

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



В.А. Соцков

**РАСПОЛОЖЕНИЕ И КРЕПЛЕНИЕ
НАДРАБАТЫВАЕМЫХ ВЫРАБОТОК
ПРИ ВЕДЕНИИ ОЧИСТНЫХ РАБОТ**

Монография

Днепро
НГУ
2017

УДК 622.281.76
ББК 33.33
С 69

Рекомендовано до видання вченою радою Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» (протокол № 3 від 14.02.2017).

Рецензенти:

О.П. Круковський – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, заступник директора з наукової роботи Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (м. Дніпро);

О.І. Сергієнко – кандидат технічних наук, доцент кафедри геотехнологій і охорони праці Красноармійського індустріального інституту Державного ВНЗ «ДонНТУ».

Соцков В.А.

С 69 Расположение и крепление надрабатываемых выработок при ведении очистных работ: монография / В.А. Соцков ; М-во образования и науки Украины, Нац. горн. ун-т. – Днипро: НГУ, 2017. – 124 с.

ISBN 978-966-350-635-7

Приведены результаты исследований, которые позволили обосновать параметры расположения и крепления надрабатываемых выработок при ведении очистных работ на шахтах Западного Донбасса с учетом закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния вмещающих пород.

Материал монографии может быть использован в учебном процессе при преподавании дисциплины "Механика горных пород" по вопросам изменения напряженно-деформированного состояния кровли горной выработки, а также для дальнейшей разработки и усовершенствования методов анализа напряженно-деформированного состояния породного массива.

УДК 622.281.76
ББК 33.33

ISBN 978-966-350-635-7

© В.О. Соцков, 2017
© Державний ВНЗ «НГУ», 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
Глава 1. Анализ условий и способов поддержания выработок в условиях надработки. Цель и задачи исследований	6
1.1. Состояние вопроса развития угольной промышленности	6
1.2. Существующие технологии ведения очистных и подготовительных работ в условиях сближенных угольных пластов	8
1.3. Анализ методов прогноза проявлений горного давления и расчета крепежных систем в условиях взаимовлияния выработок	13
1.4. Особенности метода компьютерного моделирования геомеханических систем	16
1.5. Структура реализации направления повышения устойчивости надрабатываемых выработок. Цель и задачи исследований.	23
Выводы к главе 1	25
Глава 2. Обоснование геомеханической модели и расчет НДС системы «массив-крепь» в окрестности надрабатываемых подготовительных выработок	27
2.1. Методика проведения вычислительного эксперимента по изучению поведения надрабатываемого массива	27
2.2. Обоснование геомеханических моделей сдвижения углевмещающего массива вокруг штрека при отработке вышележащего сближенного пласта	29
2.3. Анализ НДС горного массива и крепежной системы штрека	33
Выводы к главе 2	46
Глава 3. Анализ особенностей НДС углевмещающего массива и крепи подготовительной выработки при ее надработке в условиях сближенных пластов Западного Донбасса. Шахтные наблюдения	48
3.1. Совершенствование геомеханической модели по результатам расчета ее НДС	48
3.2. Закономерности изменения НДС массива и крепежной системы штрека в процессе ведения очистных работ по вышележащему сближенному пласту	53
3.3. Закономерности изменения НДС массива и крепежной системы штрека в процессе ведения очистных работ по вышележащему сближенному пласту в условиях обводненности	59
3.4. Шахтные наблюдения за состоянием дренажного вентиляционного штрека пл. С ₄ ² ШП «Самарская» при его периодической надработке	67
3.5. Определение рациональной глубины расположения надрабатываемой выработки в условиях Западного Донбасса	78
Выводы к главе 3	89

Глава 4. Обоснование параметров крепижной системы надрабатываемых подготовительных выработок, поддерживаемых в массиве слабых пород	91
4.1. Обобщение особенностей проявлений горного давления при надработке выработок	91
4.2. Алгоритм поиска рациональных параметров крепижной системы	93
4.3. Расчет и анализ НДС усовершенствованной крепижной системы дренажного штрека	96
4.4. Обоснование параметров расположения и средств крепления надрабатываемых подготовительных выработок	99
Выводы к главе 4	103
Глава 5. Практическое применение результатов исследований процесса надработки выработок при ведении очистных работ	104
5.1 Рекомендации по креплению ДВШ при отработке пласта С5 на шахте «Самарская». Экономическая эффективность рекомендаций.	104
5.2 Рекомендации по креплению Восточного промежуточного штрека гор. 400 м при отработке пласта С6 на шахте «Степная». Экономическая эффективность рекомендаций.	106
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	108
Список использованных источников	110

ВВЕДЕНИЕ

В сложных горно-геологических условиях Западного Донбасса увеличение длины выемочных столбов приводит к серьезным проблемам поддержания подготовительных выработок. В результате расходы на поддержание выработок достигают 15% в себестоимости 1 т угля.

