и основной кровле.

5. Расчет параметров размещения сталеполимерных анкеров в центральной части свода выработки.

Оценка целесообразности установки сталеполимерных анкеров для наиболее широко применяемых типоразмеров рамной крепи выемочных выработок осуществляется по величинам отношений b^r и b_m^r в соответствии с

графиками на рис. 6.2, либо по формулам (6.4) – (6.6): при фактическом значении b^r меньше расчетного установка сталеполимерных анкеров в центральной части свода выработки не рекомендуется.

Координаты $X_{1,2,3}$ установки сталеполимерных анкеров по контуру свода (расстояние по горизонтали от вертикальной оси выработки до хвостовика анкера; i – номер анкера по мере удаления от замка свода) определяются по формулам (6.1) – (6.3). Если вычисленная координата X_i превышает горизонтальную координату расположения замка податливости данного типоразмера рамной крепи, то эта пара сталеполимерных анкеров исключается их схемы их установки в своде выработки.

Угол наклона $\beta_{1,2,3}$ сталеполимерных анкеров к горизонтальной оси выработки рассчитывается по выражению (6.7) отдельно для каждой пары ($i = 1, 2, 3$) симметрично размещенных анкеров. Диаметр «арматуры» сталеполимерных анкеров в центральной части свода выработки рекомендуется принимать пониженных значений $d_i = 15 - 18$ мм.

6. Выбор параметров канатных анкеров включает следующие позиции.

Установку канатных анкеров в поперечном сечении выработки рекомендуется осуществлять на расстоянии $X^{кан} = 0,8 - 1,1$ м от ее вертикальной оси. Меньшие из значений интервала соответствует пониженному типоразмеру поперечного сечения, а верхняя граница интервала – повышенному типоразмеру сечения выработки.

Угол наклона канатных анкеров к горизонтали рекомендуется принимать $\beta^{кан} = 65 - 80^\circ$. Меньшее значение соответствует $X^{кан} = 1,1$ м, большее $X^{кан} = 0,8$ м.

В продольном сечении выработки канатные анкера устанавливаются с базовым шагом $L^{кан} = 3,2$ м, то есть, в каждом четвертом межрамном пространстве. При усложнении горно-геологических условий производится расчет количества канатных анкеров на 1 п.м длины выработки по формуле (6.15) и принимается ближайшее большее целое число. Для проведения вычислений по формуле (6.15) рассчитывается требуемый диаметр канатных анкеров по формуле (6.14).

Длина канатного анкера определяется по формуле (6.11) с расчетом промежуточных параметров по формулам (6.12) и (6.13), в которые входят размеры свода предельного равновесия, вычисленные в пункте 2 настоящего алгоритма выбора рациональных параметров крепежной системы выемочной выработки.

7. Изложенный алгоритм расчета обеспечивает выбор рациональных параметров грузонесущих элементов комбинированной анкерной системы в зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий поддержания свода выемочных выработок на шахтах Западного Донбасса.

ВЫВОДЫ

1. Многовариантными расчетами доказана эффективность использования канатных анкеров в крепежной системе выемочных выработок, которые обладают многофункциональностью работы по «глубинному» упрочнению пород кровли, повышению устойчивости рамной крепи и интенсификации концевых операций в районе сопряжения лавы с выемочной выработкой.

2. Установлено, что на координаты установки сталеполлимерных анкеров влияет отношение b_m^r . С увеличением крепости породы кровли нагрузка на анкера снижается, и их количество целесообразно уменьшать, что соответствует увеличению расстояния между анкерами (смещению координат их установки от замка к пяте свода).

3. Разработаны рекомендации и получены расчетные выражения по выбору всех необходимых параметров установки комбинированной анкерной системы в выемочных выработках.

4. Определена область целесообразного размещения сталеполлимерных анкеров в центральной части свода выемочной выработки, а также связь угла β_i наклона сталеполлимерного анкера с координатой x_i его установки в своде выемочной выработки при разных значениях параметра b^r .

5. Разработанная методика расчета параметров каждого грузонесущего элемента рекомендуемых крепежных систем по упрочнению свода выемочных выработок, что повышает интенсивность отработки угольных пластов на шахтах Западного Донбасса.

6. Обоснована доказательная база кардинального ограничения проявлений горного давления за счет формирования в кровле мощной армопородной плиты с помощью комбинированной анкерной системы, которая обеспечивает защиту рамной крепи от чрезмерных нагрузок и создает условия для повторного использования выемочных штреков без существенных ремонтно-восстановительных работ.

7. ШАХТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДДЕРЖАНИЯ 594 СБОРНОГО ШТРЕКА НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ УЧАСТКЕ УСТАНОВКИ КОМБИНИРОВАННОЙ АНКЕРНОЙ СИСТЕМЫ

В §2.2 кратко отражены результаты обширных экспериментальных исследований проявлений горного давления в выемочных штреках, где использованы так называемые базовые схемы установки только сталеполимерных анкеров (опорно-анкерное крепление по [40]). Эти данные инструментальных наблюдений послужили основой для сравнительного анализа фиксируемых величин сдвижения породного контура 594 сборного штрека, закрепленного рекомендуемой комбинированной анкерной системой (рис. 7.1).

Эксплуатируемый в настоящее время 594 бортовой штрек используется первый раз при отработке 594 выемочного участка. В перспективе планируется его использовать повторно в качестве бортового штрека при ведении очистных работ на смежном выемочном участке. Схема крепления штрека приведена на рис. 7.1, в. В нижней части его длины расположен экспериментальный участок с рекомендуемой схемой крепления, показанной на рис. 7.1, е.

Поэтому, изучение состояния выработки проведено для двух схем крепления с построением графиков, отражающих зависимости изменения перемещений породного контура штрека и его рамной крепи по мере приближения и отхода 594 лавы от замерной станции в штреке. Во избежание неоднозначности описания и сравнительного анализа схема крепления основной протяженности штрека названа «базовой», а на экспериментальном участке – «рекомендуемой».

При базовой схеме крепления 594 сборного штрека установлены следующие особенности развития проявлений горного давления в процессе отработки 594 выемочного участка (рис. 7.2).

Величина сближения U_{h_1} пород кровли и почвы на всех исследуемых участках поддержания 594 сборного штрека оказалась стабильно ниже, чем в 590 и 592 сборных штреках при их первичном использовании. Так, на участке вне зоны влияния очистных работ вплоть до отметки $z = 44$ м значение $U_{h_1} = 340 - 390$ мм, что в среднем на 20% меньше, чем в 590 сборном штреке и на 30% ниже, чем в 592 сборном штреке.

При вхождении фиксируемого сечения штрека в зону влияния очистных работ на участке от $z = -44$ м до $z = 78$ м происходит увеличение U_{h_1} с дальнейшей стабилизацией на уровне 1110 – 1120 мм; эти значения сближения кровли и почвы оказались на 21% ниже по сравнению с участком стабилизации горного давления позади 590 лавы и на 24% меньше, чем для 592 лавы.

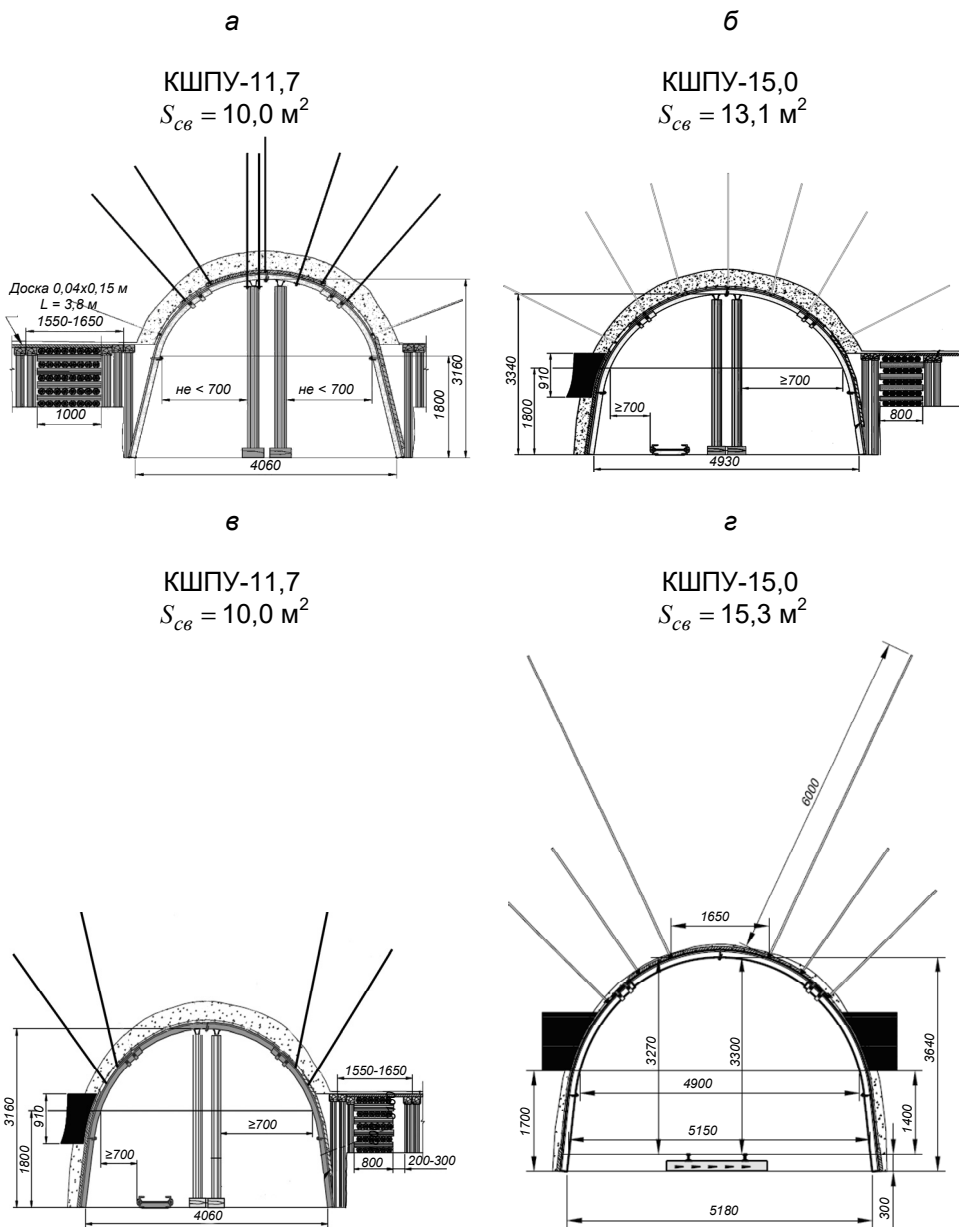


Рис. 7.1. Схемы поддержания выемочных штреков: а – 588 бортовой штрек; б – 590 и 592 сборные штреки; в – 594 сборный штрек; г – экспериментальный участок 594 сборного штрека

Установленные факты могут быть интерпретированы как влияние изменения схемы расположения сталеполлимерных анкеров, поскольку выработки поддерживаются примерно в одинаковых горно-геологических условиях. Схемы крепления отличаются тем, что в 594 сборном штреке сталеполлимерные анкера концентрируются в районе пяты свода выработки (см. рис. 7.1, в) и более активно упрочняют боковые породы, служащие своеобразными опорами для опускающихся породных слоев кровли. Более устойчивые опоры ограничивают смещение пород кровли над выработкой с перераспределением части нагрузки на отдаленные участки массива в боках штрека. Целостные породы в боках выработки, сопротивляясь вертикальному горному давлению, передают пониженную нагрузку на породы почвы штрека, что сдерживает в определенной степени развитие их пучения. В результате, ограничение опускания кровли и поднятия почвы позитивно сказывается на потере высоты 594 сборного штрека.

Вне зоны влияния очистных работ до отметки $z = -44$ м сближение стоек рамы изменяется в диапазоне $U_{e_1} = 420 - 460$ мм, что в среднем на 28% ниже, чем в 590 сборном штреке и на 40% – по сравнению с 592 сборным штреком.

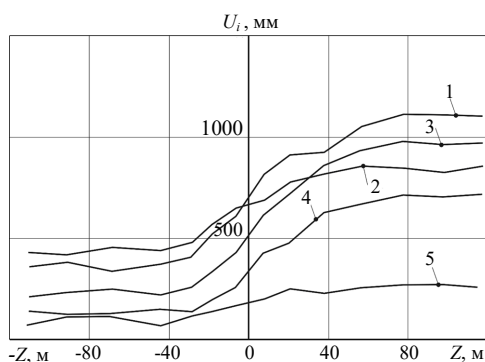


Рис. 7.2. Зависимости перемещений U_i контура 594 сборного штрека от расстояния z до очистного забоя 594 лавы:

1 – U_{h_1} ; 2 – U_{e_1} ; 3 – U_{c_1} ; 4 – U_{c_2} ;

5 – $c_2 - c_1$

На участке стабилизации сдвигения надугольной толщи ($z \geq 57$ м) сближение стоек увеличивается до 830 – 860 мм, но все равно остается меньше на 16% по отношению к U_{e_1} в 590 сборном штреке и на 32% – в 592 сборном штреке. Данный эффект ограничения сближения стоек рамы и боковых пород объясняется повышением устойчивости породных объемов в боковых частях непосредственной кровли. Создание упрочненной опоры в пяте свода штрека снижает концентрации напряжений в нижележащих породах непосредственной почвы и их боковые подвижки менее интенсивны.

Асимметрия деформирования рамы и изменения ее формы также становится менее интенсивной при создании сталеполлимерными анкерами в боках выработки некоторого подобия упрочненных пород для поддержания породных слоев кровли. В качестве доказательства приведем данные смещений U_{c_1} и U_{c_2} по диагональным размерам c_1 и c_2 (см. рис. 7.2). Вне зоны влияния очистных работ смещение по диагонали c_1 составляет 210 – 250 мм, что в среднем на 21% меньше, чем в 590 сборном штреке и в 2,61 раза меньше,

чем в 592 сборном штреке. На участке от $z = -44$ м до $z = 78$ м наблюдается увеличение смещения U_{c_1} с переменным градиентом роста до величины 960 – 980 мм. Это значение U_{c_1} на 38% ниже по отношению к 590 сборному штреку и на 27% меньше, чем в 592 сборном штреке.

Изменение размера диагонали c_2 имеет следующую закономерность. Вне зоны влияния очистных работ до отметки $z = -29$ м величина смещений по диагонали c_2 изменяется в интервале $U_{c_2} = 120 - 150$ мм, что в среднем ниже 17% по сравнению с 590 сборным штреком и на 60% по отношению к 592 сборному штреку. На участке активного влияния очистных работ (от $z = -29$ м до $z = 78$ м) наблюдается рост U_{c_2} разной интенсивности с дальнейшей стабилизацией значения на уровне $U_{c_2} = 700 - 720$ мм. Эта величина в среднем ниже на 34%, чем в 590 сборном штреке и на 18% – по сравнению с 592 сборным штреком.

Степень асимметрии деформирования рамы, определяется по разнице диагональных размеров $c_1 - c_2$, изменяется от 70 – 120 мм вне зоны влияния очистных работ до 230 – 270 мм в зоне стабилизации проявлений горного давления. Средние отличия от 590 и 592 сборных штреков составляют соответственно: 25 и 63% вне зоны влияния очистных работ; 47 и 44% в зоне стабилизации проявлений горного давления.

Таким образом, шахтные исследования показали преимущество схемы установки сталеполлимерных анкеров в 594 сборном штреке по отношению к их размещению в 590 и 592 сборных штреках: все фиксируемые размеры указывают на ограничение сближений кровли и почвы, стоек рамы и ее диагональных размеров. В результате уменьшены потери сечения штрека и несущей способности рамы, что способствует более эффективному повторному использованию выработки.

Снижение интенсивности проявлений горного давления при измененной схеме установки анкеров в 594 сборном штреке подтверждают закономерности развития (по координате Z) вспомогательных параметров оценки состояния выработки, которые приведены на рис. 7.3.

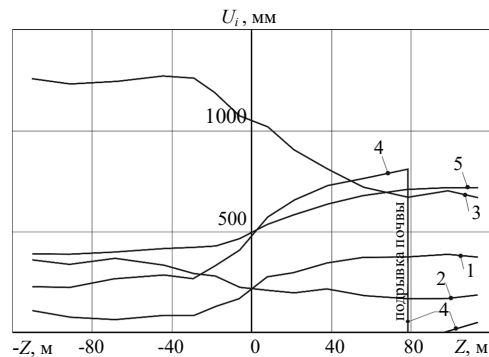


Рис. 7.3. Закономерности изменения вспомогательных параметров оценки состояния 594 сборного штрека в зависимости от расстояния z до очистного забоя 594

лавы: 1 – $h_2 - h_3$; 2 – $e_1 - e_2$; 3 – $e_1 - e_3$;
4 – $U_{h_{4,5}}$; 5 – $a_{1,2}$

Замеры вертикальной асимметрии деформирования рамы (по разности высот $h_2 - h_3$) дали следующие результаты:

– на участке вне зоны влияния очистных работ (до отметки $z = -29$ м) разница $h_2 - h_3$ изменяется в диапазоне 70 – 110 мм, что в среднем на 14% меньше, чем в 590 сборном штреке и на 42% ниже, чем в 592 сборном штреке;

– на участке стабилизации проявлений горного давления ($z \geq 57$ м) вертикальная асимметрия составила 370 – 390 мм; ее среднее значение оказалось на 15% меньше, чем в 590 сборном штреке и на 22% ниже в сравнении с 592 сборным штреком.

Таким образом, установлен эффект снижения не только диагоналей, но и вертикальной асимметрии формы рамы при создании сталеполимерными анкерами упрочненной области в районе пяты свода, которая является более устойчивой опорой для опускающихся пород кровли штрека.

Параметр $e_1 - e_2$, определяющий степень изгиба нижней части стоек рамы, имеет более низкий градиент изменения в 594 сборном штреке по сравнению с предыдущими выработками:

– вне зоны влияния очистных работ (до отметки $z = -44$ м) величина $e_1 - e_2 = 330 - 370$ мм и всего на 50 – 90 мм меньше первоначальной (конструктивной) разницы, что указывает на небольшие горизонтальные подвижки боковых пород, произошедшие за длительный период поддержания штрека от момента установки рам до съема показаний в данном сечении выработки. Для сравнения эти подвижки составили: в 590 сборном штреке – 80 – 110 мм, в 592 сборном штреке – 100 – 140 мм;

– в зоне стабилизации проявлений горного давления ($z \geq 57$ м) разница $e_1 - e_2$ снизилась до 170 – 190 мм, то есть, в среднем произошло ее уменьшение на 170 мм, или на упруго-пластические деформации изгиба нижней части каждой стойки приходится 85 мм.

Отмеченные перемещения можно оценить как умеренные, малосущественно изменяющие форму стоек. В сравнении с 590 и 592 сборными штреками снижение разницы размеров $e_1 - e_2$ составило соответственно 32 и 29%, что указывает в пользу схемы размещения сталеполимерных анкеров, принятой для поддержания 594 сборного штрека.

Параметр $e_1 - e_3$ характеризует изменение формы как верхней части, так и общей протяженности стоек рамы. Вне зоны влияния очистных работ $e_1 - e_3 = 1240 - 1280$ мм и всего на 60 – 100 мм меньше первоначального значения, что указывает на ограниченные горизонтальные подвижки боковых пород в пределах конструктивной боковой податливости рамы. Начиная с отметки $z = -29$ м до координаты $z = 78$ м происходит постепенное снижение разницы $e_1 - e_3$, которое фиксирует развитие пластических деформаций стоек рамы. В зоне стабилизации проявлений горного давления параметр

$e_1 - e_3 = 660 - 700$ мм; то есть, в среднем произошло изменение параметра на 580 мм, что характеризует изгиб стоек (в среднем по 290 мм с каждой стороны) как достаточно существенный и меняющийся в определенной степени их форму. С другой стороны, указанное изменение размера на 17% меньше, чем в 590 и 592 сборных штреках.

Оценивая в целом изменения параметров $e_1 - e_2$ и $e_1 - e_3$, следует отметить ограничение горизонтальных подвижек боковых пород и изгиба стоек рамы по сравнению с крепежной системой 590 и 592 сборных штреков, поддерживаемых в примерно равноценных горно-геологических условиях.

Замеры поднятия почвы штрека $U_{h_{4,5}}$, хотя и обладают определенной погрешностью, но все же отмечают снижение интенсивности пучения по сравнению с 590 и 592 сборными штреками. Так, на участке вне зоны влияния очистных работ зафиксировано поднятие почвы в диапазоне 230 – 290 мм; эта величина в среднем ниже на 32% чем в 592 сборном штреке; сравнение с 590 сборным штреком произвести не удалось по причине выполнения подрывки на этом участке выработки. После прохода 594 лавы на расстояние $z \geq 78$ м была осуществлена подрывка почвы, так как величина пучения к этой отметке достигла 810 мм. Тем не менее, это значение оказалось ниже на 16 и 21% по сравнению с величинами поднятия пород почвы до начала их подрывки в 590 и 592 сборных штреках, соответственно.

Упрочнение сталеполимерными анкерами боковых объемов пород непосредственной кровли в районе замков податливости рамной крепи благоприятно сказывается на их состоянии и режиме работы. Так, длина нахлеста верхняка и стоек плавно увеличивается (по мере подхода и отхода 594 лавы) от исходной величины 390 – 420 мм до значения 700 – 720 мм, близкого к конструктивной вертикальной податливости рамы. Существенных и регулярно встречающихся нарушений геометрии узлов податливости не наблюдается.

Причина достаточно удовлетворительного состояния и стабильной работы замков податливости рамы заключается в умеренном опускании пород кровли и верхняка рамы. При сравнении величин сближения кровли и почвы (график 1 на рис. 7.2) и поднятия почвы (график 4 на рис. 7.3) установлено, что на долю опускания кровли приходится всего 300 – 330 мм. Эта величина практически соответствует конструктивной вертикальной податливости рамы.

В результате шахтных наблюдений за состоянием 594 сборного штрека установлены позитивные факты снижения перемещений по всем фиксируемым размерам выработки, что снижает потери ее сечения и сохраняет несущую способность рамы на достаточно высоком уровне. Поэтому считаем предпочтительной схему установки сталеполимерных анкеров в 594 сборном штреке по сравнению с параметрами сетки армирования пород непосредственной кровли в 590 и 592 сборных штреках.

На экспериментальном участке 594 сборного штрека для упрочнения пород свода применена комбинированная анкерная система в составе схемы

крепления, показанной на рис. 7.1, *з*.

Таким образом, сочетание сталеполлимерных и канатных анкеров создает упрочнение не только непосредственной, но и основной кровли, связывает породные слои в единую армопородную конструкцию большой мощности (не менее 4 – 5 м), способную воспринимать и сопротивляться повышенному горному давлению и, тем самым, защищать рамную крепь от чрезмерных нагрузок.

Сформированная армопородная плита расширяет площадь своих опор в боках выработки, а ее высокая несущая способность и жесткость позволяет не только снизить нагрузку на раму, но и уменьшить аномалии опорного давления, что ограничивает горизонтальные подвижки приконтурных пород в боках выработки и интенсивность развития пучения пород почвы.

При обследовании экспериментального участка 594 сборного штрека отмечено его удовлетворительное эксплуатационное состояние, как вне зоны, так и в зоне влияния очистных работ.

Вне зоны влияния очистных работ визуальные наблюдения (рис. 7.4) и замеры по вышеприведенной методике имеют следующие показатели. Форма рамы крепи КШПУ-15,0 и ее элементов (верхняка и стоек) практически не



Рис. 7.4. Фрагмент состояния 594 сборного штрека на экспериментальном участке

изменилась по сравнению с первоначально установленной, то есть, по всему контуру рамы пластические деформации отсутствуют; замки податливости рам не срабатывали и величина нахлеста верхняка и рамы также находится в исходном положении порядка 350 – 420 мм.

Это указывает на ограниченную нагрузку крепи рамы до начала ее податливого режима работы. Данные наблюдения косвенно указывают на высокую эффективность работы армопородной плиты в кровле штрека: ее несущая спо-

собность позволяет разгрузить рамную крепь от чрезмерного горного давления за счет восприятия на себя большей его части.

Тем не менее, зафиксированы определенные изменения размеров штрека:

- высота h_1 уменьшилась (по сравнению с проектной) на 140 мм, что связано с пучением пород почвы, поскольку видимых деформаций верхняка и срабатывания замков податливости рамы не наблюдалось;

- ширина выработки b_1 по почве снизилась всего на 18 мм, что объясняется упругими деформациями рамы, а также ее обжатием и компенсацией зазоров и люфтов в замках податливости. Существенного бокового давления на стойки рамы не наблюдается, что обусловлено снижением интенсив-

ности действия бокового опорного давления за счет расширения площади опоры породной плиты в кровле на породы в боках выработки;

– следует отметить превышение длины диагонали c_2 над длиной диагонали c_1 на 15 мм. Эта незначительная разница может быть истолкована двояко: погрешности монтажа рам или практическое отсутствие асимметрии деформирования рамы, что обусловлено ее защитой от неравномерной нагрузки с помощью мощной армопородной плиты в кровле;

– нахлест в замках податливости рамы остался на проектном уровне;

– наблюдается умеренное пучение пород почвы, величину которого (до 100 – 150 мм) можно оценить лишь приблизительно ввиду некоторых трудностей выполнения замеров и достаточной их погрешности; пучение при небольшом опорном давлении в боках выработки обусловлено низким сопротивлением сжатию ($\sigma_{сж} = 8,0$ МПа) алевролита непосредственной почвы во влагонасыщенном состоянии.

Отмеченные особенности проявлений горного давления отражены соответствующими графиками в крайней левой части рис. 7.5, характеризующими закономерности изменения геометрических параметров 594 сборного штрека в зависимости от расстояния z до очистного забоя 594 лавы.

Зависимость изменения высоты h_1 штрека по мере подхода к замерной станции и отхода от нее очистного забоя характеризуется следующими особенностями. Вне зоны влияния очистных работ потеря высоты выработки относительно небольшая и колеблется в диапазоне $U_{h_1} = 135 - 165$ мм вплоть до отметки $z = -33$ м. Отмеченная величина сближения кровли и почвы находится в пределах конструктивной вертикальной податливости крепи КШПУ-15,0.

Влияние приближающейся лавы проявилось за 33 м до очистного забоя в части резкого повышения интенсивности смещений U_{h_1} : при $z = 11$ м позади очистного забоя $U_{h_1} = 515$ мм, а при $z = 75$ м в начале зоны стабилизации процессов сдвижения надугольной толщи сближение кровли и почвы достигает значения 720 мм. При дальнейшем отходе лавы прирост U_{h_1} малосу-

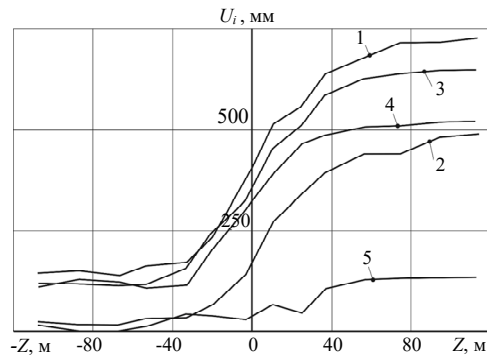


Рис. 7.5. Зависимости перемещений U_i крепи и контура 594 сборного штрека от расстояния z до очистного забоя на экспериментальном участке 594 лавы: 1 – U_{h_1} ; 2 – U_{e_1} ; 3 – U_{c_1} ; 4 – U_{c_2} ; 5 – $c_2 - c_1$

щественный и конечная величина сближения находится в пределах 720 – 730 мм. В последующем будет отделена доля поднятия пород почвы от общей величины сближения U_{h_1} , но при ее вероятном преимущественном развитии величина опускания кровли находится в пределах допустимых значений в 300 мм по фактору вертикальной конструктивной податливости рамы.

Таким образом, анализ закономерности сближения кровли и почвы позволяет оценить состояние рамной крепи и выработки в целом как вполне удовлетворительное.

Потеря высоты штрека составляет 20% и она снизится более, чем на половину при последующей подрывке пород почвы перед его повторном использованием. Визуальный осмотр состояния верхняков и стоек рам отмечает лишь отдельные случаи изменения их формы из-за пластических деформаций. Следовательно, по фактору снижения высоты 594 сборного штрека можно сделать вывод об эффективной защите рамной крепи от чрезмерного горного давления с помощью армопородной плиты, сформированной в кровле комбинированной анкерной системой.

Горизонтальные сближения стоек рам U_{e_1} на уровне почвы штрека весьма незначительны (14 – 30 мм) на участке вне зоны влияния очистных работ. В начале зоны фронтального опорного давления на отметке $z = -33$ м, наблюдается увеличение градиента роста U_{e_1} с максимальным развитием на участке от $z = -3$ м до $z = 11$ м. Далее происходит постепенное снижение темпов прироста U_{e_1} до отметки $z = 95$ м, где сближение стоек рам достигло 480 – 490 мм; данную отметку следует считать началом зоны стабилизации проявлений горного давления. Здесь конечная величина потери ширины выработки составляет 9,5% и не создает каких-либо затруднений при выполнении технологических операций в процессе ведения очистных работ. Однако, параметр U_{e_1} более, чем в 2 раза превышает боковую конструктивную податливость стоек рамы. Наблюдается их изгиб в районе опор, который несущественно влияет на изменение формы рамы и снижение ее несущей способности.

В связи с изложенными результатами инструментальных и визуальных наблюдений можно сделать вывод о достаточно эффективном ограничении сближения боков выработки, которое достигается за счет понижения интенсивности действия опорного давления по причине расширения площади опоры армопородной плиты в кровле, сформированной комбинированной анкерной системой.

Вне зоны влияния очистных работ диагонали c_1 и c_2 малосущественно отличаются друг от друга:

– смещение U_{c_1} изменяется в интервале 112 – 120 мм вплоть до отметки $z = -53$ м, а далее начинается постепенное снижение размера c_1 ;

– смещение U_{c_2} достаточно постоянно до отметки $z = -33$ м с колебаниями в интервале 105 – 125 мм;

– разница $c_2 - c_1$ (график 5 на рис. 7.5) носит знакопеременный характер с минимальными отклонениями c_1 и c_2 друг от друга (на уровне от -13 мм до $+15$ мм) до отметки $z = -50$ м.

Таким образом, вне зоны влияния очистных работ асимметрия деформирования рамы практически не наблюдается. По мере вхождения в зону фронтального опорного давления смещение U_{c_1} начинает интенсивно расти (с примерно постоянным градиентом на участке от $z = -33$ м до $z = 37$ м) вплоть до значения $U_{c_1} = 580$ мм. Далее происходит выполаживание графика роста и примерно на расстоянии $z = 75 - 80$ м наблюдается стабилизация перемещений на уровне 640 – 650 мм.

Аналогичные, но меньшей величины имеют место закономерности развития перемещений U_{c_2} . Здесь также практически постоянный градиент роста наблюдается на участке от $z = -33$ м до $z = 25$ м, на котором смещение возрастает до $U_{c_2} = 465$ мм. При дальнейшем отходе лавы рост U_{c_2} замедляется и при $z \geq 60 - 70$ м практически стабилизируется на уровне 510 – 520 мм.

Разница размеров диагоналей c_1 и c_2 постепенно увеличивается, начиная с отметки $z = -50$ м, но, это увеличение до $z = 25$ м характеризуется тем, что диагонали отличаются друг от друга всего на 25 – 65 мм. При $z > 25$ м сначала происходит рост $c_2 - c_1$ до 125 мм, а затем стабилизация величины асимметрии смещений на уровне 130 мм, начиная с $z = 75$ м.

Приведенные результаты можно оценить двояко. Асимметрия деформирования рамы присутствует, но изменения ее формы происходят за счет срабатывания замков податливости у рабочего борта выработки без проявления каких-либо существенных пластических изгибов верхняка и стоек рам. При величине перемещений U_{c_1} , U_{c_2} и их разнице имеет место неравномерное поднятие почвы по ширине выработки. Составляющая деформирования самой рамы характеризуется меньшей степенью асимметрии, чем зафиксировано в данных исследованиях. В любом случае уровень асимметрии деформирования рамы (при использовании комбинированной анкерной системы) зафиксирован меньшей величиной, чем в других выемочных штреках, поддерживаемых в аналогичных горно-геологических условиях.

В целом, обобщая полученные результаты шахтных наблюдений, следует отметить удовлетворительное состояние 594 сборного штрека на экспериментальном участке после прохождения 594 лавы, позволяющее без каких-либо ремонтно-восстановительных работ в отношении рамной крепи, боков и кровли повторно его использовать при отработке смежного выемочного участка. Позитивный результат достигнут благодаря применению ком-

бинированной анкерной системы в кровле выработки.

Сформулированный вывод подтвержден результатами шахтных исследований закономерностей изменения названных нами «вспомогательных» параметров, к числу которых мы отнесли разницу $h_2 - h_3$ вертикальных расстояний замков податливости до почвы выработки; разницу $e_1 - e_2$ и $e_1 - e_3$ горизонтальных размеров выработки по почве, на уровне нижней кромки пласта и на уровне его верхней кромки; величину $U_{4,5}$ пучения пород почвы;

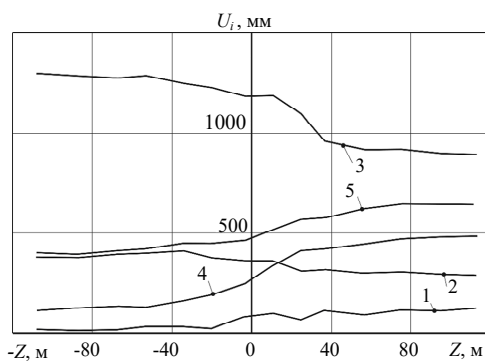


Рис. 7.6. Зависимости изменения вспомогательных параметров оценки состояния выемочной выработки 594 лавы от расстояния z до очистного забоя: 1 — $h_2 - h_3$; 2 — $e_1 - e_2$; 3 — $e_1 - e_3$; 4 — $U_{h_{4,5}}$; 5 — $a_{1,2}$

$z = -20$ м происходит рост величины $h_2 - h_3$, но с низким градиентом. В результате при $z \geq 37$ м параметр стабилизируется на уровне 90 – 120 мм.

Столь низкая асимметрия рамы указывает на ее эффективную защиту мощной армопородной плитой, сформированной в кровле с помощью комбинированной анкерной системы.

Разница размеров $e_1 - e_2$ и $e_1 - e_3$ характеризует степень изменения формы стоек рамы и соответствующий уровень их пластических деформаций под воздействием боковых нагрузок от зоны бокового опорного давления.

На участке вне зоны влияния очистных работ параметр $e_1 - e_2$ достаточно стабилен в пределах изменения 380 – 410 мм; это значение несколько ниже конструктивного (на 10 – 40 мм), что обусловлено предисторией нагружения рамы с ее обжатием и упругими деформациями. Начиная с отметки $z = -34$ м проявляется действие фронтального опорного давления впереди 594 лавы, выражающееся в постепенном снижении разницы $e_1 - e_2$ с последующей ее стабилизацией ($z \geq 25$ м) в диапазоне 290 – 320 мм. В среднем параметр $e_1 - e_2$ уменьшался на 90 мм, что указывает на опережающее смещение

длину нахлеста $a_{1,2}$ верхняка и стойки рамы в замках податливости. Закономерности изменения этих параметров в зависимости от расстояния до лавы приведены на графиках рис. 7.6.

Разница размеров $h_2 - h_3$ отражает степень асимметрии деформирования рамы в вертикальном направлении. Вне зоны влияния очистных работ этот параметр минимален и составляет всего 10 – 35 мм. Его низкая величина характеризует не асимметрию формы рамы, а некоторые погрешности при ее установке и неравномерность пучения почвы по ширине выработки. Начиная с отметки

стойки в районе опоры по отношению к перемещениям стойки на высоте нижней кромки пласта. Разница в 90 мм не столь существенна, но все же указывает на появление ограниченного изгиба стоек на участке по глубине нижней подрывки штрека.

Разница размеров $\epsilon_1 - \epsilon_3$ на участке вне зоны влияния очистных работ также стабильна (1280 – 1300 мм) и несколько ниже конструктивной (на 40 – 60 мм). Начиная с отметки $z = -53$ м наблюдается снижение разницы $\epsilon_1 - \epsilon_3$ с практически постоянным градиентом вплоть до очистного забоя ($z = -3$ м). Этот параметр имеет постоянное значение на участке до $z = 11$ м, что в не-малой степени связано с демонтажом и последующим монтажом стоек в створе рабочего пространства лавы. Затем интенсивность снижения параметра $\epsilon_1 - \epsilon_3$ возрастает до отметки $z = 37$ м. Начиная с отметки $z = 57$ м, значение $\epsilon_1 - \epsilon_3$ стабилизируется на уровне 890 – 920 мм. Общее уменьшение параметра $\epsilon_1 - \epsilon_3$ составило 380 – 390 мм. Из этой величины доля боковой конструктивной податливости рамы составляет около 200 мм, а оставшиеся 180 – 190 мм приходятся на ограниченный пластический изгиб стоек. Изменение формы стоек характеризуется как ограниченное, поскольку по высоте порядка 3200 мм перемещение 90 – 95 мм не способно существенно исказить геометрию стойки. Отсюда можно сделать заключение об ограничении боковой нагрузки на стойки рамы, что является следствием снижения интенсивности бокового отжима пород. На это факт обращалось внимание при моделировании геомеханических процессов сдвижения толщи пород в окрестности 594 сборного штрека. Считаем, что армопородная плита в кровле выработки расширяет площадь опоры на породы в ее боках, что неминуемо приводит к снижению концентраций напряжений в зонах опорного давления.

Этот же механизм проявляется и в ограничении пучения пород почвы штрека. Менее интенсивное действие опорного давления способствует сокращению объемов пород, выдавливаемых в полость выработки, что и зафиксировано при съеме показаний величины пучения $U_{h4,5}$.

Вне зоны влияния очистных работ до отметки $z = -43$ м поднятие почвы изменяется в диапазоне 110 – 140 мм. При вхождении в зону фронтального опорного давления происходит величина поднятия почвы возрастает с переменным градиентом до отметки $z = 25$ м, где $U_{h4,5} = 410$ мм. Далее интенсивность $U_{4,5}$ снижается и при $z \geq 80$ м величина пучения составляет 470 – 490 мм. Такое поднятие почвы затрудняет выполнение технологических операций. В зоне стабилизации процессов сдвижения породной толщи необходимо выполнить подрывку почвы на глубину не менее 0,5 м.

Несмотря на превышение технологически допустимой нормы пучения, следует отметить, что величина поднятия почвы в 594 сборном штреке ниже более чем в 2 раза пучения почвы в соседних выработках. Данные измере-

ния подтверждают эффективность формирования в кровле штрека мощной армопородной плиты с помощью комбинированной анкерной системы.

Величина нахлеста $a_{1,2}$ верхняка и стоек в замках податливости вне зоны влияния очистных работ соответствует конструктивным нормам и составляет 400 – 420 мм. Начиная с отметки $z = -53$ м происходит слабовыраженный рост до 470 мм непосредственно перед очистным забоем. После прохода лавы величина срабатывания замков податливости увеличивается более интенсивно $a_{1,2} = 630 - 640$ мм ($z = 70 - 75$ м), а затем наблюдается стабилизация длины нахлеста на отмеченном уровне. Величина срабатывания (230 – 240 мм) замков находится в пределах конструктивных норм податливости крепи КШПУ-15,0 и не вызывает пластических деформаций ее элементов.

Таким образом, анализ результатов измерений вспомогательных параметров подтвердил достаточную эффективность работы армопородной плиты в кровле штрека по защите его рамной крепи от проявлений горного давления. В сравнении с состоянием 594 сборного штрека на остальной своей длине (вне экспериментального участка) необходимо указать на следующие позитивные тенденции:

- сближение пород кровли и почвы снижено в 2,47 раза на участке вне зоны влияния очистных работ и на 35% в зоне стабилизации сдвижения породной толщи после прохода 594 лавы;

- сближение стоек рам (по почве штрека) вне зоны влияния очистных работ практически отсутствует на экспериментальном участке, а в зоне стабилизации проявлений горного давления снижение горизонтальных подвижек составило 43%;

- диагональный размер со стороны рабочего борта штрека сокращается на 49% вне зоны влияния очистных работ и на 34% на участке стабилизации проявлений горного давления; для диагонального размера со стороны нерабочего борта штрека снижение перемещений составило соответственно 15 и 27%;

- по указанным выше причинам асимметрия диагональных размеров снижена в 2 раза, что обусловило появление только малозначительных пластических деформаций верхняка и стоек с сохранением несущей способности рамной крепи в целом;

- уменьшение горизонтальных деформаций нижней части стоек рамы составило 11% вне зоны влияния очистных работ и 40% в зоне стабилизации сдвижений надугольной толщи; соответствующее сокращение деформаций

изгиба стоек по всей их высоте достигает 3% вне зоны влияния очистных работ и 34% в зоне стабилизации проявлений горного давления;

- величина поднятия почвы сокращена в 2 раза на участке вне зоны влияния очистных работ и на 41% в зоне стабилизации сдвижений надугольной толщи;

– состояние замков податливости и режим их работы вполне удовлетворительный за исключением ограниченного количества отдельных нарушений.

Результаты шахтных исследований 594 сборного штрека при установке комбинированной анкерной системы позволили получить многопараметрические доказательства. Определена база показателей по кардинальному ограничению проявлений горного давления за счет комбинированного упрочнения пород кровли сталеполлимерными и канатными анкерами. Состояние экспериментального участка 594 сборного штрека (при выполнении соответствующей подрывки пород почвы) полностью соответствует эксплуатационным нормам и правилам для успешного его повторного использования в качестве бортового при отработке смежного выемочного участка.

ВЫВОДЫ

Шахтные инструментальные наблюдения за состоянием 594 сборного штрека показали преимущество комбинированной анкерной системы (по сравнению с базовой схемой крепления) по поддержанию выработки в надлежащем эксплуатационном состоянии с целью ее повторного использования:

– вне зоны влияния очистных работ размеры штрека практически соответствуют исходным, а небольшая потеря сечения (до 3 – 4%) обусловлена поднятием пород почвы;

– по совокупности закономерностей изменения фиксируемых размеров выработки установлено, что влияние очистных работ впереди лавы начинается на расстоянии 30 – 50 м, а позади очистного забоя стабилизация процессов сдвижения надугольной толщи наступает на расстоянии 60 – 80 м;

– наиболее активные смещения породного контура и рамной крепи штрека происходят в зоне влияния очистных работ на участке протяженностью 90 – 130 м; здесь сближение кровли и почвы достигает 720 – 730 мм, однако, большую его часть составляет поднятие пород почвы, в результате чего опускание пород кровли находится в пределах конструктивной податливости и не провоцирует возникновение пластических деформаций в верхняке; состояние и работа замков податливости вполне удовлетворительное;

– зафиксирована небольшая асимметрия деформирования рамы в интервале 90 – 130 мм, которая, тем не менее, не способна существенно изменить ее форму и снизить несущую способность;

– сближения стоек рамы достигает 480 – 490 мм, что более, чем в 2 раза превышает их боковую конструктивную податливость, а потеря ширины выработки составляет 9,5%; тем не менее, указанные сдвижения боков штрека не создают каких-либо затруднений при выполнении технологических операций очистной выемки;

– состояние стоек рам оценивается как удовлетворительное с минимальным изменением их формы (разница горизонтальных перемещений по длине стойки порядка 3200 мм составила до 180 – 190 мм) и относительно небольшими участками пластических деформаций, что сохраняет несущую способность крепи КШПУ-15,0 практически на ее паспортном уровне;

– замки податливости рамы работают в штатном режиме в пределах допускаемых смещений.

ОБОБЩЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО РАЗДЕЛУ I

На основе установленных закономерностей изменения напряженного состояния пород вокруг выемочной выработки в зависимости от геомеханических факторов и расположения сталеполимерных и канатных анкеров в системе комбинированного анкерного крепления обоснованы технологические параметры повторного использования выемочных выработок.

1. Установлено, что в близлежащих породах кровли посредством комбинации канатных и сталеполимерных анкеров формируется армопородная плита, высокая грузонесущая способность которой достигается за счет сохранения горизонтальных усилий распора даже в условиях разбиения слоев кровли на породные блоки. За счет образования распорной системы в кровле снижаются концентрации всех компонент напряжений до уровня, многократно ниже прочностных характеристик слагающих ее литотипов, а появление растягивающих вертикальных и горизонтальных напряжений носит исключительно локальный характер. Поэтому мощная армопородная плита в кровле предохраняет крепежную систему выемочной выработки от чрезмерного вертикального горного давления.

2. Обоснована геомеханическая модель вычислительного эксперимента систем крепления выемочных выработок сталеполимерными и канатными анкерами, которая позволила установить формирование армопородной плиты, противодействующей горному давлению с коэффициентом концентрации интенсивности напряжений не более 2,0. Это обеспечивает целостное состояние большей части боковых пород кровли и угольного пласта, снижая концентрацию напряжений и расширяя площадь опоры армопородной плиты в кровле выработки.

3. Установлены закономерности влияния глубины размещения выработки, среднего расчетного сопротивления сжатию близлежащего массива пород, отношения расчетного сопротивления сжатию пород непосредственной кровли к ее мощности на степень нагружения системы сталеполимерных и канатных анкеров. Обоснован критерий оценки уровня сопротивления анкеров в составе комбинированной системы, который использован для установления наиболее влияющих геомеханических факторов.

4. Определена зависимость координат установки и угла наклона сталеполимерных анкеров в своде выемочной выработки от интенсивности проявления горного давления при его учете в породах непосредственной кровли в зависимости от мощности вынимаемого пласта. Снижение концентраций напряжений и размеров областей разупрочнения пород в боках выработки благоприятно сказывается на уровне напряженности пород почвы – области ее вероятного разупрочнения сокращаются. Уточнен диапазон изменения параметров установки канатных анкеров в составе комбинированной системы в зависимости от типоразмера сечения выемочной выработки.

5. Обоснован критерий оценки уровня сопротивления анкеров в составе комбинированной анкерной системы, который использован для установления наиболее влияющих геомеханических факторов в части степени нагруженности системы: глубина размещения выработки, среднее расчетное сопротивление сжатию близлежащего массива пород, отношение расчетного сопротивления сжатию пород непосредственной кровли к ее мощности. Таким образом, повышенная загруженность элементов комбинированной анкерной системы защищает рамную крепь от горного давления, что способствует снижению потерь поперечного сечения выемочной выработки.

6. Установлены закономерности нагруженности (дифференцированно) анкеров в составе комбинированной крепежной системы от основных влияющих геомеханических факторов. Установлена величина градации уровня сопротивления анкеров горному давлению: максимум противодействия создают канатные анкера, установленные со стороны выработанного пространства; минимум – сталеполимерные анкера. Выявлена закономерность увеличения реакции сопротивления сталеполимерных анкеров по мере изменения координат их установки в направлении периферийных участков верхняка рамной крепи. Полученные результаты стали основой для обоснования рациональных параметров комбинированной анкерной системы.

7. Установлены зависимости изменения относительной длины Δ и $\Delta_{л,м}^{кан}$ участков пластического состояния несущего элемента анкера от среднего расчетного сопротивления сжатию R близлежащего массива. Уточнен критерий оценки уровня сопротивления сталеполимерных и канатных анкеров в комбинированной системе от глубины размещения выработки и параметров b^r и b_m^r . Получены расчетные выражения, определяющие все необходимые параметры упрочнения кровли выемочных выработок комбинированной анкерной системой: координаты установки анкеров, углы их наклона, диаметр несущего стержня и длина анкера. Также обоснована граница областей целесообразного применения сталеполимерных анкеров.

8. Шахтные исследования проявлений горного давления в выемочных выработках, закрепленных рекомендуемой комбинированной анкерной системой, доказали ее преимущества в сравнении с традиционным опорно-анкерным креплением, которые заключаются в следующем:

- сближение пород кровли и почвы снижено на 35%, сближение стоек рам уменьшилось на 43%, смещения по диагональному размеру со стороны рабочего борта выработки сократились на 34%, со стороны нерабочего борта – на 27%;
- асимметрия диагональных размеров снижена в 2 раза, а вертикальных – в 3,62 раза;
- величина поднятия пород почвы сокращена в 1,5 – 2 раза.

8. ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПОВТОРНО ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ НАДРАБОТКЕ И ПОДРАБОТКЕ МЕЖДУПЛАСТЬЯ ПЛАСТОВ C_8^H и C_9 ШАХТНОГО ПОЛЯ БЛОКА №3 ШАХТЫ «ЗАПАДНО-ДОНБАССКАЯ»

8.1. ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОТРАБОТКИ ПЛАСТА C_8^H

Одной из основных особенностей ведения горных работ по пласту C_8^H является его надработка при выемке вышележащих пластов C_9 и C_{10}^6 . Расстояния между указанными пластами по вертикали изменяются в достаточно узком диапазоне 22 – 28 м при залегании в междупластьях преимущественно слабых пород с коэффициентом крепости $f = 1 - 2$ при периодическом появлении более крепкого песчаника ($f = 3 - 6$) разной мощности. Песчаник, угольные пласты и пропластки обводнены и являются основным источником поступления шахтных вод в очистные забои и выемочные выработки. Этому дополнительно способствует умеренная трещиноватость песчаников (3 – 5 трещин на метр) и весьма сильная трещиноватость угольных пластов (18 – 25 трещин на метр). Аргиллиты и алевролиты преимущественно горизонтально-слоистые, часть которых относится к неустойчивым породам, резко снижающим прочностные характеристики при увлажнении и склонных к пучению. Контакты между смежными литологическими разностями слабые и легко теряют сцепление при обнажении или интенсивных деформациях массива.

По совокупности вышеизложенного можно прогнозировать неустойчивое состояние надработанного междупластья при его подработке с интенсивным расслоением и образованием обширных зон разупрочненного массива. Однако, вывод о существенности влияния надработки на устойчивость выемочных выработок пласта C_8^H является преждевременным. Здесь главная причина заключается в достаточной мощности междупластья, которая «поглощает» возмущения горного давления при ведении очистных работ на вышележащем пласте. Обоснованием тому служат аналогичные исследования по выявлению степени влияния прохождения лавы по пласту C_{10}^6 на устойчивость выемочных выработок пласта C_9 : при примерно одинаковой горно-геологической ситуации не выявлено сколь-нибудь существенного влияния надработки при исследованиях методом вычислительного эксперимента. Такие же результаты получены в достаточно равноценных горно-геологических условиях надработки выработок на других шахтах Западного

Донбасса. Поэтому, можно вполне обоснованно предположить локализацию возмущений горного давления (при очистной выемке) в пределах мощности междупластья и исключить влияние надработки при выемке вышележащих пластов.