В таких условиях производство столкнулось с трудностями технологического характера, в том числе с подачей необходимого объема воздуха для обеспечения эффективной и бесперебойной работы высокопроизводительного механизированного комплекса. Улучшение режима проветривания обеспечивают на практике проведением подготовительных выработок под выемочным столбом для подачи дополнительных объемов воздуха с одновременным отводом шахтных вод, что позволяет существенно увеличить длину выемочных столбов. При этом возникает необходимость исследования влияния надработки массива на устойчивость выработки, которая попадает в зону действия опорного давления от очистного забоя. Среди многообразия исследований, посвященных изучению проявлений горного давления в подготовительных выработках, вопрос поддержания надрабатываемых выработок не исследован в полной мере.

Недостаточная изученность данного горнотехнического вопроса и отсутствие системного подхода к обеспечению необходимой устойчивости надрабатываемых выработок обосновывают актуальность темы диссертации. Это требует решения новой научно-технической задачи по повышению эффективности поддержания надрабатываемых выработок с учетом изменения напряженно-деформированного состояния тонкослоистого горного массива в момент прохода очистного забоя по вышележащему угольному пласту для обеспечения их малозатратного поддержания.

ГЛАВА 1

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ И СПОСОБОВ ПОДДЕРЖАНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК В УСЛОВИЯХ НАДРАБОТКИ. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Состояние вопроса развития угольной промышленности

В современной международной экономике топливно-энергетический комплекс занимает исключительно важное место. Совокупная чистая доля энергетической продукции в структуре мирового ВВП в настоящее время в среднем оценивается в 10 – 12% или примерно в 1,8 тыс. долл. в год в расчете на душу населения. Темпы роста потребления различной энергии уже на протяжении более 30 лет практически полностью совпадают с показателями прироста мирового ВВП. В связи с этим обеспечение энергетической безопасности является основным стратегическим направлением деятельности правительства любой страны мира.

Основными источниками энергии на сегодня являются геологические топливно-энергетические ресурсы: нефть, уголь, газ, горючие сланцы, торф, уран и т.д. На их долю приходится до 93% производимой в мире энергии.

Остальная часть энергии производится за счет возобновляемых источников энергии, т.е. воды, солнца, ветра, биомассы и другой геотермики. В таких условиях от скорости и степени освоения геологических топливно-энергетических ресурсов зависит динамика и конъюнктура развития мировой экономики [1].

Мировые промышленные запасы угля составляют свыше 1 трлн тонн, что значительно превосходит запасы и ресурсы всех других энергоносителей. Данный факт делает уголь основным энергоисточником, который может удовлетворить постоянно растущий спрос на энергию, не покрываемый другими доступными источниками. По данным Международного энергетического агентства рост показателей потребления угля, как по объему, так и в процентном соотношении, уже превысил показатели потребления любого другого вида топлива. Угольные электростанции сегодня обеспечивают две пятых мирового производства электроэнергии.

Согласно годовому отчету компании «ДТЭК» за 2013 г. объем добычи угля составил 41,4 млн т. По сравнению с 2011 г. увеличение объема добычи составило 65,4%. Такой значительный рост во многом обусловлен присоединением к компании новых угледобывающих предприятий в Украине и России, а также стабильным ростом годовых показателей добычи угля на предприятиях «ДТЭК Павлоградуголь» и «ДТЭК Шахта Комсомолец Донбасса» (на 10,3% и 5,8% соответственно). При этом «ДТЭК Павлоградуголь» за год достиг рекордной добычи – 18,2 млн тонн [2]. Тем не менее, согласно долгосрочной стратегии компании до 2030 г. объем добычи угля должен достигнуть 50 млн тонн [3].

В связи с этим политика компании направлена на проведение целого комплекса мер по обеспечению стабильного роста объемов добычи. Основными способами повышения производственных показателей является разработка и внедрение новых технологических схем и использования современного высокопроизводительного оборудования. Наибольшее распространение в последнее время получила тенденция к увеличению длин лавы и очистного забоя, что при интенсификации очистных работ с помощью современной техники позволяет значительно увеличить добычу угля.