Другой основной особенностью является изменчивость геологического строения углевмещающей толщи по длине выемочного столба, например, 861 лавы; причем, вариация структуры касается в основном пород кровли пласта C_8^H . Поэтому немаловажной задачей является оценка структуры надугольной толщи по длине выемочного столба на предмет выявления наиболее опасных участков 861 сборного штрека с точки зрения прогнозирования наиболее интенсивных проявлений горного давления.

Согласно горно-геологического прогноза по выемочному столбу 861 лавы в технической документации выделено несколько зон повышенного горного давления (ПГД), в которых, очевидно, будет развиваться наиболее неблагоприятная ситуация в отношении устойчивости 861 сборного штрека. На основе анализа горно-геологического разреза сформулированы следующие выводы.

Практически по всей длине выемочного столба 861 лавы имеет место достаточно выдержанное залегание пластов C_8^H и C_8^G с относительно небольшим колебанием мощности междупластья (аргиллит) в пределах 3,6 – 3,85 м. Сопротивление сжатию аргиллита в образце составляет $\sigma_{сж} = 9 - 20$ МПа, но, заключенный между двумя угольными пластами, он, скорее всего, будет увлажнен со снижением прочности в 2 – 2,5 раза согласно [53]. С учетом трещиноватости аргиллита и его склонности к ползучести [62, 63] величина расчетного сопротивления сжатию снижается в 4 – 5 раз, составляя $R_{сж} = 2,0 - 5,0$ МПа. Такая низкая прочностная характеристика, наличие сложности строения и слабый контакт с угольными пластами C_8^H и C_8^G позволяют прогнозировать неустойчивое состояние аргиллита (представляющего непосредственную и нижнюю части основной кровли), который будет обрушаться сразу после его обнажения. К этой мощности неустойчивых пород следует добавить и мощность весьма трещиноватого угольного паста C_8^G (0,66 – 0,8 м); тогда общая высота вероятного свода обрушения составит 4,3 – 4,65 м. С точки зрения вертикальной нагрузки на крепежную систему 861 сборного штрека вес указанного объема пород создает давление порядка 100 – 110 кПа, что эквивалентно нагрузке 450 – 500 кН на 1 п.м выработки и соответствует границе максимальной несущей способности крепей серии КШПУ. Таким образом, даже без учета влияния очистных работ, рамная крепь нуждается в усилении другими крепежными элементами.

В основной кровле пласта C_8^H наблюдается более значительное изменение структуры по длине выемочного столба 861 лавы с весьма существенным колебанием мощностей литотипов и их замещением. В нижней части

выемочного столба под мощным песчаником (4,3 – 15,6 м) залегает алевролит (мощностью 5,2 – 9,1 м) с замещением аргиллитом мощностью до 5,5 м. Здесь вышележащий песчаник служит источником увлажнения аргиллита и алевролита, но, скорее всего, только на некоторую часть их мощности, так как свойства водоупорных пород позволяют оставить часть мощности аргиллитов и алевролитов в естественно-влажном состоянии без потери прочностных свойств. С другой стороны, достаточно крепкий песчаник ($\sigma_{сж} = 30 - 60$ МПа) благодаря своей мощности способен ограничить сдвигание надугольной толщи, особенно, если это касается объема массива над 861 сборным штреком (на границе выемочного столба). Под защитой песчаника можно спрогнозировать относительно устойчивое состояние нижележащих аргиллита и алевролита. Таким образом, в нижней части выемочного столба отсутствуют развития свода предельного равновесия (над 861 сборным штреком) выше пласта C_8^g . Исключение составляет участок замещения аргиллита и алевролита в районе ПК 185 – ПК 195, где вполне вероятно отслоение аргиллита мощностью до 1 м и пригрузка за счет этого крепежной системы до 20 – 23%.

В верхней части выемочного столба в основной кровле пласта C_8^H залегает аргиллит достаточно большой мощности (до 8,6 м) и алевролит (до 7,2 м) под защитой песчаника со средней мощностью 2,0 м. Эта часть пород основной кровли прогнозируется устойчивой на боковой границе выемочного столба в районе размещения 861 сборного штрека.

Наименее устойчивое состояние основной кровли прогнозируется на участке ПК 128+1 – ПК 132+8, который выделен геологической службой шахты в горно-геологическом разрезе (рис. 8.1) и пояснительной записке к нему. Данный участок находится в районе периодического замещения обводненным песчаником алевролита. Здесь выше пласта C_8^g располагается слой аргиллита средней мощности (порядка 2,5 м) и песчаника (до 2,5 – 3,0 м), но на периферийном участке песчаника линзообразной формы. Сцепление между слоями слабое, а слой аргиллита еще и увлажнен двумя водоносными литотипами (снизу пласт C_8^g , сверху – песчаником). Его низкие прочностные характеристики с учетом действия ослабляющих породу факторов позволяет спрогнозировать неустойчивое состояние с вероятным пригрузом крепежной системы 861 сборного штрека до 50 – 60%. К этому следует добавить вероятность неустойчивого состояния песчаника на краю своей линзы, что увеличивает возможный пригруз крепежной системы вдвое с распространением свода предельного равновесия до 9 – 10 м. Такие нагрузки, очевидно, потребуют применения так называемого «глубинного» упрочнения массива с применением канатных анкеров и создания крепежной системы высокой несущей способности.

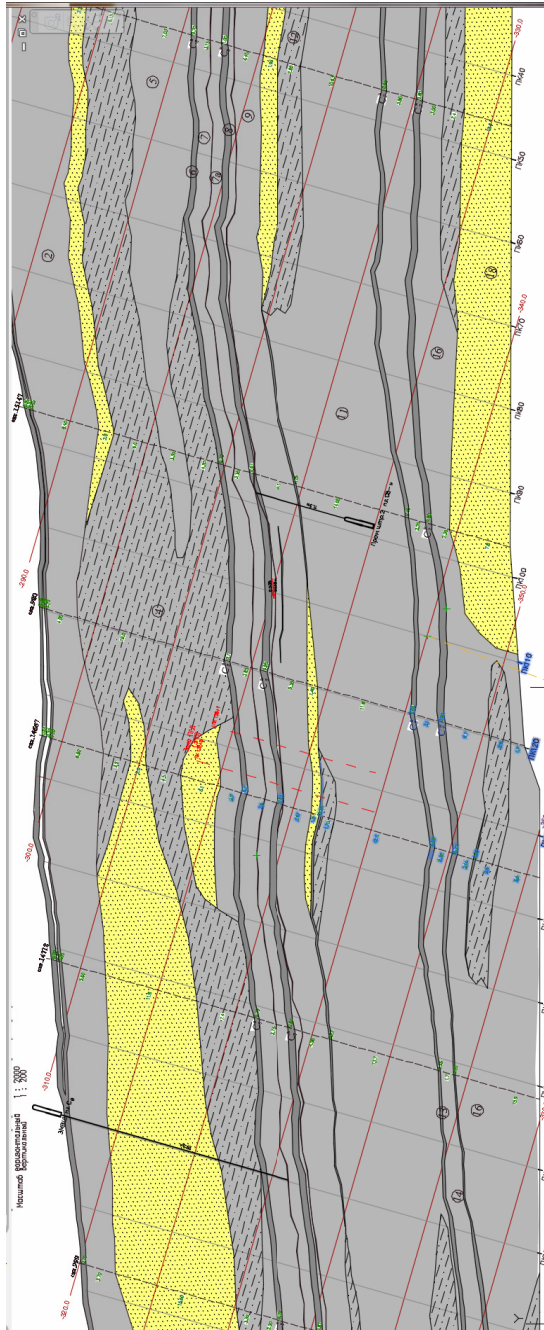


Рис. 8.1. Фрагмент горно-геологического разреза участка с наиболее неустойчивым состоянием пород кровли в районе размещения 861 сборного штрека

Данный участок 861 сборного штрека, как наиболее опасный с точки зрения интенсивности проявлений горного давления, принят к моделированию путем выполнения вычислительного эксперимента.

8.2. РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ 861 СБОРНОГО ШТРЕКА

В соответствии с отработанной методикой выполнения вычислительного эксперимента по исследованию процессов сдвижения углевмещающего массива в окрестности выемочных штреков в зоне влияния очистных работ [55 – 58] построена геомеханическая модель (рис. 8.2), включающая все необходимые и достаточные позиции для отражения состояния объекта:

– углевмещающий массив на высоту в кровлю, глубину в почву, ширину по простиранию пласта, достаточную для полного отражения параметров аномалий горного давления в зоне влияния очистных работ;

– зона беспорядочного обрушения со стороны выработанного пространства с параметрами, обоснованными в работах [38, 55, 7, 94];

– зона шарнирно-блокового сдвижения над выработанным пространством мощностью по рекомендациям [38, 94] и особенностями взаимодействия блоков согласно исследованиям [55 – 58];

– зона плавного прогиба слоев без нарушения сплошности [38, 94] и моделирование нарушения контактов по поверхностям напластований смежных литологических разностей, обоснованного в работах [55, 67];

– размещение 861 сборного штрека относительно пласта C_8^H согласно технической документации отработки выемочного столба 861 лавы;

– адекватное отражение конструктивно-технологических особенностей крепежной и охранной систем 861 сборного штрека по методическим разработкам [55 – 58, 67, 95].

Расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) выполнен в упруго-пластической постановке с представлением реальной диаграммы

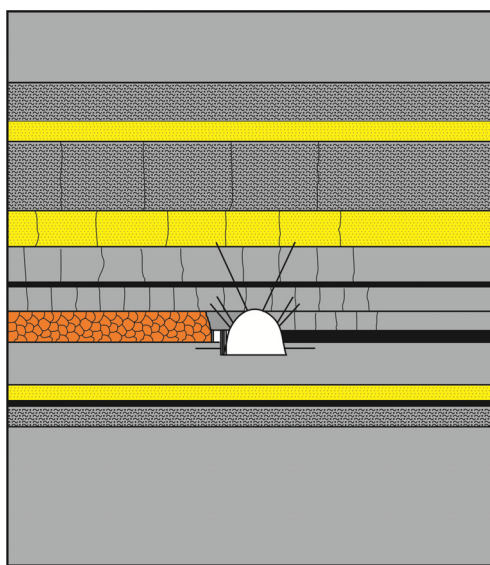


Рис. 8.2. Общая геомеханическая модель исследования устойчивости 861 сборного штрека

«напряжение – относительная деформация» каждой литологической разности и крепежных материалов билинейной функцией. Это позволило при учете пластических деформаций элементов геомеханической системы избежать существенных сбоев в технологии расчета и повысить надежность его проведения.

Механические характеристики литологических разностей взяты по данным горно-геологического прогноза для 861 сборного штрека; часть недостающих деформационных свойств пополнена согласно исследованиям [62, 63, 74]. Учет воздействия ослабляющих породу факторов трещиноватости, обводненности и реологии выполнен в соответствии с нормативными документами [53] и результатами исследований [62, 63]. Механические характеристики крепежных материалов введены в расчет по данным справочников [19, 96].

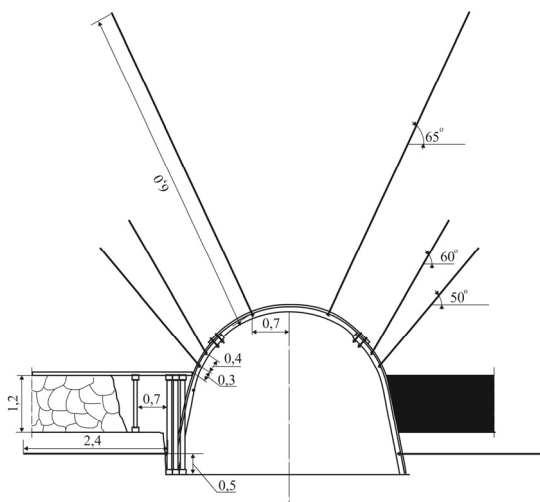


Рис. 8.3. Модель рекомендуемой схемы поддержания 861 сборного штрека

Схема крепления и охраны 861 сборного штрека приведена на рис. 8.3. Она имеет как общие, так и отличительные черты в сравнении с паспортом поддержания (так называемая «базовая схема»), что обусловлено следующими соображениями.

Во-первых, оценен оригинальный способ охраны выработки, предусматривающий установку на берме штрека только одного ряда деревянных стоек небольшого диаметра (10 – 12 см); он приближен к контуру выработки на расстояние 0,7 – 1,0 м. Какие-либо другие охранные конструкции (например, костры, литые полосы и т.п.) отсутствуют.

Очевидно, невысокая несущая способность данного способа охраны предполагает его кратковременную работу в жестком режиме на ближнем участке позади лавы с основной задачей способствовать (провоцировать) обрушению непосредственной кровли и нижних слоев основной. Предварительная оценка показывает, что одинарный ряд органичной крепи способен противостоять обрушению кровли до угольного пласта C_8^6 включительно. Дальнейшее развитие опускания основной кровли (по мере отхода лавы) приводит к смятию (разрушению) одинарного ряда, но уже на некотором расстоянии позади очистного забоя. В то же время, мощности обрушенных пород (включая пласт C_8^6) вполне достаточно [94] для

создания активного подпора вышележащим слоям кровли, то есть формируется подобие бутовой полосы обширных размеров, которая и противодействует в дальнейшем вертикальному горному давлению.

Во-вторых, для удержания пород основной кровли на высоту зоны шарнирно-блокового сдвижения в приконтурной части массива со стороны выработанного пространства предусмотрена установка трех рядов боковых деревянных стоек крепи усиления. Их ограниченно-податливый режим работы призван обрушить породные консоли в слоях выше пласта C_8^G и, тем самым, снизить концентрации как вертикального, так и бокового горного давления в районе размещения выработки.

Указанные две позиции в схеме поддержания 861 сборного штрека считаем вполне обоснованными и отвечающими прогнозируемому (пока на уровне экспертной оценки) характеру сдвижения надугольной толщи. Поэтому данные технические решения использованы в рекомендуемой схеме крепления и охраны штрека. Теперь остановимся на отдельных сторонах рекомендаций по отношению к базовой схеме поддержания штрека для его повторного использования.

В-третьих, изучаемый наиболее опасный участок штрека характеризуется неустойчивой основной кровлей с весьма вероятным развитием расслоений и интенсивным деформированием на высоту до 12 – 15 м в кровлю. В случае образования обширного свода предельного состояния можно прогнозировать высокое вертикальное и косонаправленное горное давление, так как ширина свода будет однозначно выходить за пределы выработки. Поэтому понятно стремление максимально усилить рамную крепь (по контуру ее свода) центральными деревянными стойками крепи усиления (диаметром 18 – 20 см) в количестве 4 штук на одну раму. При качественной установке центральных стоек крепи усиления несущая способность такой крепежной системы увеличится (предположительно) не менее, чем в 2 раза. Однако, имеется и ряд недостатков, обусловленных технологическими сложностями качественного монтажа стоек, их демонтажа при последующей подрывке почвы, обеспечением необходимых расстояний и зазоров, сокращением эффективного сечения для подачи воздуха и, наконец, большим расходом лесоматериалов.

В-четвертых, несмотря на значительное усиление рамной крепи, нет уверенности в сохранении необходимого сечения штрека для его повторного использования. Причина этому – вероятность превышения вертикальной нагрузкой (от веса неустойчивых пород) суммарной несущей способности базовой крепежной системы. Альтернативой прямому противодействию вертикальным нагрузкам является упрочнение пород кровли комбинированными анкерными системами, позволяющими, с одной стороны, «изъять» часть породного объема из процесса формирования нагрузки, а, с другой, – создать армопородную конструкцию высокой несущей способности, противодействующую оставшейся величине горного давления. В этом плане рекомендуемое сочетание сталеполлимерных и канатных анкеров предполагает

создание в кровле армопородной плиты мощностью до 6 м, которая (даже при наличии разбиения крови на блоки) способна воспринять нагрузку, многократно превышающую суммарную несущую способность базовой крепежной системы.

В-пятых, параметры расположения анкерной системы (см. рис. 8.3) призваны выполнить ряд задач:

– создать грузонесущую распорную систему, опирающуюся на породный массив за пределами ширины выработки и защищающую ее от чрезмерного горного давления;

– для «выноса» опор грузонесущей конструкции за пределами ширины выработки предусмотрены определенные углы наклона сталеполлимерных и канатных анкеров с таким расчетом, чтобы упрочнить породные объемы над боковыми стойками крепи усиления и рядом органной крепи; тогда не будут «обгрыбываться» деревянные стойки и наиболее вероятное обрушение породных консолей произойдет за границей (по вертикали) ряда органной крепи, а в кровле выработки сохранится относительно монолитная породная балка (плита);

– канатные анкера, соединенные гибкими подхватами с периферийной частью верхняков рамы, резко увеличивают несущую способность последних и позволяют обеспечить их устойчивость в районе «окна» лавы при демонтаже стоек рамы; это дает возможность отказаться от центральных стоек крепи усиления;

– боковые горизонтальные анкера в непосредственной почве пласта C_8^H (по глубине нижней подрывки штрека) упрочняют породные объемы слабой почвы для создания более прочных опор грузонесущей плите в кровле; кроме того, боковые анкера в непосредственной почве угольного пласта способствуют снижению интенсивности пучения как одного из факторов потери сечения штрека.

В составе изложенных соображений была разработана схема крепления и охраны 861 сборного штрека, вошедшая составной частью в модель общей геомеханической системы, по которой осуществлены вычислительные эксперименты.

9. ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ НДС ВМЕЩАЮЩЕГО 861 СБОРНЫЙ ШТРЕК ПОРОДНОГО МАССИВА ПРИ БАЗОВОЙ И РЕКОМЕНДУЕМОЙ СХЕМАХ ПОДДЕРЖАНИЯ

Общеизвестно [38, 55 – 57, 62, 63, 79], что наиболее интенсивные проявления горного давления развиваются после прохода очистного забоя и именно этот участок штрека весьма актуален с точки зрения возможности его повторного использования. Алгоритм изучения поведения геомеханической системы включает первоочередную оценку аномальных зон НДС в окружающем выработку породном массиве и последующее исследование состояния элементов базовых схем крепления и охраны для создания основы к разработке рекомендаций.

9.1. АНОМАЛИИ ПРОЯВЛЕНИЙ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ В ПОРОДНОМ МАССИВЕ В ОКРЕСТНОСТИ 861 СБОРНОГО ШТРЕКА ПРИ БАЗОВОЙ СХЕМЕ ПОДДЕРЖАНИЯ

В настоящем подразделе выполнено последовательное рассмотрение вертикальных σ_y и горизонтальных σ_x компонент напряжений, а также интенсивности напряжений σ .

9.1.1. АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ НАПРЯЖЕНИЙ

Эпюра вертикальных напряжений приведена на рис. 9.1 и характеризуется рядом параметров, которые в качественном плане соответствуют современным результатам моделирования поведения массива вокруг выемочной выработки позади очистного забоя [55 – 58]. В количественном плане наблюдаются следующие особенности.

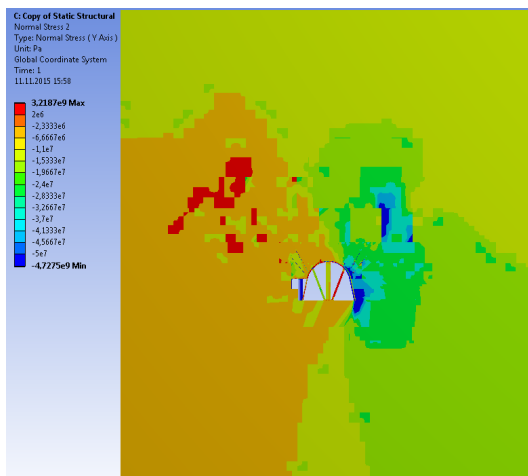


Рис. 9.1. Эпюра вертикальных напряжений σ_y в углевмещающей толще пород вокруг 861 сборного штрека

Со стороны выработанного пространства располагается обширная область разгруженных пород кровли и почвы пласта C_8^H с диапазоном $\sigma_y = 2,3 - 6,7$ МПа. По отношению к исходному негидростатическому состоянию нетронутого массива $\sigma_y = \gamma H$ степень разгрузки составляет $0,21 - 0,61$. Эта область распространяется в кровлю до 16,6 м, затрагивая верхний слой песчаника, являющегося границей между зоной шарнирно-блокового сдвижения и зоной плавного прогиба слоев без нарушения сплошности. В почву пласта зона разгрузки распространяется на всю глубину модели, то есть, более 18,4 м. Внутри указанной области в пределах мощности зоны шарнирно-блокового сдвижения возникают очаги полной разгрузки ($\sigma_y \approx 0$) с переходом в растяжение до 2 МПа. Такое явление не противоречит существующим представлениям [38, 55, 94] о сдвижении углевмещающей толщи в окрестности очистного забоя.

Вес расслаивающихся и обрушающихся пород кровли создает некоторую концентрацию σ_y в районах расположения элементов охраны и крепи, сопротивляющихся процессу сдвижения: однорядная органная крепь, ряды боковых и центральных стоек крепи усиления. Однако, величина концентраций относительно невелика ($\sigma_y / \gamma H = 1,40 - 1,79$), что обусловлено малой реакцией сопротивления всего одного ряда деревянных стоек органной крепи и податливостью стоек крепи усиления; такое поведение весьма «облегченной» охранной конструкции было прогнозируемым в технической документации поддержания 861 сборного штрека.

Со стороны нетронутого массива образуется зона бокового опорного давления. Ее размеры с относительно небольшим коэффициентом концентрации ($\sigma_y / \gamma H = 1,40 - 1,79$) распространяются в кровлю до 14,2 м, а в почву – на всю глубину модели. Концентрации уровня $1,79 - 2,18$ достигают в кровле высоты 10,0 м и глубины в почве 5,3 м. Такие концентрации уже являются разрушающими (по фактору действия σ_y) для аргиллита непосредственной кровли и почвы, а также аргиллита основной кровли, залегающего ниже песчаника. Ширина в массив области возможного разрушения достигает 6,6 м и вполне вероятно формирование значительной косо-направленной и боковой нагрузки. В этой связи приобретает актуальность комбинированное упрочнение (канатные и сталеполимерные анкера) пород кровли и боков выработки, а также усиление стойки рамы в боковом направлении.

Концентрации $\sigma_y / \gamma H = 3,4 - 6,0$, однозначно разрушающие приконтурные породы, располагаются в боку выработки на ширину до 1,8 м и высоту до 4,5 м. Особую опасность представляет ограниченная область с $\sigma_y / \gamma H \geq 4,5 - 5,0$, размеры которой по высоте 1,9 м, по ширине 0,8 м. Ее

негативное воздействие заключается в месторасположении – под угольным пластом по глубине нижней подрывки и далее под опорами стоек рамы. Здесь разрушенные породы создают (от бокового давления) высокий изгибающий момент, действующий на нижнюю часть стоек, с одной стороны, а, с другой, – создают условия для интенсивного вдавливания опор стоек в почву штрека с соответствующей потерей его сечения. Выявленный фактор также указывает на целесообразность упрочнения пород непосредственной почвы (по глубине подрывки штрека) горизонтально размещенными анкерами и их связи гибкими стяжками с нижней частью стоек для повышения их сопротивления боковым нагрузкам.

Представляет интерес несколько удаленная от выработки область концентраций $\sigma_y / \mathcal{H} = 3,8 - 6,0$, располагающаяся в песчанике на боковой границе зоны неупругих деформаций (согласно данным горно-геологического прогноза), примерно совпадающей с боковой границей зоны шарнирно-блокового сдвижения от очистных работ. Песчаник, как более жесткая и крепкая горная порода, является концентратором напряжений в силу своего повышенного сопротивления и это вполне согласуется с существующими представлениями в механике горных пород. Но, данная область высотой до 4,5 м и шириной до 1,4 м при своем разрушении провоцирует потерю сплошности более высокорасположенных породных слоев; они могут деформироваться достаточно свободно и распорная система из породных блоков (в зоне шарнирно-блокового сдвижения) резко теряет свое сопротивление горному давлению. Тогда весь обширный объем пород в основной кровле (высотой до 10 – 12 м) будет создавать своим весом нагрузку на крепёжную систему (в несколько раз превышающую несущую способность рамной крепи), а не противодействовать ей хотя бы частично. Поэтому, критически важно сохранить условия совместного деформирования породных слоев и блоков за счет их связывания (например, канатными анкерами) в единую грузонесущую систему. По данным анализа эпюры σ_y , упрочнение пород кровли (до границ выявленной области σ_y) вполне могут обеспечить канатные анкера длиной 6 м, расположенные под углом 60 – 70° к горизонтали. Установленный фактор также свидетельствует в пользу применения так называемого «глубинного» упрочнения пород непосредственной и основной кровли пласта C_8^H .

В части оценки устойчивости пород почвы (по фактору действия σ_y) можно прогнозировать повышенную интенсивность пучения со стороны нетронутого массива, где боковое опорное давление играет в этом процессе первостепенную роль.

Все отмеченные особенности распределения σ_y говорят о необходимости существенного усиления рамной крепи штрека, что и выполнено в базовом варианте его поддержания; однако, на наш взгляд, здесь более целесо-

образно не противодействие горному давлению с помощью многочисленных центральных деревянных стоек крепи усиления, а упрочнение близлежащего массива комбинированными анкерными системами, что исключает обширные объемы пород из процесса формирования нагрузки на крепежную систему 861 сборного штрека.

9.1.2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ НАПРЯЖЕНИЙ

Далее проанализировано распределение горизонтальных напряжений σ_x , эпюра которых приведена на рис. 9.2. Горизонтальная компонента наиболее четко отображает прогиб породных слоев и его направление, что достаточно четко наблюдается в основной кровле штрека. Интенсивно нагружены слои песчаника как более жесткие и крепкие литотипы. Так, в песчанике, расположенном на высоте 5,0 – 5,5 м от контура свода выработки, образуется обширная область концентраций сжимающих σ_x (в 8,7 – 13,2 раза выше ис-

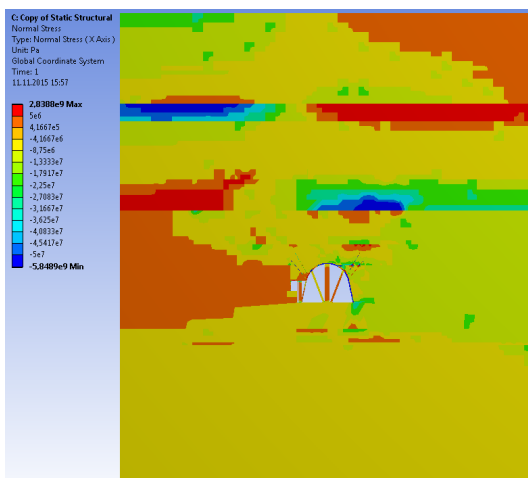


Рис. 9.2. Эпюра горизонтальных напряжений σ_x в углевмещающей толще пород вокруг 861 сборного штрека

песчаника, а это расстояние составляет 14,0 – 14,5 м до контура выработки. В случае такого негативного развития событий ни одна, даже усиленная, рамная крепь не справится с горным давлением.

Для повышения устойчивости песчаника необходимо создать соответствующий подпор со стороны нижележащих и наиболее вероятно обводненных слоев аргиллита и весьма трещиноватого угольного пласта C_8^g . Эти породы преимущественно находятся в той или иной степени разгрузки от

ходного состояния нетронутого массива), которая распространяется по мощности слоя до 1,8 м, а вдоль плоскости напластования – до 8,4 м. Прогиб слоя песчаника направлен в сторону выработки, а высокая концентрация σ_x указывает на его активное сопротивление горному давлению. В случае потери устойчивости песчаника вышележащий алевролит (с большой вероятностью водонасыщения) также может интенсивно разупрочняться (не будет достаточного подпора снизу) и тогда возможен вариант развития высоты свода предельного равновесия до следующего (по высоте) слоя

напряжений σ_x , что указывает на их низкое сопротивление горному давлению и возможность оказания сколь-нибудь существенного подпора вышележащему песчанику. Здесь играют роль и низкие деформационные характеристики аргиллита и угля, еще более сниженные за счет трещиноватости. Повысить жесткость данных литотипов и их сопротивление деформированию можно, объединив отдельные слои и блоки в некую единую грузонесущую конструкцию с помощью канатных анкеров. Благодаря своей длине канатные анкера способны связать друг с другом породные слои мощностью в 4 – 5 м и более, а жесткость любой плиты (арки) увеличивается пропорционально квадрату ее высоты [96]; следовательно, есть возможность сформировать достаточно жесткое армопородное образование, которое предотвратит развитие свода предельного равновесия на значительную высоту в основную кровлю.

Таким образом, по фактору действия горизонтальных напряжений целесообразно, на наш взгляд, упрочнить породы кровли (вплоть до нижнего слоя песчаника) канатными анкерами; их направление в кровле (60 – 70°) определяется координатами расположения (по отношению к штреку) области концентраций σ_x в песчанике.

В боку штрека со стороны выработанного пространства образуется область практически полностью разгруженных пород с появлением растягивающих σ_x до 3 – 5 МПа. Учитывая, что здесь размещается зона беспорядочного обрушения и зона шарнирно-блокового сдвигения, действие растягивающих σ_x еще более усиливает дезинтеграцию пород и создает подобие бутовой полосы обширных размеров. Поэтому предположение (реализованное в техническом решении шахты) о провоцировании (однорядной органической крепью и тремя рядами боковых стоек крепи усиления) обрушения непосредственной и нижних слоев основной кровли с целью создания подпора при опускании вышележащей кровли имеет право на существование. Тем более, что наблюдается относительно небольшой градиент изменения σ_x по высоте кровли (со стороны выработанного пространства) вплоть до координат залегания песчаника на границе зоны плавного прогиба слоев без нарушения сплошности. Эта относительная однородность распределения σ_x (за исключением жесткого песчаника) указывает на малоинтенсивные прогибы слоев основной кровли, а, следовательно, подобие бутовой полосы из обрушенных пород выполняет свои функции по созданию надлежащего подпора.

В боку штрека со стороны нетронутого массива на фоне общей маловыраженной концентрации σ_x (в диапазоне 1,0 – 2,8) представляют интерес две локальные области с коэффициентом концентрации σ_x до 4,0 – 5,0. Верхняя область располагается в районе пяты свода (замков податливости рамы). Ее усиление (сталеполимерными анкерами как в базовом варианте крепления) вполне обоснованно, так как создает более целостную опору,

поддерживающую вышележащие породные слои; кроме того, упрочнение этой области снижает негативное влияние косо направленной нагрузки на раму. Нижняя область концентрации σ_x располагается в районе опор стоек рамы и, на наш взгляд, также нуждается в анкерном упрочнении с целью: снижения бокового горного давления по глубине подрывки непосредственной почвы и предотвращение (хотя бы частичное) вдавливания стоек рамы в почву штрека.

В самой почве штрека наблюдается достаточно однородное поле σ_x , которое нарушает локальные области разгрузки и небольшие зоны концентрации σ_x , вызванные разновеликой жесткостью аргиллита, песчаника и пласта C_8^H при их прогибе в направлении полости выработки. Поэтому в целом можно прогнозировать по фактору σ_x достаточно умеренное пучение пород почвы, но с преобладанием со стороны массива.

9.1.3. ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ

Выявленные особенности НДС массива вокруг 861 сборного штрека обобщены путем анализа распределения интегральной характеристики – интенсивности напряжений σ , эпюра которой приведена на рис. 9.3. Основ-

ными чертами распределения σ являются следующие.

В кровле выработки концентрация σ распространяется вплоть до песчаника, залегающего на расстоянии 14,0 – 14,5 м от штрека. Область концентраций σ имеет неправильную форму с преобладанием со стороны нетронутого массива в близлежащих слоях кровли и более симметричной формой в отдаленных слоях кровли. Размеры области позволяют прогнозировать развитие высокого горного давления на крепежную систему; форма области говорит о преобладании косо направленной нагрузки со стороны нетронутого массива. Этому, судя по

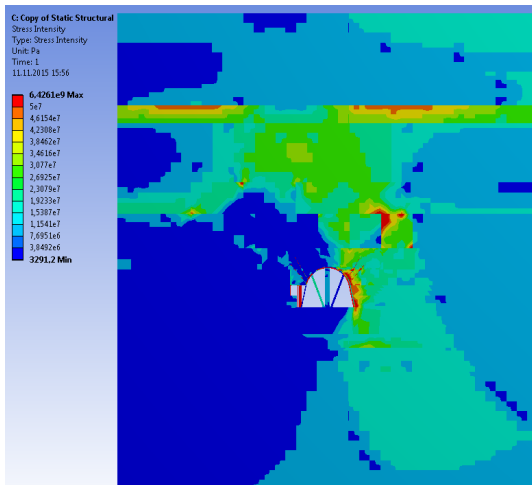


Рис. 9.3. Эпюра интенсивности напряжений σ в углевещающей толще пород вокруг 861 сборного штрека

эпюре σ , способствуют два основных фактора.

Первый фактор – со стороны выработанного пространства в близлежащих слоях кровли образуется область разгрузки до 8,2 м, где пониженное горное давление сформировалось благодаря податливому режиму работы обширной зоны обрушенных пород. Поэтому можно утверждать о целесообразности технического решения по созданию для охраны выработки однородной органной крепи и трех рядов боковых стоек крепи усиления.

Второй фактор состоит в образовании со стороны нетронутого массива (на расстоянии 4,7 – 6,5 м) зоны высоких концентраций $\sigma = 45 - 70$ МПа, где однозначно происходит разрушение пород. Если данный объем разрушенных пород получит возможность к относительно свободному расширению и перемещению из-за расслоения, деформирования и опускания близлежащих породных слоев и блоков со стороны выработки, то в последних распорная грузонесущая система не образуется, а происходит последовательное и поэтапное (снизу вверх) опускание и обрушение слоев на крепь выработки и приконтурные боковые породы. Тогда большая часть объема нарушенных пород в кровле будет создавать разновекторную нагрузку на крепь. Поэтому возникает необходимость в «глубинном» упрочнении пород кровли вплоть до зоны разрушающих концентраций, чтобы относительно целостная армопородная плита в кровле сохраняла горизонтальный распор и за счет него имела такую несущую способность, которая выдерживает не только собственный вес, но и давление вышележащих пород кровли. Тогда крепежная система будет защищена от чрезмерного горного давления.

Описанные геомеханические процессы по формированию армопородной плиты в кровле недостижимы без создания надежной опоры из приконтурных пород в боку выработки со стороны нетронутого массива. Здесь отмечается действие явно разрушающихся концентраций σ на ширину 0,7 – 0,9 м, а также опасных концентраций на ширину до 1,8 – 3,0 м, способных разупрочнить породы непосредственной кровли и почвы угольного пласта по высоте верхней и глубине нижней подрывки штрека. Задачу упрочнения непосредственной кровли выполняют два сталеполлимерных анкера в соответствии с паспортом поддержания штрека, а для упрочнения непосредственной почвы необходимо ввести дополнительный горизонтально расположенный анкер по глубине нижней подрывки.

Что касается пород почвы выработки (по фактору распределения интенсивности напряжений), то подтверждается ранее отмеченная особенность о преимущественном развитии пучения со стороны нетронутого массива, где опорное давление в боку выработки способствует концентрации σ и разупрочнению непосредственной почвы на глубину до 2,1 м. На остальной ширине выработки размещена область разгрузки σ и разупрочнение почвы не прогнозируется.

Подытоживая результаты выполненного анализа, следует акцентировать внимание на прогнозе достаточно интенсивного развития геомеханических процессов сдвижения надугольной толщи и активных проявлений горного давления на фоне крайней их асимметрии относительно вертикальной оси

выработки. Обширные и удаленные области аномалий НДС наталкивают на отказ от «стандартных» методов противодействия горному давлению путем усиления крепежной системы, а привлечение методов комбинированного анкерного упрочнения близлежащих пород кровли на расстояние до 6 м и более для создания армопородных грузонесущих конструкций.

9.2. ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ НДС УГЛЕВМЕЩАЮЩЕГО МАССИВА ВОКРУГ 861 СБОРНОГО ШТРЕКА ПРИ РЕКОМЕНДУЕМОЙ СХЕМЕ ЕГО ПОДДЕРЖАНИЯ

Считается общепринятым, что та или иная схема поддержания выемочной выработки оказывает некоторое влияние лишь на приконтурные породы, а более отдаленные участки массива не подвержены сколь-нибудь существенному ее воздействию. Тем не менее, необходимость оценки НДС окружающего массива при рекомендуемой схеме крепления продиктована тем, что в последней используются канатные анкера, осуществляющие так называемое «глубинное» упрочнение пород, и это обстоятельство нуждается в проверке.

Анализ НДС близлежащего массива проведен по трем компонентам напряжений: вертикальным σ_y , горизонтальным σ_x и интенсивности напряжений σ .

9.2.1. АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ НАПРЯЖЕНИЙ

Эпюра вертикальных напряжений, представленная на рис. 9.4, характеризуется следующими особенностями распределения аномалий вертикального горного давления вокруг 861 сборного штрека.

Со стороны выработанного пространства наблюдается достаточно однородное поле распределения σ_y , изменяющееся в основном в диапазоне 2,3 – 6,7 МПа, что указывает на разгруженное состояние пород величиной 0,21 – 0,61 от исходного значения μH нетронутого массива. Наиболее однородное распределение σ_y имеет место в породах почвы на всю глубину (не менее 18,4 м) модели, а в боковом направлении распространяется до ее вертикальной границы и занимает ширину 17,1 – 20,9 м. В боку выработки по высоте до 7,7 м наблюдаются локальные очаги $\sigma_y = 11,0 – 15,3$ МПа, связанные с влиянием крепежной и охранной систем штрека. Здесь concentra-

ция сжимающих σ_y составляет всего 1,0 – 1,39 и только верхнее значение данного диапазона соответствует сопротивлению сжатия аргиллита пород непосредственной кровли и почвы. Присутствует еще одна весьма ограниченная область над одинарным рядом деревянных стоек охранной системы, где $\sigma_y = 15,3 – 19,7$ МПа; в этой области разупрочнение слабого аргиллита (интервал сопротивления сжатию 9 – 20 МПа) более вероятно, но ее небольшие размеры (по высоте до 1,4 м, по ширине – до 0,4 м) не оказывают существенного воздействия на общее разгруженное состояние пород непосредственной кровли со стороны выработанного пространства. В породах основной кровли на фоне разгрузки преимущественно уровня 0,21 – 0,61 сформированы достаточно ограниченные области растяжения до 2 МПа наряду с еще более локальными областями концентрации сжимающих σ_y до значения 1,39. Данные области вертикальных напряжений разных знаков возникли благодаря разбиению трещинами породных слоев основной кровли на блоки и их взаимодействию между собой в процессе опускания в выработанное пространство. Здесь главными факторами разнознаковых «всплесков» σ_y являются контактные напряжения по поверхностям взаимодействующих блоков и их деформации изгиба под воздействием вышележащих породных слоев. В целом, эти локальные области возмущений компоненты σ_y не оказывают существенного влияния на общую картину разгруженного состояния пород основной кровли на высоту до 16,6 м.

Со стороны нетронутого массива образуется зона бокового опорного давления, которая имеет следующие особенности распределения концентраций сжимающих σ_y . Проявления бокового опорного давления распространяются в кровле над выработкой на высоту до 13,1 м. Здесь концентрация σ_y составляет всего 1,39 – 1,79; область вытянута в кровлю и имеет неправильную форму с асимметрией в сторону нетронутого массива; лишь на отдельных локальных участках концентрация вертикальных напряжений достигает величины 2,18, а в абсолютном значении не превышает 24 МПа.

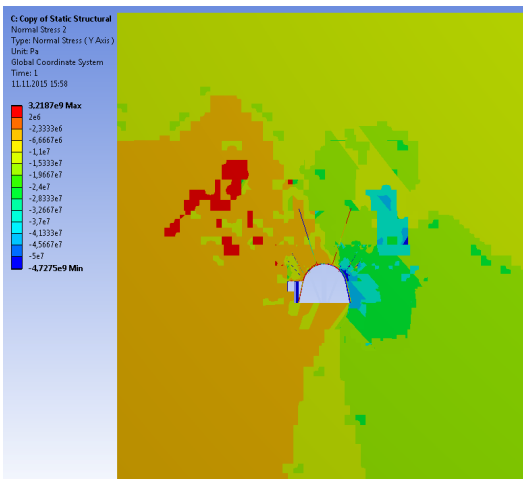


Рис. 9.4. Эпюра вертикальных напряжений σ_y в углевмещающей толще вокруг 861 сборного штрека при рекомендуемой схеме его поддержания

Область концентраций σ_y ограничена мощностью зоны шарнирно-блокового сдвижения, не достигая песчаника, расположенного на высоте 14,4 м от свода штрека. Сравнение прочностных характеристик внутри этой области с действующими концентрациями σ_y показывают, что разупрочнению подвергнут в основном аргиллит непосредственной кровли, а угольный пласт C_8^G , песчаник и алевролит основной кровли находится в допредельном и достаточно устойчивом состоянии.

Аналогичные выводы можно сделать относительно остальных областей бокового опорного давления, располагающихся за пределами некоторой зоны вблизи выработки, которая сформирована в ее боку и занимает положение по высоте до 9,7 м, а по ширине – до 7,2 м. В этой области концентрации σ_y уровня 1,79 – 2,18 являются разрушающими для аргиллита непо-

средственной кровли и почвы, а угольный пласт C_8^G , пропласток C_8^{HO} , песчаник и алевролит почвы остаются в целостном состоянии. Внутри рассматриваемой области на ширину до 1,2 м и по всей высоте штрека образуется подобласть с концентрацией σ_y в диапазоне 3,75 – 4,15, где однозначно происходит интенсивное разрушение приконтурных пород непосредственной кровли и почвы, а также разупрочнение угольного пласта. Данная подобласть нуждается в упрочнении сталеполимерными анкерами как в кровле, так и почве пласта, что и реализовано в рекомендуемой схеме крепления штрека.

Следует обратить внимание на еще одну область концентрации σ_y , расположенной в основной кровле и распространяющуюся по высоте до 7,0 м и по ширине – до 3,1 м. Эта область включает угольный пласт C_8^G , аргиллит и песчаник основной кровли и отстоит от контура выработки на 2,5 – 3 м в сторону нетронутого массива. Ее значение заключается в следующем. *Во-первых*, область расположена в зоне досягаемости упрочнения канатными анкерами или упрочнения тех породных слоев основной кровли, которые входят в ее состав. *Во-вторых*, именно из этих породных слоев основной кровли формируется (канатными анкерами) грузонесущая армопородная конструкция, призванная защитить рамную крепь штрека от чрезмерного горного давления. *В-третьих*, если произойдет значительное нарушение сплошности представленных литотипов, то ширины данной области в 3,1 м вполне достаточно, чтобы возникли такие подвижки в распорной системе из породных блоков основной кровли, при которых она потеряла бы устойчивость; тогда задача формирования армопородной плиты в кровле не была бы выполнена и на рамную крепь воздействовала бы вся нагрузка от веса неустойчивых пород. Такое негативное развитие событий считаем маловероятным на основании сравнительного анализа поля распределения σ_y и прочностных характеристик литотипов в исследуемой области. Действи-

тельно, подавляющая часть области испытывает $\sigma_y = 19,7 - 24,0$ МПа и только на отдельных ограниченных участках $\sigma_y = 37 - 46$ МПа. Следовательно, можно сделать вывод, что верхний слой (песчаник) и нижележащий пласт C_8^G рассматриваемой области будут находиться в устойчивом состоянии (по фактору действия σ_y), так как их сопротивление сжатию в 1,3 – 3,0 раза превышает величину вертикальных напряжений по основному объему пород. Аргиллит, расположенный между угольным пластом C_8^G и песчаником, будет находиться в начальной стадии разупрочнения, поэтому целесообразно его упрочнить, связав канатными анкерами в единую грузонесущую конструкцию с более устойчивыми смежными литотипами.

Вышеизложенные соображения по анализу поля распределения вертикальных напряжений в достаточной степени обосновывают целесообразность упрочнения основной кровли канатными анкерами. Что же касается сталеполимерных анкеров, то их позитивное упрочняющее воздействие способствует повышению устойчивости пород непосредственной кровли в двух областях размещения относительно небольших концентраций σ_y на нижней части концевых участков армопородной плиты и в боках выработки: над охранной системой со стороны выработанного пространства и со стороны нетронутого массива. Эти области служат своеобразными опорами для армопородной плиты и от степени их устойчивости зависит эффективность работы грузонесущей армопородной конструкции по ограничению проявлений горного давления в сборном штреке.

9.2.2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ НАПРЯЖЕНИЙ

Далее рассмотрим особенности поля распределения горизонтальных напряжений σ_x (рис. 9.5) при рекомендуемой схеме поддержания 861 сборного штрека. Здесь уместно напомнить, что эпюра σ_x весьма четко отражает деформации изгиба породных слоев и их направление.

Со стороны выработанного пространства на всю мощность беспорядочного обрушения и шарнирно-блокового сдвижения наблюдается «глубокая» разгрузка пород от действия горизонтальных напряжений. Если пока не принимать во внимание зависающие над выработанным пространством породные консоли, то остальная область характеризуется равномерным полем растягивающих $\sigma_x = 0,5 - 5$ МПа; в более крепком и жестком песчанике растягивающие σ_x увеличиваются до 10 – 15 МПа и однозначно разделяют его на породные блоки вертикальными трещинами разрыва. В области зависающих породных консолей устанавливается преимущественно начальное

напряженное состояние с отдельными локальными участками действия растягивающих σ_x до 5 МПа и концентраций сжимающих σ_x до 13 МПа, что обусловлено некоторым изгибом породных слоев в процессе их зависания над выработанным пространством. Поэтому в пределах непосредственной кровли и нижележащих слоев основной кровли (до песчаника) устанавливается относительно равномерное поле σ_x с ограниченными аномалиями; здесь величина σ_x близка к исходному состоянию нетронутого массива и распро-

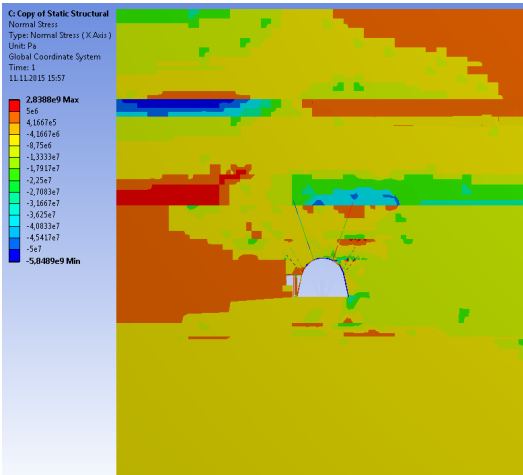


Рис. 9.5. Эпюра горизонтальных напряжений σ_x в углевлещающей толще вокруг 861 сборного штрека при рекомендуемой схеме его поддержания

страняется над выработкой как в сторону зависающих породных консолей, так и в сторону массива на расстояние до 4 – 5 м от контура выработки.

Такое распределение σ_x в непосредственной кровле и нижних слоях основной неоднозначно воздействует на их устойчивость, если рассматривать компоненты σ_x и σ_y в сочетании друг с другом. В зависающих над выработанным пространством породных консолях отсутствие значимых концентраций σ_x сочетается с разгрузкой σ_y и даже

слабые аргиллиты не испытывают разрушающих усилий. Напротив, со стороны нетронутого массива действует боковое опорное давление с достаточно высокими концентрациями σ_y ; в этих условиях действие относительно небольших сжимающих σ_x способствует увеличению разницы $\sigma_y - \sigma_x$ и, соответственно, повышению вероятности разупрочнения некоторого объема приконтурных пород.

Необходимо отметить отдельно распределение σ_x в песчанике основной кровли, который активно сопротивляется горному давлению благодаря своей крепости ($\sigma_{сжс} = 30 - 60$ МПа) и мощности 3 м. Указанные параметры песчаника свидетельствуют о его достаточной жесткости, благодаря которой пониженные деформации изгиба в меньшей степени пригружают нижележащие породные слои (ранее уже отмечалось относительно однородное поле σ_x) и ограничивают прогибы вышележащего слоя алевролита: поле σ_x в последнем близко к состоянию нетронутого массива.

Такому поведению алевролита способствует и вышележащий песчаник мощностью 1,7 м; несмотря на то, что этот песчаник относится к группе

литотипов средней мощности, он также вносит определенный вклад в сопротивление сдвигению надугольной толщи.

Ближний к выработке слой песчаника при своем противодействии горному давлению образует консоль длиной 6,0 – 6,5 м от контура выработки, под защитой которой находятся нижележащие породные слои без ярко выраженных возмущений поля σ_x , что способствует снижению интенсивности действия косонаправленной и боковой нагрузки на крепежную систему со стороны выработанного пространства.

От границы консоли в направлении выработанного пространства действуют (по большей части мощности песчаника) растягивающие напряжения до 5 МПа, а в его нижней части – до 10 – 15 МПа. Учитывая, что сопротивление песчаника растяжению $\sigma_p = 1,6$ МПа, можно прогнозировать в этой области разделение песчаника на более мелкие куски и блоки.

По длине консоли растягивающие σ_x практически отсутствуют, а сжимающие σ_x в 6 – 12 раз меньше сопротивления песчаника сжатию, – консоль находится в целостном состоянии.

Над выработкой в нижней части мощности песчаника образуется концентрация сжимающих σ_x , что указывает на его некоторый прогиб в полость выработки; подавляющая часть объема пород в этой области концентраций σ_x находится в целостном состоянии благодаря повышенным прочностным свойствам песчаника. Поэтому, при вовлечении песчаника в единую армопородную конструкцию (за счет канатных анкеров), его достаточно устойчивое состояние будет содействовать повышению грузонесущей способности всего объема пород кровли от контура выработки до координаты залегания песчаника; эта мощная породная плита, по нашим прогнозам, способна воспринять на себя основную часть вертикального горного давления.

Более удаленный в кровлю и менее мощный слой песчаника, очевидно, будет подвержен частичному разупрочнению небольшими (до 2 – 3 МПа) растягивающими σ_x со стороны нетронутого массива и ограниченной областью концентраций сжимающих σ_x со стороны выработанного пространства.

В обширных объемах пород со стороны нетронутого массива действует весьма однородное поле $\sigma_x = 8 – 13$ МПа, которое не способно разупрочнить ни один из расположенных там литотипов.

В почве штрека на фоне относительно равномерного распределения σ_x на большие расстояния в глубь массива в его части, ближней к выработке, имеют место локальные «всплески» небольших растягивающих σ_x до 2 – 3 МПа и сжимающих σ_x до 10 – 15 МПа; но, они приурочены к более крепким литотипам (песчаник и пропласток C_8^{HO}) и не играют сколь-нибудь значимой роли в развитии пучения пород почвы штрека.

В целом, по фактору действия горизонтальных напряжений σ_x можно утверждать о достаточно устойчивом состоянии породного массива вокруг штрека при использовании рекомендуемой схемы его поддержания.

9.2.3. ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ

На заключительном этапе исследования НДС массива вокруг 861 сборного штрека при использовании рекомендуемой схемы его поддержания проанализировано поле распределения интенсивности напряжений σ , эпюра которого приведена на рис. 9.6.