Однако полученный значительный рост объемов производства содержит в себе и ряд трудностей. В сложных горно-геологических условиях Западного Донбасса, где крепость угля зачастую превышает крепость вмещающих пород, с увеличением длины выемочных столбов одновременно увеличивается и протяженность подготовительных выработок, что приводит к серьезным проблемам их поддержания. Учитывая производственную тенденцию по повторному использованию выемочных выработок, необходимо изначально применять наиболее рациональные схемы крепления, чтобы избежать необходимости проводить перекрепление выработки, тем самым избегая дополнительных затрат.

Данные Минуглепрома Украины свидетельствуют [4], что ежегодно средняя протяженность ремонтируемых выработок достигает 43 – 57%, а полностью перекрепляемых – 12 – 25% от объема поддерживаемых. При современных требованиях к экономической эффективности производства вопросы увеличения объемов добычи тесно связаны с вопросом снижения издержек производства. Необходимо учитывать, что в рамках отработки одного угольного пласта состав и структура вмещающих пород может существенно меняться, что обязывает постоянно корректировать схему крепления подготовительных выработок для получения максимальной эффективности поддержания.

Помимо геомеханических процессов в горном массиве ведение очистных работ осложняют различные газодинамические явления: внезапные выбросы угля, пород и газа, горные удары, отжим призабойной части угольных пластов, выдавливания угля, суфлярные выделения газа, а также обильный водоприток. Для устранения проблемы газобильности пластов на шахтах Украины применяются практически все способы дегазации, известные в мировой практике. Наибольшее распространение получили способы дегазации подрабатываемых сближенных пластов, попадающих в зону влияния очистных работ, на долю которых приходится свыше 80% каптируемого газа [5]. В то же время, обводнение следует считать одним из наиболее существенных неблагоприятных условий при ведении очистных работ. Постоянно фиксируются случаи завалов в лавках, причем 70% из них связаны с водопрооявлениями в очистных выработках. Работы по ликвидации последствий обводнения трудоемки и опасны. Они требуют разработки специальных мероприятий для обеспечения охраны труда рабочих, занятых на восстановительных работах [6 – 8].

Одним из наиболее показательных примеров являются трудности, связанные с отработкой пласта С₅ на ШП «Самарская» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь», где для устранения последствий сильного водопритока в лаву был проведен дренажный вентиляционный штрек на глубине 8 – 9 м от угольного пласта. В результате проведение выработки связано с целым рядом технологических факторов, негативно влияющих на ее устойчивость. Во-первых, вода, которая по дренажным скважинам поступает в штрек с вышележащего горизонта, способствует размоканию пород почвы и провоцирует пучение; во-вторых, часть выемочных столбов, обрабатывающих угольный пласт, проходит непосредственно над штреком, что приводит к попаданию выработки в зону опорного давления впереди забоя.

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

1.2. Существующие технологии ведения очистных и подготовительных работ в условиях сближенных угольных пластов

Проблема влияния надработки на устойчивость подготовительной выработки преимущественно затрагивается в контексте изучения вопроса отработки сближенных угольных пластов. Это вполне закономерно, так как необходимо учитывать состояние выработок при использовании различных способов разработки месторождения, состоящего из свиты близлежащих угольных пластов.

Характерной особенностью залегания пластов Западного Донбасса является разработка свиты, состоящей из трех-шести пар сближенных пластов с мощностью междупластья менее 12 м. В таких пластах сосредоточено около 40% балансовых запасов шахт, которые представлены преимущественно тонкими и весьма тонкими пластами мощностью 0,6 – 1,2 м с углами падения 3 – 5 градусов. Отработка свиты пологих угольных пластов осуществляется в определенном порядке, который может быть нисходящим, восходящим или смешанным. Вопросами определения порядка отработки пластов, оптимальной скорости подвигания забоя, месторасположения выемочных и подготовительных выработок, целесообразности и места оставления целиков, технологическими параметрами при отработке сближенных угольных пластов занимались ученые Борисов А.А., Зборщик М.П., Усаченко Б.М., Зорин А.Н., Головчанский И.Е., Шашенко А.Н., Бондаренко В.И., Пиньковский Г.С., Колоколов О.В., Гришко Н.Т., Савостьянов А.В., Халимендик Ю.М., Куклин В.Ю., Кошка А.Г. и др.