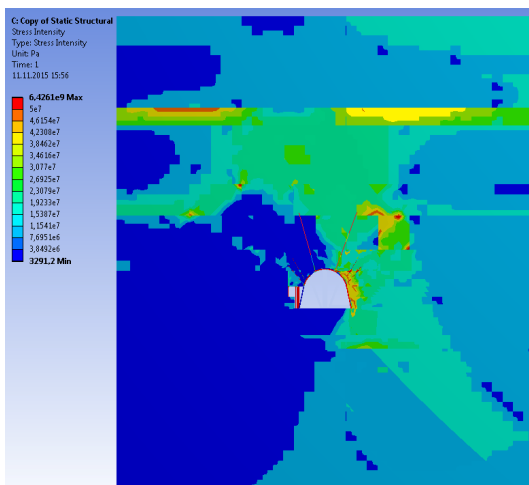


Рис. 9.6 Эпюра интенсивности напряжений σ в углевмещающей толще вокруг 861 сборного штрека при рекомендуемой схеме его поддержания

Со стороны выработанного пространства наблюдается обширная область разгрузки σ , распространяющаяся в боках и почве до соответствующих границ модели, а в кровле – в основном до высоты залегания песчаника (порядка 7,5 – 8 м). Это вполне закономерно, так как интенсивность напряжений σ является характеристикой, обобщающей все компоненты, а из них две основные (σ_y и σ_x) имеют минимальные значения в выработанном пространстве.

В породах основной кровли, начиная от песчаника мощностью 3 м и выше, образуется относительно равномерное поле $\sigma = 15 - 30$ МПа. По высоте данная область располагает-

ся между двумя слоями песчаника, а по ширине распространена на 18 – 25 м, в самих песчаниках – до границ модели (шириной 50 м). Указанная величина (в среднем) далека от разрушающей для песчаника, а для алевролита ее можно оценить либо как близкую к предельному состоянию, либо соответствующую его начальной стадии разупрочнения. Перспектива этого состояния алевролита в немалой мере зависит от степени целостности ниже- и выше-лежащих слоев песчаника: при их целостном состоянии сохраняются условия «стесненного» деформирования алевролита с исключением (или большим ограничением) возможности перемещения породных объемов алевролита в произвольном направлении при наступлении стадии его разупрочне-

ния. Поэтому любое перемещение породных объемов алевролита будет генерировать соответствующую реакцию, направленную на восстановление его целостности.

В свете вышеизложенного отметим, что распределение σ в нижнем слое песчаника в основном многократно меньше величины его сопротивления сжатию. Исключение составляет ограниченная область, расположенная со стороны нетронутого массива, где $\sigma = 35 - 50$ МПа примерно соответствуют крепости песчаника. Но, размеры этих областей состояния песчаника, близкого к предельному, невелики и не оказывают решающего влияния на его устойчивость.

В верхнем слое песчаника наблюдаются две области концентраций σ . Со стороны нетронутого массива концентрация σ распространяется по ширине до 12 м, а по мощности песчаника – до 1,3 м. Величина же концентрации $\sigma = 35 - 40$ МПа позволяет утверждать о сохранении его целостности. Со стороны выработанного пространства размеры областей концентрации σ несколько меньше, но здесь присутствует подобласть высотой до 0,4 м, где величина $\sigma = 45 - 55$ МПа приближается или равна значению сопротивления песчаника сжатию. Здесь возможно некоторое разупрочнение песчаника, но его достаточное удаление от выработки и расположение над выработанным пространством не позволяет прогнозировать сколь-нибудь существенное влияние на формирование нагрузки на крепежную систему штрека.

Со стороны нетронутого массива в зоне бокового опорного давления расположена обширная область повышенных напряжений $\sigma = 15 - 30$ МПа, затрагивающая как породы основной кровли, так и основной почвы пласта C_8^H . Относительно их состояния можно прогнозировать частичное разрушение слабых аргиллитов, предельное состояние и некоторое разупрочнение алевролитов и устойчивое допредельное состояние песчаников, угольных пластов и пропластков. В ближней к выработке зоне шириной до 1,0 м и высотой до 4,5 м действуют концентрации $\sigma = 38 - 42$ МПа с весьма локальными очагами до 50 МПа. Эта область однозначно подвержена разупрочнению угольного пласта C_8^H и разрушению аргиллитов непосредственной кровли и почвы, в связи с чем ее рекомендовано упрочнить сталеполимерными анкерами. Примерно такой же уровень концентрации σ действует в ранее упомянутой области основной кровли, располагающейся в боковой ее части на расстоянии 2,5 – 3 м от контура выработки. Она затрагивает нижний слой песчаника, который благодаря своему повышенному сопротивлению сжатия находится в целостном состоянии; а также распространяется в нижележащий аргиллит на большую часть его мощности, а по ширине – до 2,5 м. Как отмечалось выше, в этой области необходимо ограничить горизонтальные подвижки пород для сохранения устойчивости распорной системы из породных блоков. При указанных значениях σ разрушение аргиллита безусловно будет происходить, но положительным моментом является от-

носителем ограниченной области разрушенного состояния, деформирующаяся в стесненных условиях, а также, что часть мощности аргиллита находится в устойчивом состоянии и способна обеспечить распор блочной системе упрочненных пород основной кровли.

Подытоживая результаты анализа компонент НДС можно предварительно отметить повышение устойчивости некоторых областей близлежащего массива при применении рекомендуемой схемы поддержания 861 сборного штрека. Для конкретизации изменений НДС массива за счет использования новой крепежной системы штрека проведен сравнительный анализ распределения компонент напряжений по отношению к варианту установки базовой схемы крепления 861 сборного штрека.

9.2.4. СОПОСТАВИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НДС ВМЕЩАЮЩЕГО ПОРОДНОГО МАССИВА ПРИ РАЗНЫХ СХЕМАХ ПОДДЕРЖАНИЯ 861 СБОРНОГО ШТРЕКА

Степень влияния рекомендуемой крепежной системы 861 сборного штрека на изменение НДС близлежащего массива оценены по вертикальным σ_y и горизонтальным σ_x компонентам, а окончательные выводы сделаны на основе различий в распределении интенсивности напряжений σ , которые являются интегральным параметром при отражении уровня состояния (допредельное, предельное и запредельное) того или иного породного объема.

При сравнительном анализе эпюр распределения вертикальных напряжений необходимо отметить следующие позиции. Со стороны выработанного пространства сколь-нибудь существенных изменений эпюры σ_y не наблюдается. Тот же вывод можно сделать относительно пород почвы пласта C_8^H . Такая ситуация вполне ожидаема, так как ни со стороны выработанного пространства (система охраны), ни со стороны пород почвы не было внесено каких-либо изменений (кроме боковых сталеполимерных анкеров по глубине нижней подрывки) в схему поддержания 861 сборного штрека.

В породах непосредственной и основной кровли пласта C_8^H наблюдается ряд изменений. *Во-первых*, ранее непрерывная область концентраций σ_y уровня 1,39 – 1,79 уже не является цельной, а состоит из нескольких фрагментов, разделенных величиной σ_y , близкой к исходному состоянию нетронутого массива. Объем пород основной кровли, подверженный вышеуказанной концентрации σ_y , снизился в среднем на 25 – 33%. *Во-вторых*, концентрация σ_y уровня 1,79 – 2,18, разупрочняющая аргиллит, при рекомендуемой схеме размещения в основном в непосредственной кровле и по сравне-

нию с базовым вариантом крепления штрека высота этой области снижена в 4,2 – 4,6 раза, если брать за точку отсчета вертикальную координату замка свода рамы. В-третьих, существенно изменилась величина концентраций σ_y в породах основной кровли, расположенных на расстоянии 2,5 – 3 м от контура выработки со стороны нетронутого массива. Здесь практически исчезли интенсивно разрушающие концентрации величиной 4,5 и более, а также существенно ограничены концентрации уровня 3,3 – 4,1.

Выявленные изменения позволяют прогнозировать более устойчивое состояние пород кровли в целом и ее нижних слоев, в частности, что на наш взгляд, обусловлено формированием канатными анкерами армопородной плиты в кровле. Данный фактор в сочетании со сталеполимерными анкерами позволил снизить концентрации σ_y в приконтурных породах боков штрека со стороны нетронутого массива. Так, область заведомо разрушающей концентрации более 4,5 единиц исчезла вовсе, а при базовой схеме крепления она занимала в непосредственной почве ширину до 1,3 м и высоту до 2,5 м. Тот же уровень концентрации в районе пяты свода в непосредственной кровле ограничен по размерам распространения на 15 – 20%. Таким образом, по фактору распределения вертикальных напряжений наблюдается неоспоримое повышение устойчивости ряда породных объемов вокруг 861 сборного штрека при рекомендуемой схеме его крепления.

При сравнении полей распределения горизонтальных напряжений следует выделить два основных изменения на фоне общего постоянства параметров распределения σ_x по большей части областей окружающего массива. Оба отличия касаются близлежащего и более удаленного в пространстве песчаника над выработкой и со стороны нетронутого массива.

Повышение устойчивости близлежащего песчаника (при рекомендуемой схеме крепления штрека) обусловлено общим снижением концентраций сжимающих σ_x на 20 – 25% в области, занимающей нижнюю половину его мощности и распространяющейся над выработкой на расстояние до 8,9 м; здесь наблюдаются лишь три отдельных очага концентраций σ_x до 50 МПа, которые достаточно малы по размерам и не влияют на устойчивое состояние песчаника.

В более удаленном слое песчаника снижаются (до 15 – 30%) концентрации растягивающих σ_x , а в нижележащем слое алевролита напряжения растяжения исчезают вовсе в примыкающей к песчанику части своей мощности.

Таким образом, по фактору действия горизонтальных напряжений следует отметить общее повышение устойчивости наиболее крепких слоев основной кровли. На наш взгляд, это произошло благодаря формированию канатными анкерами распорной системы из породных блоков в нижних слоях основной кровли.

На завершающем этапе сравнительного анализа выделили основные отличия в распределении интенсивности напряжений σ , которые указывают на снижение напряженности пород в основной кровле, боках и почве штрека со стороны нетронутого массива.

В породах основной кровли, включая более удаленный слой песчаника (высота этой области до 14,3 м) произошло снижение концентрации σ до 40 – 60%, что обеспечило допредельное состояние всех размещенных там литотипов за исключением аргиллита, испытывающего частичное разрушение.

В отдаленном слое песчаника концентрация σ снизилась на 19 – 43% и это обеспечило его целостность по всей своей мощности. Аналогичное снижение σ произошло в близлежащем песчанике и нижерасположенном аргиллите в боковой области (со стороны нетронутого массива), которая считалась проблемной с точки зрения формирования устойчивой распорной системы из породных блоков нижних слоев основной кровли.

В породах непосредственной кровли и почвы снижение σ произошло на 10 – 12%, что несколько ограничило интенсивность их разрушения. В прилегающей к выработке части боковых пород интенсивность напряжений снизилась 30 – 40%, что переводит угольный пласт C_8^H из запредельного состояния в близкое к предельному и снижает степень разрушения пород непосредственной кровли и почвы пласта.

В породах основной почвы, помимо снижения σ на 10 – 15% произошло сокращение ширины области их концентраций до 50 – 80%.

Приведенные результаты убедительно показывают общее снижение напряженности массива вокруг 861 сборного штрека при использовании рекомендуемой схемы его поддержания. Следовательно, вполне обоснованно прогнозировать снижение интенсивности проявлений горного давления и сохранение эксплуатационных характеристик выработки для ее повторного использования.

9.2.5. АНАЛИЗ НДС ПОРОД МЕЖДУПЛАСТЬЯ ПЛАСТОВ C_8^H и C_9 В РАЙОНЕ РАЗМЕЩЕНИЯ 861 СБОРНОГО ШТРЕКА

На шахтах Западного Донбасса угольные пласты в свите отрабатываются совместно по два, реже – по три смежных пласта в нисходящем порядке. При этом очистные работы верхнего пласта, как правило, опережают выемку нижнего пласта на несколько столбов для отдельной отработки добычных участков [94]. Однако в весьма сложных горно-геологических условиях нисходящая последовательность отработки двух смежных пластов должна учитывать геомеханические процессы влияния надрезки на состояние пород междупластья при выемке нижнего пласта. Определенная нарушенность

пород почвы верхнего пласта при прохождении очистного забоя (фронтальное и боковое опорное давление) в сложных условиях может способствовать активизации сдвижения пород надугольной толщи при отработке нижнего пласта. Особо опасная ситуация возникает, когда зона шарнирно-блокового сдвижения в кровле при отработке нижнего пласта соединяется с областью нарушенных пород почвы к этому времени уже извлеченного вышележащего пласта [57]. Тогда многократно возрастает высота неустойчивых пород, включающая: зоны беспорядочного обрушения и шарнирно-блокового сдвижения на границе с выработанным пространством нижнего пласта; область нарушенных пород почвы уже отработанного верхнего пласта; зоны беспорядочного обрушения и шарнирно-блокового сдвижения в выработанном пространстве верхнего пласта. В таких условиях обширная область стабилизации проявлений горного давления (вокруг уже отработанного верхнего пласта), давно пришедшая в равновесное состояние, снова может быть выведена из него с соответствующими вертикальными и горизонтальными подвижками массива на значительную высоту (30 – 50 м и более) в кровлю обрабатываемого нижнего пласта. Нагрузка от сдвижения указанной толщи массива превышает несущую способность секций крепи механизированного комплекса и, тем более, любой крепежной системы выемочных выработок; то есть, возникает чрезвычайно опасная аварийная ситуация, исследование которой выполнено на примере отработки в нисходящем порядке двух смежных пластов C_8^H и C_9 на шахте «Западно-Донбасская» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь».

Для количественной оценки напряженно-деформированного состояния пород междупластья пластов C_9 и C_8^H проведен вычислительный эксперимент с использованием метода конечных элементов, моделирующий условия отработки пласта C_8^H после завершения очистных работ на данном участке шахтного поля по пласту C_9 . Горно-геологическая ситуация изучена на участке междупластья, расположенном над 861 сборным штреком пласта C_8^H . По результатам расчетов построены графики (рис. 9.7) изменения коэффициентов концентрации вертикальных K_y и горизонтальных K_x напряжений по высоте h междупластья. Коэффициенты концентрации определяются по выражениям

$$K_y = \frac{\sigma_y}{\gamma H}; \quad K_x = \frac{\sigma_x}{\lambda \gamma H},$$

где σ_y и σ_x – вертикальные и горизонтальные напряжения, соответственно;

H – глубина размещения выработки;

γ – средневзвешенный объемный вес надугольной толщи до земной поверхности;

$\lambda = \frac{\mu}{1-\mu}$ – коэффициент бокового распора;

μ – коэффициент Пуассона.

Зависимость изменения коэффициента K_y концентрации вертикальных напряжений характеризуется рядом особенностей. Сразу же следует отметить, что приведенные зависимости $K_{y,x}(h)$ построены для наиболее напряженного участка 861 сборного штрека, расположенного со стороны нетроннутого массива, вертикальная ось которого отстоит от контура штрека на расстояние 1,0 – 2,5 м.

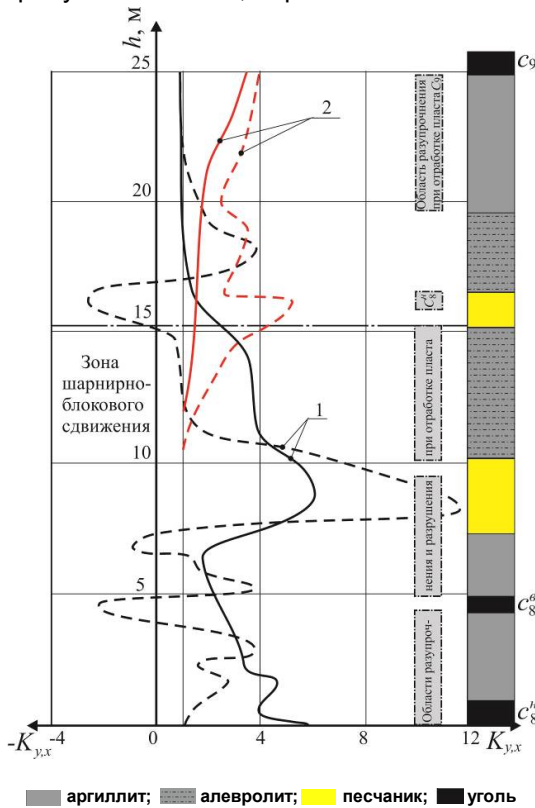


Рис. 9.7. Изменение коэффициентов концентраций вертикальных K_y (—) и горизонтальных K_x (---) напряжений по мощности h междупластья пластов C_9 и C_8^H : 1 – при отработке пласта C_8^H ; 2 – при отработке пласта C_9

Непосредственно по высоте выработки коэффициент концентрации K_y изменяется в интервале 4,6 – 5,9 и безусловно вызывает разупрочнение и разрушение пород, что подтверждается сравнением сопротивления сжатию залегающих здесь литотипов и величины интенсивности напряжений σ согласно теории прочности Кулона-Мора.

В породах непосредственной кровли из-за слабого сопротивления сжатию аргиллита ($\sigma_{сж} = 14,5$ МПа) его разупрочнение развивается по высоте вплоть до угольного пласта C_8^6 . Здесь следует отметить, что высота области разупрочнения и разрушения показана столбцами в правой части рис. 9.7, но также иметь ввиду определенную ограниченность указанных областей по простиранию пласта. По мощности угольного пласта C_8^6 разупрочнения не происходит, поскольку его сопротивление ($\sigma_{сж} = 30$ МПа) превосходит действующую величину интенсивности напряжений σ .

В аргиллите основной кровли $K_y = 1,8 - 3,8$ и такой концентрации достаточно для его разупрочнения ввиду слабого сопротивления сжатию ($\sigma_{сж} = 16$ МПа).

Область разупрочнения распространяется в вышележащий песчаник, несмотря на его относительно высокую (для условий Западного Донбасса) крепость ($\sigma_{сж} = 45$ МПа), так как здесь $K_y = 3,8 - 6,2$. Но, разупрочнение песчаника развивается не на всю его мощность, что обусловлено снижением интенсивности напряжений σ в верхней части мощности песчаника.

Вышележащий алевролит замыкает зону шарнирно-блокового сдвижения и в нем действует $K_y = 2,4 - 5,1$. Несмотря на увеличенное сопротивление сжатию ($\sigma_{сж} = 21$ МПа) алевролита, он подвержен разупрочнению по всей своей мощности.

Над алевролитом залегает песчаник средней мощности и как более жесткий литотип (по отношению к смежным литологическим разностям) он воспринимает повышенное горное давление с прогибом в сторону выработки. Поэтому в верхней части его мощности развивается разупрочняющая величина интенсивности напряжений σ . Здесь следует иметь ввиду, что небольшая концентрация $K_y = 1,4 - 2,5$ рассматривается в комбинации со значительными растягивающими горизонтальными напряжениями σ_x (коэффициент K_x приобретает отрицательные значения до $-2,6$), а согласно теории прочности Кулона-Мора сочетание сжатия с растяжением наиболее опасно для целостности любой горной породы.

Залегающий выше алевролит уже находится в устойчивом состоянии с коэффициентом концентрации K_y , снижающимся от 1,4 до 1,0, то есть по вертикальным напряжениям σ_y происходит переход к состоянию нетронутого массива. Аналогичное положение имеет место и для аргиллита, представляющего почву пласта C_9 .

Таким образом, отсутствие разупрочнения в самом напряженном направлении (по вертикали) наблюдается на глубину 8,4 м в почву пласта C_9 .

Концентрации горизонтальных напряжений K_x играют отчасти подчиненную роль, но, тем не менее, важны с точки зрения формирования разрушающей величины интенсивности напряжений σ согласно теории прочности Кулона-Мора. Величина коэффициента концентрации K_x имеет более высокие значения, так как этот безразмерный параметр определяется по отношению к горизонтальным напряжениям σ_x нетронутого массива, которые обычно составляют 40 – 50% от вертикальных напряжений σ_y . Кроме того, по причине изгиба породных слоев возникают резкие перепады коэффициента K_x даже в пределах мощности одного литотипа, а появление

растягивающих σ_x в отдельных породных слоях обуславливает и отрицательные значения K_x .

В аргиллите непосредственной кровли ввиду ее интенсивного изгиба коэффициент K_x изменяется от 1,7 на границе с пластом C_8^H , затем возрастает до 3,8 и на границе с пластом C_8^e переходит в отрицательные значения $K_x = -1,6$. Отрицательная величина K_x указывает на прогиб аргиллита в полость выработки, максимум изгибных напряжений σ_x находится на некотором расстоянии 1,5 – 2,0 м от контура выработки со стороны нетронутого массива.

Угольный пласт C_8^e , несмотря на свою малую мощность в 0,7 м испытывает знакопеременную концентрацию K_x от –2,2 до 1,9. Это происходит по причине повышенного сопротивления угля сжатию, что способствует восприятию повышенной нагрузки. Достаточно интенсивно изгибается и аргиллит, залегающий в кровле пласта C_8^e ; здесь коэффициент концентрации K_x изменяется от –0,9 до 3,8.

Наиболее нагружен крепкий и жесткий песчаник мощностью 3,0 м; поэтому в нем отмечается максимальное значение коэффициента концентрации $K_x = 11,8$, которое снижается на границе с нижележащим аргиллитом до $K_x = 0,4$.

Залегающий над песчаником мощный алевролит менее подвержен изгибу и коэффициент концентрации в нем изменяется в диапазоне $K_x = 0,2$ – 6,9. На верхней границе алевролита заканчивается зона шарнирно-блокового сдвигения и интервал колебаний K_x сужается ввиду менее интенсивного прогиба слоев без нарушения сплошности. Хотя, в крепком и жестком песчанике, залегающим над алевролитом, колебания K_x остаются существенными: от –2,6 до 0,2. Еще достаточно весомыми являются изменения K_x по мощности вышележащего алевролита: от –2,3 до 3,8. Далее в аргиллите почвы пласта C_9 коэффициент концентрации K_x плавно снижается от 1,8 до 1,0 по мере приближения к пласту C_9 .

Таким образом, оценены зависимости изменения коэффициентов концентрации вертикальных K_y и горизонтальных K_x напряжений по высоте междупластья, обусловленные отработкой пласта C_8^H . Здесь наибольший интерес представляют не концентрации $K_{y,x}$, как таковые, а области разупрочнения и разрушения пород на наиболее напряженном участке со стороны нетронутого массива. Далее рассмотрено влияние ранее отработанного пласта C_9 и соответствующие коэффициенты концентрации $K_{y,x}$ показаны

в виде графиков под номером 2 на рис. 9.7.

В аргиллите непосредственной и первого слоя основной почвы пласта C_9 концентрация K_y максимальна и изменяется от 3,5 на границе с угольным пластом до 1,8 на границе с нижележащим алевролитом. Снижение (по глубине почвы пласта C_9) коэффициента концентрации K_x горизонтальных напряжений также происходит плавно без каких-либо возмущений от значения $K_x = 3,9$ на границе с пластом C_9 до $K_x = 2,6$ по плоскости напластования с алевролитом. Следует акцентировать внимание, что по всей мощности аргиллита интенсивность напряжений σ превосходит его низкое сопротивление сжатию ($\sigma_{сж} = 14,5$ МПа), что обуславливает разупрочнение аргиллита по всей мощности.

Нижележащий алевролит находится в целостном состоянии ввиду повышенной его крепости, с одной стороны, а с другой, – продолжается плавное снижение концентрации K_y от 1,8 до 1,6 на границе с залегающим глубже песчаником. Коэффициент концентрации горизонтальных напряжений по мощности алевролита колеблется в интервале $K_x = 2,5 - 3,5$; однако, комбинация концентраций K_y и K_x не способна генерировать разрушающие напряжения σ .

Далее по глубине почвы располагается песчаник, который более нагружен благодаря своей повышенной крепости и жесткости. Поэтому, в нем наблюдается всплеск концентраций горизонтальных изгибных напряжений: в нижней части мощности песчаника $K_x = 4,2$, а в верхней $K_x \geq 2,6$. Концентрации вертикальных напряжений плавно снижаются от $K_y = 1,6$ до $K_y = 1,4$. Влияние отработанного пласта C_9 таково, что не способно вызвать разупрочнение песчаника в отличие от воздействия горных работ по пласту C_8^H .

Ниже песчаника залегают мощный алевролит, являющийся верхней границей зоны шарнирно-блокового сдвижения. По его мощности концентрации $K_{y,x}$ плавно снижаются до значения 1,0, характеризующего состояние нетронутого массива по фактору воздействия отработки пласта C_9 .

В итоге, выявлены особенности распределения (по мощности междупластья) коэффициентов концентрации вертикальных K_y и горизонтальных K_x напряжений с соответствующей оценкой состояния слагающих литологических разностей на предмет их целостности. С этой точки зрения следует обратить внимание на колонку в правой части рис. 9.7, где отмечена высота областей разупрочнения и разрушения в каждом литотипе междупластья. Эти области нарушенных пород не смыкаются друг с другом, но промежутки целостного массива достаточно ограничены, что обуславливает некоторую

вероятность смыкания друг с другом участков нарушенных пород и образования единой зоны разупрочнения по мощности междупластья. Несмотря на то, что по простиранию пластов область нарушенных пород достаточно ограничена, тем не менее, полученные результаты изменяют представления о взаимовлиянии совместно обрабатываемых пластов в свите: по величине мощности междупластья $h = 23 - 26$ м пласты C_9 и C_8^H никак не относятся к сближенным; тем не менее, их взаимовлияние весьма вероятно и представляется в виде следующего механизма развития геомеханических процессов.

Еще раз отметим, что представленные на рис. 9.7 области разупрочнения ограничены по простиранию несколькими метрами, но есть и более широкие участки нарушенных пород. Большая их часть располагается в зоне шарнирно-блокового сдвижения и зоне плавного прогиба слоев без нарушения сплошности при отработке пласта C_8^H . Устойчивое состояние пород в этих зонах определяется горизонтальными усилиями распора, особенно, породных блоков в ближней к выработке области междупластья. При разрушении некоторого объема пород в зоне шарнирно-блокового сдвижения появляется возможность относительно свободных горизонтальных подвижек породных слоев и усилия распора резко снижаются; вместе с ними уменьшается (или исчезает вовсе) устойчивость распорных породных конструкций. Их обрушение развивается последовательно от нижележащих слоев к вышележащим. В процессе обрушения исчезает подпор со стороны нижележащих слоев и под воздействием вертикального горного давления вышележащие слои переходят в неустойчивое состояние. По такой схеме существует вероятность «цепной реакции» развития обрушений по всей мощности междупластья; тогда никакая крепежная система сборного штрека не справится с вертикальным горным давлением и возникает серьезная аварийная ситуация на выемочном участке.

В заключение необходимо отметить, что выполненные исследования показывают возможность существенного взаимовлияния смежных пластов (при их совместной нисходящей схеме отработки), даже если по существующей классификации они не относятся к категории сближенных. Поэтому, в каждой конкретной сложной горно-геологической ситуации рекомендуется проводить оценку вероятности потери устойчивости пород междупластья в условиях нисходящего порядка совместной отработки двух смежных пластов в свите.

10. ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ НДС ЭЛЕМЕНТОВ БАЗОВОЙ КРЕПЕЖНОЙ И ОХРАННОЙ СИСТЕМ ПОДДЕРЖАНИЯ 861 СБОРНОГО ШТРЕКА ПЛАСТА C_8^H

10.1. АНАЛИЗ ВЕРТИКАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ НАПРЯЖЕНИЙ

Рассмотрено распределение вертикальных напряжений σ_y , эпюра которых приведена на рис. 10.1. Верхняя часть рамы находится под действием знакопеременных напряжений σ_y , что указывает на его разнонаправленный изгиб. Так, в центральной части свода рамы длиной до 1,0 м проявляется концентрация σ_y ,

обусловленная реакцией двух вертикально расположенных центральных (деревянных) стоек крепи усиления, и вполне соответствует результатам других исследований [57, 58]. Несмотря на воздействие жестких центральных стоек, изгиб верхняка направлен в сторону полости выработки: в верхней части сечения СВП распределения σ_y

не является критическим (в сравнении с пределом текучести стали Ст.5), но указывает на существенный изгибающий момент. При движении от замка свода штрека в сторону выработанного пространства напряжения в верхняке снижаются по абсолютной величине и достигают минимальных значений $\pm 10 - 20$ МПа в районе замка податливости рамы. В периферийной части верхняка со стороны нетронутого массива происходит изменение знака изгибающего момента с действием в сторону кровли, а величина σ_y остается на уровне, как для замка свода.

Такие аномалии σ_y в верхняке, очевидно, связаны с косо направленной нагрузкой со стороны нетронутого массива и возникающими в основной кровле аномалиями НДС. Эти результаты свидетельствуют о преимущественном нагружении верхняка рамы со стороны нетронутого массива.

Предыдущий вывод относительно доминирующей косо направленной нагрузки со стороны нетронутого массива подтверждается при изучении состояния стоек рамы. Стойка со стороны массива находится в перегружен-

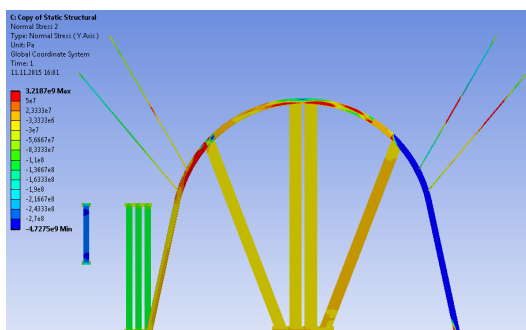


Рис. 10.1. Эпюра вертикальных напряжений σ_y в элементах базовой схемы поддержания 861 сборного штрека

ном состоянии на большей части своей длины. Существенный изгибающий момент не прослеживается (за исключением района опоры стойки по высоте 0,15 – 0,20 м), однако, следует учитывать, что даже небольшой изгибающий момент способен нарушить устойчивое состояние стойки. Поэтому целесообразно усиление сопротивления стойки рамы в боковом направлении за счет ее податливой механической связи с боковыми анкерами.

Стойка рамы со стороны выработанного пространства чрезвычайно разгружена: в прямолинейной части стойки значения σ_y изменяются от 20 – 35 МПа сжатия до 10 – 30 МПа растяжения; небольшой изгибающий момент не представляет никакой опасности. В криволинейной части стойки изгибающий момент увеличивается с прогибом в сторону полости выработки, но величина растягивающих σ_y в сечении СВП не превышает 70 – 90 МПа, что составляет всего 26 – 33% от расчетного предела текучести стали.

Таким образом, четко прослеживается асимметрия нагружения рамной крепи, что отражается и на состоянии сталеполлимерных анкеров в непосредственной кровле. Так, со стороны нетронутого массива анкера более нагружены растягивающими σ_y , чем анкера, установленные со стороны выработанного пространства. Это указывает на более активные сдвигания пород кровли со стороны нетронутого массива, что ранее отмечалось при исследовании НДС окружающей надугольной толщи. Более конкретно: относительная длина участков растяжения составляет 21 – 33% со стороны массива против 0 – 11% со стороны выработанного пространства. Само расположение участков растягивающих σ_y в центральной части длины анкеров указывает на преобладание смещений приконтурных пород над перемещениями более отдаленных участков пород [97]; то есть, происходит активное сдерживание сталеполлимерными анкерами смещений наиболее разупрочненной приконтурной части пород непосредственной кровли. Поэтому целесообразность установки двух пар анкеров в районе криволинейной части стоек не вызывает сомнений. Здесь нужна, на наш взгляд, лишь небольшая корректировка координат размещения хвостовиков анкеров и углов их наклона в соответствии с векторами наибольших перемещений приконтурных пород.

Относительно нагруженности и эффективности работы четырех центральных деревянных стоек крепи усиления установлено следующее. Две вертикальные стойки и наклонная со стороны выработанного пространства подвержены весьма равномерному (без заметных изгибающих моментов) действию сжимающих $\sigma_y = 20 – 30$ МПа, что составляет 50 – 75% от расчетного сопротивления сосны сжатию; то есть, стойки находятся в допредельном состоянии, выполняя свои функции по противодействию вертикальному горному давлению. Алогичен, на первый взгляд, результат весьма слабой (в основном до 8% от несущей способности) нагруженности напряжениями

σ_y , наклонной стойки со стороны нетронутого массива, ведь именно в этом направлении действует наибольшее косонаправленное горное давление. Причина этого явления видится в характере опускания породных блоков нижних слоев основной кровли: блоки опираются на приконтурные породы с одной стороны и центральную часть свода рамы (через непосредственную кровлю) – с другой, а посредине пролета, где нагрузка минимальна (на непосредственную кровлю и раму), как раз и установлена наклонная деревянная стойка. В отличие от нее, стойка рамной крепи «собирает» большую часть нагрузки по ширине выработки и поэтому предельно нагружена.

Из приведенных результатов распределения вертикальных напряжений σ_y , следует вывод о нецелесообразности установки наклонной деревянной стойки со стороны нетронутого массива; более того, и остальные центральные деревянные стойки нагружены далеко не полностью и их противодействие горному давлению можно оценить как среднеэффективное.

Прямой противоположностью является состояние трех рядов боковых деревянных стоек крепи усиления и ряда органной крепи. Все они перегружены, но имеются отличия. Боковые деревянные стойки крепи усиления работают либо на пределе несущей способности, либо за ее пределами. От разрушения эти стойки «спасает» возможность их податливости за счет смятия деревянных подложек (брусьев) и вдавливания в породы почвы выработки. В то же время, многократная перегруженность стоек органного ряда однозначно прогнозирует их разрушение после отхода лавы на некоторое расстояние. Последний результат, очевидно, заложен в техническом решении по принудительному обрушению близлежащих породных слоев и формированию подобия бутовой полосы обширных размеров.

В целом, итоги исследований распределения вертикальных напряжений σ_y в элементах базовой крепежной системы сводятся к следующему:

- наблюдается асимметричное нагружение рамы и сталеполлимерных анкеров с преобладающим горным давлением со стороны нетронутого массива; причем, стойки рамы нуждаются в усилении для противодействия боковым нагрузкам;

- центральные деревянные стойки крепи усиления недогружены, а наклонная стойка со стороны нетронутого массива характеризуется весьма слабым сопротивлением, что ставит под сомнение целесообразность их применения для поддержания штрека;

- боковые стойки крепи усиления работают весьма эффективно по принудительному обрушению пород непосредственной и основной кровли;

- ряд органной крепи выполняет свои функции по провоцированию обрушения непосредственной кровли и созданию «постели» для опирания опускающейся надугольной толщи.

10.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ НАПРЯЖЕНИЙ

Второй основной компонентой, характеризующей состояние крепежной системы, являются горизонтальные напряжения σ_x , эпюра которых приведена на рис. 10.2. Ее анализ позволил получить следующие результаты.

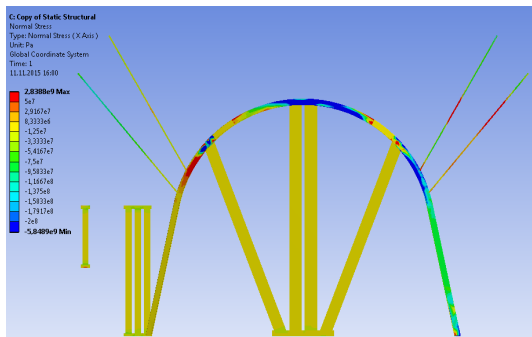


Рис. 10.2. Эпюра горизонтальных напряжений σ_x в элементах базовой схемы поддержания 861 сборного штрека

В верхняке рамы по его длине наблюдается несколько асимметричный характер распределения сжимающих σ_x ; сама асимметрия направлена в сторону нетронутого массива. На периферийных участках верхняка (в районе замков податливости) действуют минимальные сжимающие $\sigma_x \leq 12$ МПа с появлением локальных областей растяжения до 50 МПа; здесь происходит прогиб верхняка в сторону пород кровли. При движении к центральной части свода напряжения сжатия увеличиваются до 200 – 250 МПа, а на отдельных участках достигает расчетного предела текучести стали СВП. Наиболее важной особенностью распределения σ_x является действие знакопеременного изгибающего момента по всей длине верхняка: насчитывается пять участков максимумов изгибающего момента с постоянным чередованием направления изгиба верхняка. Причем, в его центральной части длиной до 1,3 м уровень σ_x таков, что вероятно возникновение пластического изгиба. То есть, несмотря на реакцию двух вертикально расположенных центральных деревянных стоек крепи усиления, верхняк рамы находится в состоянии, близком к предельному с появлением участков пластического деформирования по фактору действия σ_x .

Стойки рамы находятся в весьма разнонагруженном состоянии в зависимости от их расположения: со стороны нетронутого массива или со стороны выработанного пространства. Наиболее нагруженной является стойка со стороны массива. В ее криволинейной части действуют σ_x , приближающиеся к расчетному пределу текучести стали, и формируют изгибающий момент, способный вызвать пластический изгиб. В районе контакта стойки рамы с наклонной деревянной стойкой крепи усиления возникают локальные области концентраций растягивающих σ_x до 50 – 80 МПа и сжимающих σ_x до 200 – 250 МПа; здесь, несмотря на реакцию деревянной стойки, изгиб рамы направлен в сторону полости выработки. То есть, реакция наклонной дере-

вянной стойки не принесла желаемых результатов. В прямолинейной части стойки рамы компонента $\sigma_x = 80 - 110$ МПа достаточно равномерно распределена как по длине, так и в поперечном сечении СВП без присутствия сколь-нибудь значимого изгибающего момента. Исключение составляет район опоры стойки на высоту до 0,6 м, где наблюдаются знакопеременные σ_x , вызывающие изгиб в полость выработки. Поэтому, на данном участке стойки рамы целесообразно ее усилить за счет механической связи с горизонтально расположенным анкером в непосредственной почве пласта C_8^H .

Стойка рамы со стороны выработанного пространства по своей длине имеет значительные перепады эпюры σ_x . В ее прямолинейной части действуют равномерные сжимающие σ_x минимального уровня (10 – 30 МПа); на криволинейном участке наблюдается переход в область растяжения (30 – 80 МПа); на участке контакта с наклонной деревянной стойкой возникают высокие концентрации σ_x разных знаков, величина которых приближается к расчетному пределу текучести стали. Из приведенных данных следует неоднозначный вывод о целесообразности применения наклонных деревянных стоек крепи усиления со стороны выработанного пространства:

- с одной стороны, прямолинейная часть стойки рамы практически полностью разгружена;

- с другой стороны, в криволинейной части стойки рамы действует вполне допустимый изгибающий момент, но на контакте с наклонной деревянной стойкой весьма вероятно появление пластических деформаций СВП, что влечет нарушение нормального режима работы замка податливости рамы.

В сталеполлимерных анкерах, установленных в непосредственной кровле по бокам выработки, также проявляется асимметрия нагружения. Более нагружены анкера со стороны нетронутого массива; в их арматуре (аналогично эпюре σ_y) наблюдаются участки значительной протяженности (30 – 80%) действия растягивающих σ_x , что указывает на активное сопротивление анкеров перемещению пород непосредственной кровли в полость выработки. Со стороны выработанного пространства анкера нагружены в меньшей степени, но их реакция обеспечивает сохранение целостности упрочняемого породного объема, что особенно важно для эффективной передачи нагрузки от армопородной плиты в кровле на стойки органного ряда и в бок выработки. Таким образом, по фактору действия компоненты σ_x необходимо отметить эффективность работы сталеполлимерных анкеров в базовом варианте поддержания 861 сборного штрека.

Что касается всех центральных деревянных стоек крепи усиления базовой схемы поддержания штрека, то они не испытывают существенных горизонтальных напряжений. Это объясняется отчасти их небольшими поперечными размерами и условием свободного расширения, а отчасти их вертикальным расположением. Низкие напряжения сжатия $\sigma_x \leq 12$ МПа в наклон-

ных деревянных стойках указывают на их слабую эффективность по усилению рамной крепи.

В целом, по результатам анализа эпюры распределения горизонтальных напряжений в элементах базовой схемы поддержания 861 сборного штрека сформулированы следующие выводы:

- усиление верхняка рамы двумя рядами вертикальных центральных деревянных стоек не привело к ожидаемому эффекту: верхняк находится под действием знакопеременного изгибающего момента (не менее пяти максимумов по длине), некоторые из которых способны вызвать пластическое деформирование верхняка;
- криволинейная часть стоек рамы, несмотря на разную степень их нагруженности в целом, находится в состоянии, близком к предельному, что в немалой степени обусловлено реакцией наклонных центральных деревянных стоек, как концентраторов напряжений;
- слабая нагруженность наклонных центральных деревянных стоек вызывает сомнение в целесообразности их установки;
- боковые сталеполимерные анкера в непосредственной кровле показали высокую их эффективность работы;
- деревянные стойки органного ряда и в боках выработки не могут быть оценены компонентой σ_x по причине их вертикального расположения.

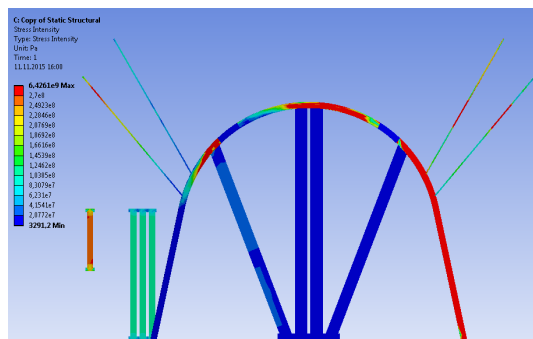


Рис. 10.3. Эпюра интенсивности напряжений σ в элементах базовой схемы поддержания 861 сборного штрека

В заключительной части оценки эффективности работы базового варианта поддержания 861 сборного штрека приведены результаты анализа распределения интенсивности напряжений σ (рис. 10.3).

Верхняк рамы нагружен асимметрично и в нем образован протяженный участок (длиной до 1,1 м) предельного (или близкого к нему) состояния стали; этот участок смещен в сторону нетронутого массива и представляет опасность с точки зрения потери устойчивой формы верхняка.

Два ряда центральных деревянных стоек крепи усиления не улучшают состояние верхняка и вполне прогнозируется его пластический изгиб под воздействием вертикального горного давления.

Стойки рамы со стороны нетронутого массива по всей своей длине находятся в предельном состоянии с высокой вероятностью пластического изгиба в полость выработки. Стойка нуждается в усилении для повышения сопротивления боковым нагрузкам. Поэтому, рекомендуется механическая податливая связь нижней части стойки с боковыми анкерами, которые

выполняют также функции упрочнения боковых пород и снижения, тем самым, бокового горного давления.

Деревянная центральная стойка с наклоном в сторону массива нагружена менее 50% от своей несущей способности и не влияет на предельное состояние стойки рамы и ее верхняка. Такой же уровень нагруженности касается и двух вертикальных центральных стоек, поддерживающих верхняк. Их недостаточное противодействие горному давлению ставит под сомнение целесообразность применения в рассматриваемых горно-геологических условиях.

Стойка рамы со стороны выработанного пространства весьма слабо нагружена (до 8 – 10% от несущей способности) в своей прямолинейной части. В криволинейной части интенсивность напряжений σ возрастает до 60 – 85% от расчетного предела текучести стали СВП, а районе контакта с наклонной центральной стойкой на участке длиной до 0,6 м наблюдается переход в предельное состояние. То есть, реакция наклонной центральной стойки крепи усиления провоцирует переход верхней части стойки рамы в предельное состояние. По этой причине, а также по фактору общей низкой нагруженности стойки рамы вызывает сомнение целесообразность применения наклонной центральной стойки крепи усиления. Хотя, следует отметить, что именно данная деревянная стойка нагружена на отдельных участках на уровне несущей способности, то есть, активно противодействует горному давлению.

Сталеполимерные анкера в боках выработки на отдельных участках нагружены до 100% своей несущей способности и их установка полностью оправдана. С учетом полного соответствия вектору перемещений боковых пород рекомендуется снизить на 10° угол наклона к горизонтали и несколько изменить координаты расположения хвостовиков анкеров.

Три ряда деревянных боковых стоек крепи усиления в боку выработки перегружены, но от разрушения их спасает податливость за счет смятия деревянных подложек (брусьев) и вдавливание в почву штрека. Данные элементы поддержания весьма эффективно противодействуют горному давлению и рекомендуются к применению.

Однорядная органная крепь будет однозначно разрушаться, но на некотором расстоянии позади очистного забоя, где образуется область беспорядочного обрушения достаточной мощности и жесткости, чтобы создать надлежащий подпор опускающимся слоям надугольной толщи.

Подытоживая результаты исследований необходимо отметить, что часть элементов базовой схемы поддержания (однорядная органная крепь, три ряда деревянных боковых стоек крепи усиления в рабочем борту выработки, сталеполимерные анкера в непосредственной кровле) рекомендуется к использованию, а все центральные деревянные стойки крепи усиления недостаточно эффективно работают по противодействию горному давлению.

11. ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ НДС ЭЛЕМЕНТОВ РЕКОМЕНДУЕМОЙ КРЕПЕЖНОЙ И ОХРАННОЙ СИСТЕМ ПОДДЕРЖАНИЯ 861 СБОРНОГО ШТРЕКА ПЛАСТА C_8^H

В соответствии с ранее обоснованной геомеханической моделью, отражающей условия нагружения крепежной и охранной систем 861 сборного штрека после прохода 861 лавы, выполнен комплекс расчетов НДС каждого из составляющих элементов. Параметры аномалий НДС углевмещающего массива в окрестности выработки (зоны опорного давления и разгрузки) в качественном плане соответствует известным результатам [55 – 58], а особенности количественных показателей наиболее ярко проявляются при оценке состояния крепежной и охранной систем выработки. Поэтому выполнен детальный анализ НДС каждого основного элемента рекомендуемой схемы поддержания выработки в ракурсе выполнения основной задачи – обеспечения условий ее повторного использования.

Анализ НДС крепежной и охранной систем выемочной выработки выполнен по компонентам напряжений: вертикальной σ_y , горизонтальной σ_x и интенсивности напряжений σ .

11.1. АНАЛИЗ ВЕРТИКАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ НАПРЯЖЕНИЙ

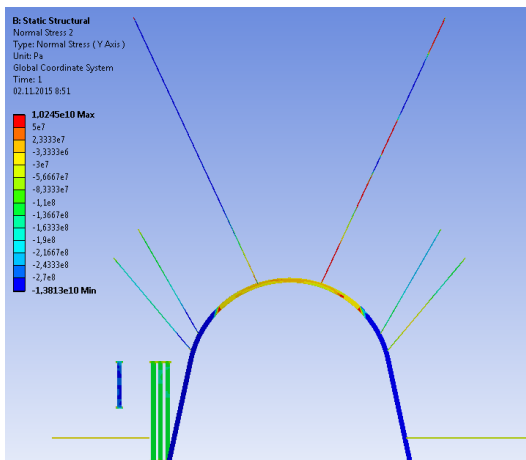


Рис. 11.1. Эпюра распределения вертикальных напряжений σ_y для рекомендуемой схемы поддержания 861 сборного штрека

Эпюра распределения вертикальных напряжений σ_y приведена на рис. 11.1, в ходе анализа которой получены следующие результаты. Компонента σ_y в рамной крепи отражает следующие особенности распределения, характерные для горно-геологических условий Западного Донбасса. Так, верхняя часть рамы находится в разгруженном состоянии с действием знакопеременных напряжений σ_y в диапазоне от 30 МПа сжатия до 30 МПа растяжения, что по отношению к величине расчетного предела текучести стали СВП со-

ставляет всего 11%. В то же время, стойки рамы находятся под действием равномерного поля напряжений сжатия с величиной, соответствующей или превышающий расчетный предел текучести стали Ст.5. Равномерность поля σ_y указывает на отсутствие сколь-нибудь существенного изгибающего момента в стойках, но их предельное состояние прогнозирует высокую вероятность пластического изгиба в полость выработки. Поэтому считаем целесообразным связать стойки рамы с боковыми анкерами продольными гибкими стяжками [95].

Канатные анкера характеризуются различным распределением σ_y в зависимости от своего места установки – со стороны массива или со стороны выработанного пространства. По длине канатных анкеров, установленных со стороны массива, наблюдается периодическое чередование участков с высокими растягивающими σ_y (порядка 30 – 80% от несущей способности) с участками сжатия такого же уровня. Данное явление обусловлено разновеликим деформированием отдельных породных слоев и блоков относительно друг друга по длине канатного анкера, что косвенно подтверждает существенные подвижки объемов пород кровли, с одной стороны, и активное сопротивление боковому опорному давлению, действующему со стороны массива в результате ведения очистных работ, с другой. Канатный анкер со стороны выработанного пространства подвержен (на 90% своей длины) действию сжимающих σ_y ; это косвенно указывает на стремление анкера соединить породные слои и блоки в целостное образование, так как отсутствуют резкие перепады σ_y по длине анкера. Таким образом, можно утверждать, что канатные анкера формируют в кровле некоторое подобие относительно целостной породной плиты значительной мощности (до 5,0 – 5,3 м), которая способна выдерживать вертикальную нагрузку, многократно превышающую несущую способность рамной крепи.

Работу сталеполлимерных анкеров в непосредственной кровле пласта C_8^H также следует оценить позитивно. Такой вывод напрашивается из «плавного» характера изменения сжимающих σ_y по длине анкеров, что свидетельствует о надежном связывании породных слоев и блоков в нижней части армопородной плиты на концевых ее участках за пределами ширины выработок, что обеспечивает образование в кровле выработки достаточно целостной грузонесущей армопородной структуры.

Боковые анкера, размещенные по глубине нижней подрывки штрека (в непосредственной почве пласта C_8^H), весьма слабо нагружены вертикальными напряжениями σ_y , поскольку ориентированы горизонтально. Оценка эффективности их работы будет дана при рассмотрении эпюры распределения горизонтальных напряжений σ_x .

Три ряда боковых деревянных стоек крепи усиления отличаются весьма равномерным распределением компоненты σ_y , а в количественном плане вертикальная нагрузка, как правило, превышает расчетное сопротивление сосны сжатию. Но, в целом, прогнозируется устойчивое состояние стоек за счет их «ухода» от чрезмерного горного давления путем смятия деревянных подложек (продольных брусьев) и вдавливания в породы непосредственной почвы.

В одинарном ряду органной крепи уровень σ_y многократно превышает расчетное сопротивление сжатию сосны и можно достаточно уверенно прогнозировать разрушение стоек в процессе развития сдвижения надугольной толщи позади очистного забоя.

Оценивая в целом эпюру распределения вертикальных напряжений σ_y в элементах крепежной и охранной систем, можно сделать вывод о целесообразности применения рекомендуемой схемы поддержания 861 сборного штрека.

11.2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ НАПРЯЖЕНИЙ

Эпюра горизонтальных напряжений приведена на рис. 11.2, из анализа которой получены результаты, соответствующие в целом ранее высказанным соображениям о достаточно интенсивных проявлениях горного давления в окрестности 861 сборного штрека после прохода 861 лавы.