Несмотря на достаточно обширную географию и историю изучения вопроса разработки сближенных пластов, степень актуальности проблемы остается на высоком уровне. Это связано с постоянным совершенствованием методов и подходов к определению напряженно-деформированного состояния массива и разработке рациональных параметров ведения работ и крепления выработок. В связи с этим проанализирован ряд последних работ для определения современного состояния вопроса.

Наливайко Я.М. [9 – 14] в своих научных трудах отмечает, что на основе метода граничных элементов и известного аналитического решения Гмошинского В.Г. с использованием критерия Баландина П.П. разработан расчетный алгоритм определения и анализа НДС неоднородного слоистого массива относительно выемки сближенных пластов в условиях наработки (подработки). В отличие от известных, разработанный алгоритм учитывает концентрацию напряжений от целиков (краевых частей) смежных пластов и скорость подвигания лавы. В рамках работы особое внимание уделялось влиянию очистных работ при наработке (подработке) пластовых подготовительных выработок. В частности, автор с целью определения характера и степени воздействия наработки и подработки на одиночную пластовую выработку решает плоскую задачу методом граничных элементов для упругого слоистого неоднородного массива.

Ивановым А.А. [15 – 18] разработана и реализована на практике схема выборочной безопасной отработки свиты угольных пластов при расположении продольной оси середины выемочного столба наработанного или подработанного пластов под или над ленточным угольным целиком защитного пласта, отработанного по технологической схеме с охраной подготовительных выработок угольными целиками, ширина которых регламентируется требованиями по безопасной отработке склонных к горным ударам пластов.

Пальцев А.И. в своих работах [19 – 21] использовал комплексный метод исследований, состоящий из экспериментальных наблюдений в шахтных условиях за изменениями горного давления, лабораторных исследований геомеханических процессов на физических моделях из эквивалентных материалов и аналитических расчетов напряженного состояния с применением программных средств. С его помощью был выбран оптимальный порядок интенсивной отработки свит сближенных угольных пластов, склонных к горным ударам с оставлением междулавных целиков на основе разработки способов прогноза горного давления и установления границ опасных зон повышенного горного давления (ПГД). По результатам аналитических расчетов при моделировании различной очередности разработки пластов в свите установлены варианты, при которых, путем изменения взаимного расположения границ междулавных целиков и очистных выработок на сближенных пластах, уменьшаются площади с особо сложными условиями ведения горных работ.

Павловой Л.Д. [22 – 26] разработана методика расчета геомеханических параметров систем разработки по интенсивным технологиям свиты пологих или наклонных угольных пластов, которая позволяет определять в широком

диапазоне варьирования горно-геологических и горнотехнических факторов: ширину устойчивого угольного целика; параметры зон опорного горного давления; границы зон повышенного горного давления и разгрузки в одиночном, надрабатываемом и подрабатываемом пластах; границы опасных зон, возникающих под влиянием ленточных угольных целиков и уступов краевых частей на сближенных пластах; минимальные безопасные расстояния от очистного забоя до границ опасных зон; нагрузки на механизированную крепь. В процессе расчетов учитываются угол внутреннего трения пород, угол падения пластов, физико-механические характеристики отдельных породных пластов. В качестве критерия потери прочности используется обобщенный критерий Кулона-Мизеса, позволяющий существенно упростить процедуру определения границы зоны нарушенных пород. Затем для элементов, попавших в зону разупрочнения, вычисляется коэффициент остаточной прочности породы, используемый в дальнейшем для определения параметров роста зон разупрочненных и разрушенных пород. Результатом проводимых расчетов являются параметры зон предельного состояния пород, определяемые на основе коэффициента остаточной прочности. К сожалению, приведенные результаты решений не показывают, каким образом была реализована объемная постановка задачи. Автор не учитывает взаимное проскальзывание слоев пород, считает модель горного массива невесомой и не определяет перемещения пород с помощью МКЭ, а также в расчетах не учитываются особенности взаимодействия крепи и горного массива.