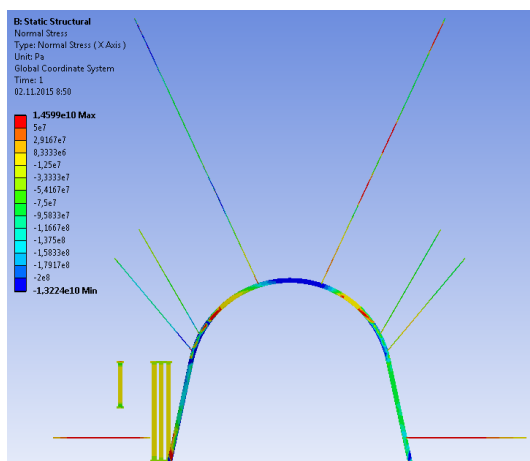


Рис. 11.2. Эпюра распределения горизонтальных напряжений σ_x для рекомендуемой схемы поддержания 861 сборного штрека

Верхняя часть рамной крепи подвержена воздействию компоненты σ_x с высоким градиентом изменения по всей длине. Так, периферийные участки (в районе замков податливости рамы) разгружены: здесь возникают σ_x различного знака до 10 – 15 МПа с достаточно равномерным распределением в поперечном сечении СВП, что указывает на отсутствие сколь-нибудь существенного изгибающего момента. По мере приближения к замку свода растут напряжения сжатия в диапазоне 50 – 140 МПа, а в самой центральной части свода длиной 1,2 – 1,3 м сжимающие

σ_x достигают 65 – 85% от величины расчетного предела текучести стали. При этом имеет место важная особенность распределения σ_x – практически по всей длине верхняка отсутствуют существенные изгибающие моменты. Это косвенно подтверждает целесообразность создания дополнительных опор верхняку за счет продольных гибких связей с канатными анкерами.

В стойках рамной крепи со стороны массива сжимающие $\sigma_x = 100 - 130$ МПа также относительно равномерно распределены в поперечном сечении СВП; изгиб спецпрофиля наблюдается в районе криволинейной части стойки, где размещены два вертикальных боковых сталеполимерных анкера. Изгиб направлен в сторону полости выработки, а его ликвидации эффективно способствует пространственно-податливая связь нижних боковых анкеров со стойками рамы [95]. Это подтверждает нагруженность анкера растягивающими усилиями σ_x . В стойках со стороны выработанного пространства имеет место аналогичная картина распределения σ_x , но повышенной величины в диапазоне 140 – 220 МПа. Таким образом, наглядно прослеживается целесообразность связи стоек рамы с нижними боковыми анкерами, установленными в непосредственной почве пласта C_8^H .

Канатный анкер со стороны массива активно сопротивляется горизонтальным подвижкам породных слоев и блоков, связывая их в относительно целостную конструкцию. Об этом свидетельствует периодическое изменение знака σ_x по длине анкера. Канатный анкер со стороны выработанного пространства также препятствует горизонтальным подвижкам породных слоев и блоков относительно друг друга, но здесь колебания σ_x происходят в пределах напряжений сжатия.

Сталеполимерные анкера в непосредственной кровле нагружены более равномерно по своей длине, что указывает на их умеренное сопротивление горизонтальным перемещениям массива в данном районе; к тому же, их преимущественно вертикальное расположение не позволяет горизонтальной компоненте σ_x в полной мере оценить эффективность их работы. Этого не скажешь о нижних боковых анкерах в непосредственной почве: практически по всей длине они подвержены растяжению и активно сопротивляются перемещению пород непосредственной почвы в полость выработки.

Ряды деревянных боковых стоек крепи усиления и одинарный ряд органической крепи разгружен от горизонтальных напряжений (от 8 до 12 МПа сжатия), что обусловлено их свободным поперечным деформированием и небольшими поперечными размерами.

В целом, результаты анализа поля σ_x не противоречат ранее высказанным суждениям о рациональности работы предлагаемых крепежной и охранной систем 861 сборного штрека.

11.3. ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ

В заключительной части анализа рассмотрена эпюра интенсивности напряжений σ (рис. 11.3) как наиболее информативного и обобщающего параметра. Выявленные особенности распределения σ подтверждают в целом ранее изложенные суждения (на уровне экспертной оценки) об интен-

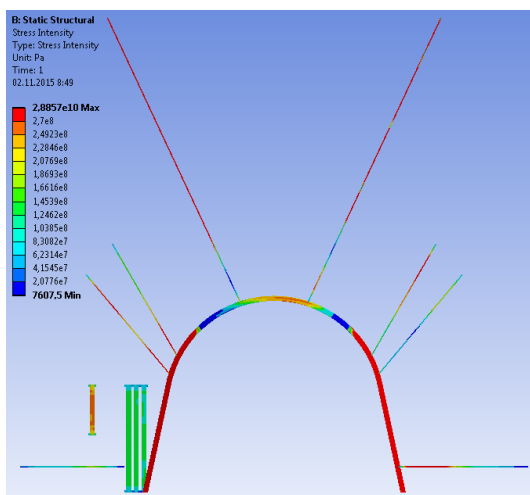


Рис. 11.3. Эпюра распределения интенсивности напряжений σ_x для рекомендуемой схемы поддержания 861 сборного штрека

сивности проявлений горного давления и целесообразности применения комбинированной анкерной системы, состоящей из сталеполлимерных и канатных анкеров, упрочняющих близлежащий массив по всему контуру рамы. Результаты приведены по каждому из элементов рекомендуемой схемы поддержания 861 сборного штрека.

Как известно [55 – 58], особенностью деформирования рамных крепей горных выработок из спецпрофиля СВП в условиях слабых углевещающих пород Западного Донбасса является преимущественное нагружение стоек при относительно разгруженном верхняке. Это является основной тенденцией с широким диапазоном вариации степени нагруженности верхняка вплоть до его пластического изгиба. Существенным вкладом в данную закономерность служит широко применяемое в Западном Донбассе так называемое опорно-анкерное крепление, воспринимающее на себя часть горного давления за счет упрочнения пород кровли. С другой стороны, провоцируют пластический изгиб верхняка центральные деревянные стойки крепи усиления, устанавливаемые в районе влияния очистных работ впереди лавы. Эти сведения помогут объективно оценить состояние рамы в предлагаемой схеме крепления 861 сборного штрека.

В целом, верхняк рамы находится в устойчивом состоянии с разным уровнем нагруженности по его длине. Центральный участок в районе замка свода длиной 0,8 – 1,0 м подвержен воздействию $\sigma = 200 – 240$ МПа, что составляет 74 – 89% от величины расчетного предела текучести стали Ст.5. На периферийных участках верхняка интенсивность напряжений постепенно снижается от 120 – 190 МПа до 20 – 80 МПа в районе замков податливости. Здесь проявляется значительное влияние (на снижение σ) дополнительных

опор в виде гибких стяжек, соединенных с канатными анкерами. Тем не менее, несмотря на укороченный верхняк, по большей части длины его пролета он загружен более, чем на 50%. Также следует учесть активное противодействие вертикальному горному давлению анкерной системы. Совокупность отмеченных факторов косвенно подтверждает ранее высказанное предположение о формировании в кровле обширного свода предельного равновесия из-за неустойчивого состояния слоев основной кровли. Дополняет такой вывод и высокая нагруженность стоек рамной крепи практически по всей их длине. Преимущественно предельное состояние стоек рамы требует их усиления во избежание пластического изгиба и деформирования в полость выработки. Поэтому целесообразно, на наш взгляд, применить известное [95] техническое решение по соединению продольными пространственно-податливыми связями боковых анкеров и стойками рамы.

Анализ распределения интенсивности напряжений в канатных анкерах показывает их высокую нагруженность, уровень которой существенно превышает результаты вычислительных экспериментов, проведенных для иных горно-геологических условий [55 – 58]. Более конкретно отметим, что канатные анкера работают на 85 – 100% своей несущей способности по длине, составляющей 75 – 80% от активной длины анкеров, размещенных в основной кровле пласта C_8^H , состоящей из слабых трещиноватых аргиллитов и весьма трещиноватого угольного пласта C_8^G . Высокая нагруженность канатных анкеров указывает на эффективность их работы по формированию армопородной плиты в кровле и целесообразность выбранных параметров установки. Если предположить, что канатным анкерам удалось скрепить указанные литотипы основной кровли в единую плиту, то, даже с учетом их разбиения на блоки трещинами разрыва, несущая способность такой мощной армопородной конструкции в 3 – 5 раз превышает несущую способность рамной крепи по самым заниженным оценкам. Тогда очевиден вывод о целесообразности применения канатных анкеров в данной сложной горно-геологической ситуации неустойчивых пород основной кровли.

Непосредственная кровля пласта C_8^H и часть нижнего слоя основной кровли упрочняют в боках выработки сталеполлимерные анкера. Они, как уже отмечалось ранее, призваны создать относительно целостные и устойчивые опоры в боках выработки для эффективного сопротивления породной плиты в кровле. Нагруженность сталеполлимерных анкеров весьма высока, как со стороны массива, так и со стороны выработанного пространства; то есть, они активно сопротивляются не только вертикальному, но и косонаправленному горному давлению. Конкретные количественные значения этого сопротивления следующие:

- верхний сталеполлимерный анкер в непосредственной кровле со стороны выработанного пространства нагружен на 80 – 100% (от несущей способности) по 40% своей длины, примыкающей к выработке; оставшаяся его

заглубленная часть сопротивляется с усилиями 30 – 75% от максимума;

– нижний анкер в непосредственной кровле со стороны выработанного пространства на 90 – 95% своей длины имеет нагрузку в диапазоне 80 – 100% от несущей способности;

– со стороны массива верхний боковой анкер нагружен аналогичным образом на 50% своей длины, расположенной в заглубленной части анкера, а на остальной длине, примыкающей к выработке, относительное сопротивление составляет 40 – 75%;

– наименее нагружен (до 70 – 80% от величины несущей способности) нижний боковой анкер в непосредственной кровле со стороны массива.

Приведенные данные еще раз акцентируют внимание на рациональном выборе параметров установки боковых сталеполимерных анкеров в непосредственной кровле пласта C_8^H , а также косвенно указывают на высокую вероятность интенсивного косо направленного горного давления. Если принять во внимание равновеликую несущую способность сталеполимерного анкера и наклонной деревянной стойки крепи усиления (в соответствии с паспортом поддержания 861 сборного штрека), то простое технологическое решение о монтаже продольных пространственно-податливых стяжек между этими анкерами и стойками рамы [95] позволит отказаться от установки наклонных деревянных стоек, загромаждающих сечение штрека.

Необходимость установки боковых анкеров по глубине нижней подрывки штрека (в непосредственной почве пласта C_8^H) обосновывает их немалая загруженность напряжениями σ . Уровень интенсивности напряжений в анкере со стороны выработанного пространства составляет 30 – 55% от несущей способности, что объясняется относительной разгруженностью приконтурного участка бермы штрека: его нагружает только один ряд органной крепи и слабоуплотненные обрушенные породы. В то же время, боковое опорное давление со стороны массива способствует 100% загрузке соответствующего анкера на 40 – 45% его длины, примыкающей к выработке. Такие результаты подтверждают целесообразность анкерного упрочнения непосредственной почвы штрека по глубине его подрывки, особенно, принимая во внимание, что указанные анкера активно сопротивляются горизонтальным перемещениям приконтурных пород непосредственной почвы в полость выработки: об этом свидетельствуют результаты анализа эпюры горизонтальных напряжений.

Таким образом, данные расчета НДС подтверждают эффективность работы комбинированной анкерной системы в целом: канатные анкера (и отчасти верхние сталеполимерные анкера) создают армопородную плиту высокой несущей способности, а остальные боковые сталеполимерные анкера обеспечивают для нее надежные опоры.

В плане надежности опоры армопородной плиты со стороны выработанного пространства оценено ее усиление тремя рядами боковых деревянных стоек. Все они нагружены достаточно равномерно как по длине, так и в

поперечном сечении с высокой реакцией сопротивления, соответствующей их несущей способности или превышающей таковую. Предохранение деревянных стоек от разрушения обеспечивается податливыми подложками, а также явлением вдавливания стоек в слабые породы почвы. Работа всех трех рядов боковых деревянных стоек на уровне их несущей способности указывает на эффективность такого технического решения по противодействию высоким нагрузкам со стороны пород кровли. Можно утверждать, что боковые деревянные стойки выполняют свою функцию по принудительному обрушению слоев основной кровли и созданию надежной опоры армопородной плите в кровле.

Однорядная органная крепь из деревянных стоек является одним из наиболее нагруженных элементов схемы поддержания 861 сборного штрека. Здесь уровень действующих напряжений σ многократно превышает расчетное сопротивление сосны сжатию и вполне прогнозируемо разрушает стойки даже с учетом их податливости за счет вдавливания в породы непосредственной кровли и почвы. Как предполагалось ранее, органная крепь выполняет функции обрезной крепи на ограниченном участке позади лавы; далее, по мере отхода лавы, породы зоны беспорядочного обрушения, уплотняясь, создают достаточный подпор опусканию вышележащих слоев основной кровли и стабилизируют процесс сдвижения надугольной толщи.

По совокупности проведенных исследований НДС крепежной и охранной систем считаем целесообразным рекомендовать данную схему поддержания 861 сборного штрека для его повторного использования при отработке смежного выемочного участка.

11.4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ ПАРАМЕТРОВ КРЕПЕЖНОЙ И ОХРАННОЙ СИСТЕМ ПОВТОРНО ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ВЫРАБОТОК НА ПРИМЕРЕ ОТРАБОТКИ 861 ЛАВЫ

На базе проведенного анализа горно-геологических условий поддержания 861 сборного штрека и результатов вычислительного эксперимента по расчету НДС исследуемой геомеханической системы разработаны рекомендации по выбору параметров схемы крепления и охраны выработки с целью ее повторного использования. Предложенное техническое решение отражено на рис. 8.3 и характеризуется следующими параметрами.

Рамная крепь серии КШПУ устанавливается согласно паспорта поддержания 861 сборного штрека.

Канатные анкера длиной 6,0 м располагаются симметрично (в поперечном сечении) относительно вертикальной оси выработки с углом наклона к горизонтали 65° . В плане выемочной выработки канатные анкера устанавливаются с шагом $L_{к.а} = 3,2$ м, то есть, через каждые четыре рамы посередине междрамного промежутка. Для наиболее опасного участка (ПК 128+1 – ПК

132+8) шаг установки канатных анкеров сокращается вдвое ($L_{к.а} = 1,6$ м). В поперечном сечении выработки расстояние между хвостовиками канатных анкеров составляет 1,4 м (по 0,7 м от вертикальной оси выработки). Данная схема установки позволит осуществить так называемое «глубинное» упрочнение пород основной кровли и сформировать грузонесущую армопородную плиту, опирающуюся на упрочненные (сталеполимерными анкерами) породы непосредственной кровли и почвы, ряды боковых деревянных стоек крепи усиления и одинарный органнй ряд стоек со стороны выработанного пространства.

Соединение (вдоль выработки) верхняка рамы гибкими стяжками (например, из канатов, бывших в употреблении) обеспечит ряд технологических преимуществ:

- усиление верхняка рамы, особенно, при демонтаже стоек в районе «окна» лавы, что повышает безопасность работ на участке сопряжения;
- отпадает необходимость в демонтаже-монтаже деревянных стоек крепи усиления при последующей подрывке почвы после прохода 861 лавы;
- увеличивается «живое» сечение штрека и снижается сопротивление движению воздушной струи, что повышает эффективность проветривания выемочного участка;
- легче обеспечить расстояния и зазоры в соответствии с нормами и правилами безопасности.

Сталеполимерные анкера длиной 2,4 м, устанавливаются в непосредственной кровле пласта C_8^H посредине межрамного промежутка. Параметры установки: нижние анкера – на расстоянии 0,3 м от кромки угольного пласта под углом 50° в кровлю; верхние анкера – на расстоянии 0,4 м от нижних под углом 60° в кровлю. Такая схема расположения анкеров обеспечивает формирование целостной породной опоры, передающей нагрузку от армопородной плиты в основную кровлю на три ряда боковых деревянных стоек крепи усиления и одинарный ряд органной крепи. Повышенное сопротивление опор ограничивает опускание армопородной плиты в кровлю и снижает потерю сечения штрека.

В непосредственной почве пласта C_8^H сталеполимерные анкера длиной 2,4 м устанавливаются горизонтально в межрамном промежутке посредине глубины нижней подрывки штрека. По длине штрека хвостовики сталеполимерных анкеров связываются гибкими стяжками со стойками рамы. Это обеспечивает:

- создание достаточно жесткой нижней части опоры для армопородной плиты за счет упрочнения слабых пород непосредственной почвы;
- ограничение изгиба стоек рамы в полость выработки и снижение интенсивности пучения, что способствует меньшим потерям сечения штрека.

Три ряда боковых деревянных стоек крепи усиления полностью нагружены и обеспечивают принудительное обрушение породных консолей основ-

ной кровли за пределами ширины выработки, что снижает интенсивность нагружения крепежной системы.

Однорядная органная крепь выполняет функции временной в районе сопряжения и на ограниченном участке позади лавы; ее задача – спровоцировать обрушение непосредственной и нижнего слоя основной кровли (до пласта C_8^H), чтобы создать подпор из обрушенных пород, достаточный для стабилизации горного давления позади очистного забоя при небольшом расстоянии его отхода.

На участке сборного штрека с интенсивным проявлением горного давления (впереди лавы в зоне опорного давления и позади до зоны его стабилизации) рекомендуется устанавливать под верхняк каждой рамы инвентарную податливую центральную стойку крепи усиления, например, двухсегментную из отрезков СВП, соединенных узлом податливости и синхронно срабатывающий на соответствующую величину с замками податливости рамы.

Изложенные рекомендации, по нашему мнению, обеспечат повторное использование сборного штрека в качестве бортового смежного выемочного участка при минимальном объеме необходимых ремонтно-восстановительных работ.

ОБОБЩЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО РАЗДЕЛУ II

1. Анализ горно-геологических условий нисходящей и одновременной отработки пластов C_9 и C_8^H показал существование вероятности перехода пород междупластья в неустойчивое состояние на отдельных участках выемочного столба, что сопряжено с возникновением череды аварийных ситуаций как в очистном забое, так и штреках при выемке нижележащего пласта C_8^H . Данная горнотехническая ситуация не является единичной, а стабильно повторяется на ряде шахтных полей в Западном Донбассе. Поэтому актуальность проблемы оценки устойчивости междупластья несомненна, хотя отрабатываемые пласты по своим классификационным признакам нельзя отнести к категории сближенных. Именно предположение о потере устойчивости достаточно мощного (22 – 28 м) междупластья побудило провести комплекс вычислительных экспериментов по изучению состояния слагающего породного массива, крепежных и охранных систем выемочных штреков.

2. Выполненными исследованиями доказана возможность существенного взаимовлияния при отработке угольных пластов, даже если они находятся на расстоянии более 20 м. Сущность взаимовлияния состоит в структурных преобразованиях междупластья, затрагивающих почву в процессе отработки вышележащего пласта и кровлю – при выемке нижележащего пласта. При

смыкании областей неустойчивых пород в междупластье развивается чрезвычайно высокое горное давление. Поэтому в каждой конкретной сложной горно-геологической ситуации рекомендуется проводить оценку вероятности потери устойчивости пород междупластья в условиях нисходящего порядка совместной отработки двух пластов в свите.

3. Осуществлена разработка и обоснование геомеханической модели поведения вмещающего массива, крепежной и охранной систем выемочной выработки в период после прохода очистного забоя и поддерживаемой для ее повторного использования. Упруго-пластическая постановка вычислительного эксперимента (для каждой литологической разности и крепежных материалов) приблизила условия деформирования геомеханической системы к реальным, так же, как и отражение геометрических параметров способов и средств крепления и охраны в полном соответствии с паспортом выработки. В итоге, результаты расчета НДС можно оценить как достаточно адекватные и достоверные.

4. Вопреки распространенному мнению о незначительном влиянии сопротивления крепежной конструкции на НДС окружающего массива проведен комплекс исследований для двух вариантов схем крепления, которые условно названы «базовой» и «рекомендуемой». Этот намеренный поиск отличий в состояниях массива призван уточнить степень влияния параметров крепежной системы в ранее не исследованных условиях возможной потери устойчивости междупластья, ведь негативное развитие событий приводит к формированию нагрузки, многократно превышающей несущую способность существующих крепежных конструкций.

5. Сопоставительный анализ НДС вмещающего породного массива при разных схемах поддержания выемочного штрека создал доказательную базу для двух новых представлений в условиях вероятной потери устойчивости междупластья:

- кардинальное изменение схемы крепления выработки способно существенно повлиять на распределение компонент напряжений не только в приконтурных, но и достаточно удаленных от выработки породных объемах;
- решающую роль в преобразовании поля напряжений в окружающем выемочный штрек массиве играет комбинация сталеполимерных и канатных анкеров; их рациональные параметры позволяют создать армопородную конструкцию, способную управлять горным давлением в направлении повышения устойчивости междупластья.

Позитивное воздействие комбинированной анкерной системы проявляется как в породах кровли и боков, так и почвы штрека: опасные концентрации компонент напряжений снижаются от 10 – 15% до 30 – 40%, а области их действия – до 50 – 80%, в некоторых зонах – до 4,2 – 4,6 раз.

По полученным результатам вполне обоснованно прогнозировать снижение интенсивности проявления горного давления и сохранение эксплуатационных характеристик выработки для ее повторного использования.

6. Сравнительный анализ состояния базовой и рекомендуемой крепежных систем по основным компонентам напряжений подтвердил целесообразность применения комбинации сталеполимерных и канатных анкеров в сочетании с используемым способом охраны для поддержания сборного штрека с целью его повторного применения.

Установлено, что часть элементов базовой крепежной конструкции недостаточно эффективно противодействует горному давлению и в случае потери устойчивости пород междупластья такая крепежная система не способна сохранить выработку.

Повышенную эффективность работы комбинированной анкерной системы подтверждают данные расчета ее НДС: создается армопородная конструкция высокой несущей способности в кровле, а боковые сталеполимерные анкера обеспечивают для нее надежные опоры.

В итоге, разработаны рекомендации по выбору параметров схем крепления и охраны сборного штрека, которые обеспечат его повторное использование в качестве бортового смежного выемочного участка при минимальном объеме ремонтно-восстановительных работ.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Баришніков А.С. Закономірності деформування системи «кріплення – масив» у слабких породах у зоні впливу очисних робіт: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.15.01 «Маркшейдерія» / А.С. Баришніков. – Дніпропетровськ, 2016. – 20 с.
2. Estimate of efficiency of two-level rock bolting at junctions in coal mines / P. Grechishkin, A. Pozolotin, D. Zayatdinov [et al.] // Gornyi Zhurnal. – 2015. – №8. – P. 48 – 52.
3. Analysis of yielding steel arch support with rock bolts / T. Majcherczyk, Z. Niedbalski, P. Malkowski [et al.] // Journal of Mining Science. – 2014. – №59(3). – P. 641 – 654.
4. Stress evolution in roadway rock bolts during mining in a fully mechanized longwall face, and an evaluation of rock bolt support design / K. Zhang, G. Zhang, R. Hou [et al.] // Rock mechanics and rock engineering. – 2015. – №48(6). – P. 2421 – 2433.
5. Maghous S. Three-dimensional numerical simulation of rock deformation in bolt-supported tunnels: a homogenization approach / S. Maghous, D. Bernaud // Tunn. Undergr. Space Technol. – 2015. – №31. – P. 68 – 79.
6. Gao F.Q. Effect of pre-tensioned rock bolts on stress redistribution around a roadway – insight from numerical modeling / F.Q. Gao, H.P. Kang // J China Univ. Min. Technol. – 2008. – №18(4). – P. 509 – 515.
7. Fengshan Han. Study on Rock Bolt Support of Roadway of Coal Mine using Neural network / Han Fengshan, Wu Xinli // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Vol. 448 – 453. – P. 3799 – 3802.
8. Gale W.J. Computer Simulation of ground behavior and rock bolt interaction at Emerald Mine / W. Gale, C. Mark, D. Oyler // In Proceedings of the 21st International Conference on Ground Control in Mining, 3 – 5 August 2004. – West Virginia University, 2004. – P. 27 – 34.
9. Systematic monitoring of the performance of anchor systems in fractured rock masses / HY. Sun, LNY Wong [et al.] // Int. J Rock Mech. Min. Sci. – 2010. – 47(6). – P. 1038 – 1045.

10. Jayanthu S. Behavior in Development and Depillaring workings supported with Roof Bolt and Cable Bolts / S. Jayanthu, V. Venkateswarlu // Strata, Short Term Course on – Trends in Strata Control Techniques & Instrumentation for Enhancing Safety in Coal Mines, 28 – 31 July 2008. – Mining Dept. NIT Rourkela. – 2008. – P. 145 – 153.

11. Chen Y. Discussion on bolt and cable supporting technique of the complex roof / Y. Chen, X. Yu, J. Bai // Energy Technology and Management. – 2005. – №6. – 6 – 7.

12. Kang H. Rock bolting theory and complete technology for coal roadways / H. Kang, J. Wang // China Coal Industry Publishing House. – 2007. – P. 13 – 28.

13. Composite element model of the fully grouted rock bolt / S. Chen, S. Qiang [et al.] // Rock Mech. Rock Eng. – 2004. – 37(3). – P. 193 – 212.

14. Xiu Z. Rockbolting in Gateroads of Top Coal Caving Longwall Faces / Z. Xiu, J. Jiang // Aachen International Mining Symposium. – 2004. – P. 195 – 210.

15. Дарков А.В. Строительная механика: монография / А.В. Дарков, В.И. Кузнецов. – М.: Высшая школа, 1962. – 744 с.

16. Соппротивление материалов: учебник / под общ. ред. Г.С. Писаренко. – К.: Вища школа, 1979. – 696 с.

17. Борисов А.А. Новые методы расчета штанговой крепи: монография / А.А. Борисов. – М.: Госгортехиздат, 1962. – 64 с.

18. Семевский В.Н. Штанговая крепь: монография / В.Н. Семевский. – М.: Недра, 1965. – 328 с.

19. Гелескул М.Н. Справочник по креплению капитальных и подготовительных горных выработок: справочник / М.Н. Гелескул, В.Н. Каретников. – М.: Недра, 1982. – 479 с.

20. Геомеханика нагружения и расчет параметров крепежной и охранной систем подготовительных выработок шахт Западного Донбасса: монография / [Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А. и др.]. – Д.: ЛізуновПрес, 2014. – 228 с.

21. Ковалевская И.А. Экспериментальные исследования перемещений опор стоек крепи пластовой выработки / И.А. Ковалевская, В.Н. Почепов, А.Р. Мамайкин // Школа подземной разработки: материалы III междунар. науч.-практ. конф. – Д.: ЛізуновПрес, 2009. – С. 392 – 397.

22. Краев Ю.К. Оперативный способ увеличения несущей способности крепи, взаимодействующей со слабыми породами / Ю.К. Краев, М.В. Корнилов // Строительство шахт, рудников и подземных сооружений. – Свердловск: СГИ. – 1988. – С. 39 – 43.

23. Байкенжин М.А. Разработка способа поддержания пластовых подготовительных выработок глубоких горизонтов шахт податливой рамно-анкерной крепью: автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. техн. наук: спец. 05.15.02 «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых» / М.А. Байкенжин. – Алма-Ата, 1987. – 19 с.

24. Егоров С.И. Обобщение опыта крепления и охраны подготовительных выработок / С.И. Егоров, Ю.М. Халимендик, Э.П. Курченко и др. // Уголь Украины. – 2002. – №5. – С. 19 – 21.

25. Касьян Н.Н. О перспективах применения анкерной крепи на угольных шахтах Донбасса / Н.Н. Касьян, Ю.А. Петренко, А.О. Новиков // Научные труды ДонНТУ. – 2009. – № 10. – С. 109 – 115.

26. Кулешов Е.С. Оценка состояния выработок с анкерной крепью на шахтах Российского Донбасса (проблемы и решения) / Е.С. Кулешов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 2. – С. 174 – 177.

27. Якоби О. Практика управления горным давлением: монография / О. Якоби. – М.: Недра, 1987. – 566 с.

28. Черняк И.Л. Управление горным давлением в подготовительных выработках глубоких шахт: учебник / И.Л. Черняк. – М.: Недра, 1984. – 304 с.

29. Kravets V. Increasing stability of underground mine workings by forming new geotechnical properties of adjoining layers via roller compaction / V. Kravets, S. Zaychenko, G. Gayko // Mining of Mineral Deposits. – 2016. – 10(1), 44 – 49.

30. Исследование скорости подвигания на работу лав / Н.И. Лобков, А.К. Носач, Л.Л. Бачурин [и др.] // Проблемы механики горно-металлургического комплекса. – Д.: НГУ, 2002. – С. 178 – 180.

31. Оценка влияния скорости подвигания очистного забоя на вмещающие боковые породы / М.А. Ильяшов, Н.И. Лобков, Е.Н. Халимендинов [и др.] // Уголь Украины. – 2008. – №8. – С. 11 – 13.

32. Лобков Н.И. Геодинамическое обоснование характера обрушения кровли в очистных забоях / Н.И. Лобков, В.В. Порубай // Физико-технические проблемы горного производства. – Донецк: ИФГП НАНУ, 2004. – Вып. 7 – С. 181 – 187.

33. Progressive method of anchor-concrete support of capital mine workings and tunnels / V.G. Kravets, G.I. Gaiko, S.V. Zaichenko [et al.] // Mining of Mineral Deposits. – 2015. – 9(3). – 307 – 312.

34. Комиссаров С.Н. Управление массивом горных пород вокруг очистных выработок / С.Н. Комиссаров. – М.: Недра, 1983. – 237 с.

35. Свистун Р.Н. Обоснование и расчет параметров крепежной системы выемочных выработок с учетом асимметрии ее нагружения: дисс. ... кандидата техн. наук: 05.15.02 / Свистун Руслан Николаевич. – Д., 2014. – 171 с.

36. Ryabtsev O. Studies of stationary supporting zone sizes varied in the course of mining operations in deep horizons / O. Ryabtsev, O. Voloshyn // Mining of Mineral Deposits. – 2013. – P. 71 – 77.

37. Фисенко Г.Л. Предельные состояния горных пород вокруг выработок / Г.Л. Фисенко. – М.: Недра, 1976. – 272 с.

38. Зборщик М.П. Охрана выработок глубоких шахт в зоне разгрузки / М.П. Зборщик, В.В. Назимко. – К.: Техніка, 1991. – 248 с.

39. Свистун Р.Н. Прогноз и оценка достоверности расчета перемещений контура пластовой выработки / [Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А., Свистун Р.Н.] // Геотехническая механика: сб. науч. трудов ИГТМ НАН Украины. – Д., 2009. – Вып. 83. – С. 35 – 48.

40. Булат А.Ф. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт / А.Ф. Булат, В.В. Виноградов. – Д.: ИГТМ НАН Украины, 2002. – 372 с.

41. Бесцеликовая отработка пластов / [Худин Ю.Л., Устинов М.И., Брайцев и А.В. др.]. – М.: Недра, 1983. – 280 с.

42. Повышение устойчивости подготовительных выработок угольных шахт / [Заславский И.Ю., Компанец В.Ф., Файвишенко А.Г., Клещенко В.Н.]. – М.: Недра, 1991. – 235 с.

43. Борзых А.Ф. Поэтапное проведение и поддержание прилегающей к лаве выработки / А.Ф. Борзых, В.И. Липкович, А.И. Рачев // Уголь Украины. – 2002. – №7. – С. 20 – 21.

44. Заславский И.Ю. Проявления горного давления в выемочных выработках, охраняемых жесткими литыми полосами / И.Ю. Заславский, А.Г. Файвищенко // Напряжения и деформации в массивах горных пород при разработке месторождений полезных ископаемых. – М.: ИПКОН АН СССР, 1988. – С. 122 – 128.

45. Зборщик М.П. Сохранение устойчивости подготовительных выработок высоконагруженных лав при отработке пологих пластов / М.П. Зборщик, А.В. Костенко // Уголь Украины. – 2003. – №4. – С. 7 – 11.

46. Медяник В.Ю. Обоснование параметров способа охраны подготовительных выработок при комбинированной системе разработки пологих пластов на больших глубинах: автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. техн. наук: спец. 05.15.02 «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых» / В.Ю. Медяник. – Д.: НГУ, 2005. – 17 с.

47. Лозовский С.П. Обоснование параметров способа повышения устойчивости подготовительных выработок с пучащей почвой в зоне влияния очистных работ. автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. техн. наук: спец. 05.15.02 «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых» / С.П. Лозовский. – Д.: НГУ, 2004. – 16 с.

48. Слесарев В.Д. Управление горным давлением при разработке угольных пластов Донецкого бассейна / В.Д. Слесарев. – М.: Углетехиздат, 1952. – 379 с.

49. Расчет напряжений в зонах влияния целиков и краевых частей смежных пластов свиты / В.В. Зубков, И.А. Зубкова, А.М. Линьков [и др.] // Разработка месторождений полезных ископаемых. – К., 1982. – №63. – С. 48 – 54.

50. Булычев Н. С. Механика подземных сооружений / Н. С. Булычев. – М.: Недра, 1989. – 270 с.

51. Симанович Г. А. Управление режимами взаимодействия породного массива с крепью горных выработок на основе регулирования ее деформационно-силовой характеристикой: дисс. ... доктора техн. наук: 05.15.02; 05.15.11 / Симанович Геннадий Анатольевич. – Днепропетровск, 1993. – 408 с.

52. Ковалевская И. А. Геомеханика взаимодействия элементов системы «горный массив – упрочненные породы – крепь подземных выработок» / И. А. Ковалевская. – Днепропетровск: НГА Украины, 2003. – 234 с.

53. Підготовчі виробки на пологих пластах. Вибір кріплення, способів охорони: СОУ 10.1.00185790.011:2007. – Донецьк: ДонВУГІ, 2008. – 114 с. – (Нормативний документ Мінвуглепрому України. Стандарт).

54. Рябцев О.В. Численное моделирование процесса разрушения горных пород / О.В. Рябцев, А.И. Волошин, Ю.А. Морозов // Уголь Украины. – 2016. – №8. – С. 39 – 43.

55. Экспериментальные исследования устойчивости повторно используемых выемочных выработок на пологих пластах Донбасса / [Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А. и др.]. – Д.: ЛізуновПрес, 2012. – 426 с.

56. Геомеханика нагружения крепи очистных и подготовительных выработок в слоистом массиве слабых пород / [В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, Г.А. Симанович, В.Г. Черватюк]. – Д.: ЛізуновПрес, 2012. – 236 с.

57. Экспериментальные исследования пучения пород почвы подготовительных выработок на пологих пластах Донбасса / [В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, Г.А. Симанович, В.Г. Снигур]. – Д.: ЛізуновПрес, 2012. – 224 с.

58. Взаимодействие грузонесущих элементов крепежной системы выемочных выработок «массив – рама – анкер» / [Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А. и др.]. – Д.: Літограф, 2015. – 214 с.

59. Баклашов И.В. Деформирование и разрушение породных массивов / И.В. Баклашов. – М.: Недра. 1988. – 270 с.

60. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений / Н.С. Булычев. – М.: Недра, 1982. – 272 с.

61. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов / А.А. Борисов. – М.: Недра, 1980. – 360 с.

62. Усаченко Б.М. Свойства пород и устойчивость горных выработок / Б.М. Усаченко. – К.: Наукова думка, 1979. – 136 с.

63. Усаченко Б.М. Геомеханика охраны выработок в слабометаморфизированных породах / Б.М. Усаченко, В.Н. Чередниченко, И.Е. Головчанский. – К.: Наукова думка, 1990. – 144 с.

64. Ержанов Ж.С. Метод конечных элементов в задачах механики горных пород / Ж.С. Ержанов, Т.Д. Каримбаев. – Алма-Ата: Наука, 1975. – 238 с.

65. Амусин Б.З. Метод конечных элементов при решении задач горной геомеханики / Б.З. Амусин, А.Б. Фадеев. – М.: Недра, 1975. – 144 с.

66. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике / А.Б. Фадеев. – М.: Недра, 1987. – 224 с.
67. Развитие научных основ повышения устойчивости горных выработок шахт Западного Донбасса / [Бондаренко В.И., Мартовицкий А.В., Ковалевская И.А., Черватюк В.Г.]. – Д.: ЛізуновПрес, 2010. – 340 с.
68. Методы расчета перемещений и упрочнения приконтурных пород горных выработок шахт Западного Донбасса / [Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А. и др.]. – Д.: Дріант, 2010. – 328 с.
69. Барон Л.И. Определение свойств горных пород / Барон Л.И., Логунцов Б.М., Позин Е.З. – М.: Госгортехиздат, 1962. – 232 с.
70. Свойства горных пород и методы их определения / [Ильницкая Е.И., Тедер Р.И., Ватолин Е.С., Кунтыш М.Ф.]. – М.: Недра, 1969. – 232 с.
71. СОУ 10.1.00185790.011:2007. Підготовчі виробки на пологих пластах. Вибір кріплення, способів і засобів охорони. – К: Мінвуглепром України, 2007. – 113 с.
72. Инструкция по поддержанию горных выработок на шахтах Западного Донбасса. – СПб. – Павлоград: ВНИМИ – ЗДНПЦ «Геомеханика», 1994. – 95 с.
73. Компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния мелкослоистого породного массива вокруг пластовой выработки. Книга 2. Предельное и запредельное состояние системы «порода – крепь» / [Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А., Фомичев В.В.]. – Д.: Системные технологии, 2007. – 198 с.
74. Виноградов В.В. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок / В.В. Виноградов. – К.: Наукова думка, 1989. – 192 с.
75. Геомеханика взаимодействия анкерной и рамной крепей горных выработок в единой грузонесущей системе / [Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А. и др.]. – Д.: ЛізуновПрес, 2010. – 174 с.
76. Мельников Н.И. Анкерная крепь / Н.И. Мельников. – М.: Недра, 1980. – 252 с.
77. Ковалевская И.А. Геомеханика управления устойчивостью пространственной системы «массив – упрочненные породы – крепь подземных выработок»: дисс. ... доктора техн. наук: 05.15.02 / Ковалевская Ирина Анатольевна. – Д., 2004. – 349 с.

78. Совершенствование способов охраны подготовительных выработок: монография / [Симанович А.М., Сребный М.А., Малов В.И., Белинский И.Л.]. – Донецк: Донбасс, 1973. – 121 с.

79. Симанович А.М. Охрана выработок на глубоких горизонтах: монография / А.М. Симанович, М.А. Сребный. – М.: Недра, 1976. – 144 с.

80. Скипочка С.И. Геомеханика охраны выемочных штреков в неустойчивых породах: монография / Скипочка С.И., Мухин А.В., Черватюк В.Г. – Д.: НГА Украины, 2002. – 125 с.

81. Ковалевская И.А. Взаимодействие анкерной и комбинированной крепей с породным массивом и разработка метода расчета их рациональных параметров: дисс. ... кандидата техн. наук: 05.15.02; 05.15.11 / Ковалевская Ирина Анатольевна. – Д.: ГГАУ, 1995. – 200 с.

82. Круковский О.П. Наукові основи технології опорно-анкерного кріплення гірничих виробок вугільних шахт: автореф. дисс. ... доктора техн. наук: спец. 05.15.02 «Підземна розробка родовищ корисних копалин» / О.П. Круковский. – Д., 2012. – 36 с.

83. Симанович Г.А. Определение нагрузок на крепь выемочного штрека в зоне влияния очистных работ / Г.А. Симанович, П.П. Небатов // Науковий вісник НГА України. – 1999. – № 5. – С. 43 – 46.

84. Байсаров Л.В. Геомеханика и технология поддержания повторно используемых горных выработок: монография / Байсаров Л.В., Ильяшов М.А., Демченко А.И. – Д.: ЧП «Лира ЛТД», 2005. – 240 с.

85. Охрана штреков литыми полосами при разработке пологих пластов средней мощности / М.А. Ильяшов, М.П. Зборщик, А.А. Яйцов [и др.] // Уголь Украины. – 2001. – № 9. – С. 3 – 6.

86. Formation of limit equilibrium zone in marginal rocks of excavation mine working / I. Kovalevska I., G. Symanovych, O. Gusiev [etc.] // Materiały Szkoły Eksploatacyj Podziemnej-2015. – [Electronic resource] 1 electronic optical drive (2,25 MB; CD-ROM). – Krakow: Katedra Gornictwa Podziemnego.

87. КД 12.01.01.501 – 98. Система забезпечення надійного та безпечного функціонування гірничих виробок із анкерним кріпленням. Загальні технічні вимоги. – Д.: ІГТМ НАНУ, 1999. – 42 с.

88. КД 12.01.01. 502 – 98. Система забезпечення надійного та безпечного функціонування гірничих виробок із анкерним кріпленням. Порядок та організація. – Д.: ІГТМ НАНУ, 1999. – 14 с.

89. Протодьяконов М.М. Давление горных пород и рудничное крепление. Ч. 1. Давление горных пород / М.М. Протодьяконов. – М.-Л.: ОГИЗ, 1931. – 104 с.

90. Цимбаревич П.М. Механика горных пород: учеб. / П.М. Цимбаревич. – М.: Углетехиздат, 1948. – 247 с.

91. Kovalevska I. Research into stress-strain state of reinforced marginal massif of extraction mine working by combined anchoring system / I. Kovalevska, M. Barabash, O. Gusiev // Mining of Mineral Deposits. – 2016. – 10(1). – P. 31 – 36.

92. СНиП II-94-80. Подземные горные выработки. Нормы проектирования. – М.: Стройиздат, 1982. – 272 с.

93. Руководство по размещению, выбору и расчету крепи и защите подземных горных выработок. – М.: Стройиздат, 1980. – 374 с.

94. КД 12.01.01.201-98. Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах. Руководящий нормативный документ Министерства угольной промышленности Украины. Методические указания. – К.: УкрНИМИ, 1998. – 149.

95. Аналитико-экспериментальные исследования устойчивости выемочных выработок и расчет параметров крепежной системы / [Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А. и др.]. – Д.: ЛізуновПрес, 2013. – 178 с.

96. Широков А.П. Расчет анкерной крепи для различных условий применения / Широков А.П., Лидер В.А., Писляков Б.Г. – М.: Недра, 1976. – 208 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Раздел I. ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПЛАСТОВЫХ ПОВТОРНО ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ ОТРАБОТКЕ ТОНКИХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ	5
1 АНАЛИЗ ПРОЯВЛЕНИЯ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ В ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТКАХ ПРИ СТРУКТУРНОМ ПРЕОБРАЗОВАНИИ ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД АНКЕРНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ	5
1.1 Опыт применения комбинированных анкерных систем при упрочнении пород кровли выемочных выработок	5
1.2 Анализ структурных преобразований вмещающих выработку пород комбинированными анкерными системами	7
1.3 Взаимодействие крепи выработок с приконтурными породами в условиях образования областей их предельного состояния	12
Выводы	17
2 ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ОПЫТА ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК НА ШАХТЕ «ЮБИЛЕЙНАЯ»	18
2.1 Методика шахтных исследований	18
2.2 Анализ результатов шахтных исследований	20
Выводы	37
3 ОБОСНОВАНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА И АНАЛИЗ НДС ПРИКОНТУРНЫХ ПОРОД И БАЗОВОЙ КРЕПЕЖНОЙ СИСТЕМЫ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ	38
3.1 Построение геомеханических моделей проведения вычислительных экспериментов	38

3.2	Анализ интенсивности напряжений в приконтурных породах выемочной выработки в зоне опорного давления впереди лавы	48
3.3	Исследование и анализ интенсивности напряжений базовой крепежной системы в зоне опорного давления впереди лавы.....	49
3.4	Интенсивность напряжений приконтурных пород в зонах начала сопротивления охранной полосы и стабилизации проявления горного давления	51
3.5	Анализ интенсивности напряжений в базовой крепежной и охранной системах позади лавы	52
	Выводы	55
4	ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ГРУЗОНЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ВЫЕМОЧНОЙ ВЫРАБОТКИ «МАССИВ – РАМА – КОМБИНИРОВАННАЯ АНКЕРНАЯ СИСТЕМА»	56
4.1	Напряженное состояние вмещающих выработку пород на участке стабилизации проявлений горного давления	56
4.2	Напряженное состояние элементов крепежной системы выемочной выработки и сравнение с базовым вариантом ее крепления.....	62
	Выводы	69
5	УСТАНОВЛЕНИЕ И АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ АНКЕРНОЙ СИСТЕМЫ ГОРНОМУ ДАВЛЕНИЮ И ЦЕНТРАЛЬНЫХ СТОЕК КРЕПИ УСИЛЕНИЯ	70
5.1	Обоснование критерия оценки уровня сопротивления анкеров проявлениям горного давления	70
5.2	Влияние глубины размещения выработки	72
5.3	Влияние среднего расчетного сопротивления пород сжатию близлежащего массива	73
5.4	Влияние отношения среднего расчетного сопротивления сжатию пород непосредственной кровли к ее мощности	74

5.5	Анализ режимов работы центральных стоек крепи усиления в выемочных выработках	76
5.6	Исследование влияния центральной податливой стойки крепи усиления на НДС крепежной системы выработки	83
5.6.1	Анализ вертикальных компонент напряжений	83
5.6.2	Исследование эпюры горизонтальных компонент напряжений	86
5.6.3	Анализ интенсивности напряжений	88
	Выводы	90
6	РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ УПРОЧНЕНИЯ ПОРОД КРОВЛИ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК КОМБИНИРОВАННОЙ АНКЕРНОЙ СИСТЕМОЙ	92
6.1	Обоснование и расчет параметров расположения сталеполимерных анкеров в породах свода выработки	92
6.2	Обоснование и расчет упрочнения пород свода выработки канатными анкерами	98
6.3	Алгоритм расчета параметров комбинированной анкерной системы для упрочнения пород свода выемочных выработок	104
	Выводы	107
7	ШАХТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДДЕРЖАНИЯ 594 СБОРНОГО ШТРЕКА НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ УЧАСТКЕ УСТАНОВКИ КОМБИНИРОВАННОЙ АНКЕРНОЙ СИСТЕМЫ	108
	Выводы	121
	Обобщение результатов исследований по разделу I	122
	Раздел II. СТРУКТУРНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГОРНОГО МАССИВА И УСТОЙЧИВОСТЬ ВЫРАБОТОК ПРИ НИСХОДЯЩЕЙ И ОДНОВРЕМЕННОЙ ОТРАБОТКЕ ПЛАСТОВ C_8^H и C_9	125

8	ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПОВТОРНО ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ НАДРАБОТКЕ И ПОДРАБОТКЕ МЕЖДУПЛАСТЯ ПЛАСТОВ C_8^H И C_9 ШАХТНОГО ПОЛЯ БЛОКА №3 ШАХТЫ «ЗАПАДНО-ДОНБАССКАЯ»	125
8.1	Геомеханические особенности отработки пласта C_8^H	125
8.2	Разработка и обоснование геомеханической модели 861 сборного штрека	129
9	ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ НДС ВМЕЩАЮЩЕГО 861 СБОРНЫЙ ШТРЕК ПОРОДНОГО МАССИВА ПРИ БАЗОВОЙ И РЕКОМЕНДУЕМОЙ СХЕМАХ ПОДДЕРЖАНИЯ	133
9.1	Аномалии проявлений горного давления в породном массиве в окрестности 861 сборного штрека при базовой схеме поддержания	133
9.1.1	Анализ распределения вертикальных компонент напряжений	133
9.1.2	Распределение горизонтальных компонент напряжений	136
9.1.3	Исследование интенсивности напряжений	138
9.2	Исследование и анализ НДС углевмещающего массива вокруг 861 сборного штрека при рекомендуемой схеме его поддержания	140
9.2.1	Анализ распределения вертикальных компонент напряжений	140
9.2.2	Распределение горизонтальных компонент напряжений	143
9.2.3	Исследование интенсивности напряжений	146
9.2.4	Сопоставительный анализ НДС вмещающего породного массива при разных схемах поддержания 861 сборного штрека	148
9.2.5	Анализ НДС пород междупластья пластов C_8^H и C_9 в районе размещения 861 сборного штрека	150

10	Исследование и анализ НДС элементов базовой крепежной и охранной систем поддержания 861 сборного штрека пласта С ₈ ^H	157
10.1	Анализ вертикальных компонент напряжений	157
10.2	Определение горизонтальных компонент напряжений	160
11	ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ НДС ЭЛЕМЕНТОВ РЕКОМЕНДУЕМОЙ КРЕПЕЖНОЙ И ОХРАННОЙ СИСТЕМ ПОДДЕРЖАНИЯ 861 СБОРНОГО ШТРЕКА ПЛАСТА С ₈ ^H	164
11.1	Анализ вертикальных компонент напряжений	164
11.2	Распределение горизонтальных компонент напряжений	166
11.3	Исследование интенсивности напряжений	168
11.4	Рекомендации по выбору параметров крепежной и охранной систем повторно используемых выработок на примере отработки 861 лавы	171
	Обобщение результатов исследований по разделу II	173
	ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК	176
	СОДЕРЖАНИЕ	185

Наукове видання

Бондаренко Володимир Ілліч
Ковалевська Ірина Анатоліївна
Симанович Геннадій Анатолійович
Барабаш Михайло Володимирович
Снігур Василь Григорович
Гусєв Олександр Станіславович

**КОМБІНОВАНІ АНКЕРНІ СИСТЕМИ
ДЛЯ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ
ГІРНИЧИХ ВИРОБОК**

Монографія

Російською мовою

Підписано до друку 13.03.17
Формат 70x100/16. Ум. друк. арк. 12,67
Тираж 300 прим. Зам. №0706

Видавництво ТОВ «ЛізуновПрес»
49000, м. Дніпро, пр. Сергія Нігояна, 55
тел.: +38 056 7850274, 7890510
e-mail: lizunoffpress@gmail.com
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
серія ДК №3597 від 06.10.2009 р.



Бондаренко Владимир Ильич

заведующий кафедрой подземной разработки месторождений Национального горного университета, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники, лауреат Государственной премии Украины в области науки и техники



Барабаш Михаил Владимирович

директор по добыче угля ООО «ДТЭК Энерго», горный инженер



Ковалевская Ирина Анатольевна

профессор кафедры подземной разработки месторождений Национального горного университета, доктор технических наук, лауреат Государственной премии Украины в области науки и техники



Снигур Василий Григорьевич

директор ПСП «Шахтоуправление Терновское» ЧАО «ДТЭК Павлоградуголь», кандидат технических наук



Симанович Геннадий Анатольевич

профессор кафедры подземной разработки месторождений Национального горного университета, доктор технических наук



Гусев Александр Станиславович

директор ПСП «Шахтоуправление Першотравенское» ЧАО «ДТЭК Павлоградуголь», горный инженер