В работах Рогачкова А.В [27 – 30] рассматривается проблема поддержания участков подготовительных выработок, расположенных в зонах ПГД при отработке свиты пластов. Предлагается повысить устойчивость подготовительных выработок использованием в качестве дополнительной крепи канатных анкеров, длина которых превышает глубину распространения в кровле выработки зоны повышенной нарушенности пород на определенную величину, зависящую в основном от прочностных свойств пород кровли и уровня напряженного состояния массива. Однако при этом возникает проблема низкой несущей способности канатных анкеров вследствие вытекания твердеющей смеси по кольцевому зазору между анкером и стенками шпура на стадии установки канатного анкера. Фактическая длина участка анкера, на котором распределена твердеющая смесь, в несколько раз превышает суммарную длину ампул с твердеющей смесью, устанавливаемых в шпуре. Шахтные эксперименты показали, что по данной причине фактическая несущая способность канатного анкера обычно составляет 30 – 40% от паспортной величины. Предлагается повысить несущую способность канатного анкера с помощью установки ограничительной втулки, назначением которой является перекрытие межкольцевых зазоров между анкером и стенками шпура, что препятствует вытеканию твердеющей смеси. По данным экспериментов установка ограничительной втулки на канатном анкере позволяет повысить его несущую способность до 85 – 95% от паспортной величины. Использование разработанных схем подготовки лав в сближенных пластах в сочетании с

рекомендуемыми способами повышения несущей способности канатных анкеров позволяет практически полностью исключить влияние целиков угля, оставленных в выработанных пространствах пласта на очистные забои нижележащих пластов и минимизировать затраты, связанные с поддержанием участков подготовительных выработок надрабатываемого пласта.

Герценым А.И. [31 – 34] установлено, что эффективное управление газовыделением и горным давлением, а также извлечение кондиционного метана при отработке сближенных газоносных угольных пластов на больших глубинах возможно с применением технологии их совместной отработки с учетом сдвижения массива без разрыва сплошности и резком снижении проницаемости разгруженной угленосной толщи во времени на больших глубинах. Разработана технологическая схема совместной отработки сближенных угольных пластов, обеспечивающая проведение подготовительных и очистных работ по подработанному пласту после достижения требуемой эффективности его дегазации и завершения процесса сдвижения горных пород, но без снижения уровня концентрации горных работ и увеличения потерь угля. Реализация технологии обеспечивается выбором пространственного расположения выработок по обоим пластам, а также минимальным периодом времени между подработкой массива и ведением по пласту горных работ. Разработаны критерий и методика оптимизации параметров совместной отработки сближенных угольных пластов, учитывающие трудоемкость работ при проведении подготовительных выработок, производительность труда при ведении очистных работ, участковую себестоимость добычи, объем извлечения кондиционного метана.

Титовым Ю.Н. [35 – 37] определены угловые параметры зон сдвижения от взаимовлияющих очистных выработок; экспериментально установлен факт совпадения точек максимальных деформаций поверхности при последовательной отработке взаимовлияющих пластов и зависимость их величин от количества подработок; установлена количественная зависимость величин уступов, образующихся в мульде сдвижения, от величины максимальных оседаний при отработке каждой взаимовлияющей выработки. Разработан метод расчета величины максимального оседания от проектируемой выработки на основе данных наблюдений за сдвижением от ранее пройденной взаимовлияющей выработки, с учетом отношения вынимаемых мощностей пластов, глубин залегания выработок, отношения коэффициентов подработанности массива.

Мордасовым В.И. [38 – 42] установлено, что при отработке запасов весьма сближенного под- или надрабатываемого пласта наиболее приемлемой является столбовая система разработки с отработкой лав обратным ходом, возведением у выработок легких и достаточно податливых конструкций и погашением выработок по мере подвигания лавы. На под- или надработанном весьма сближенном пласте этажные или ярусные подготовительные выработки необходимо располагать в зонах разгрузки, сформировавшихся во вмещающей толще вблизи охранных конструкций еще в период отработки запасов под- или

надрабатываемого пласта. Разработан и обоснован способ повышения устойчивости поддерживаемых участков подготовительных выработок тонких пластов, в условиях которых горизонтальные смещения контура (боковых стенок выработки) являются причиной деформирования и разрушения крепи и выдавливания пород почвы. Способ базируется на использовании комбинации постоянной рамной, дополнительной анкерной и усиливающей канатной крепей, взаимосвязано противодействующих большим боковым давлениям и являющихся практически единой грузонесущей конструкцией. Разработан оперативный метод (в виде номограмм) выбора рациональных параметров установки анкерной крепи в боковых стенках выработки в зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий ее проведения, охраны и поддержания. При этом обеспечивается устойчивое состояние выработки за счет компенсации давлений и смещений вмещающих пород рамно-анкерной крепью. Для предотвращения вдавливания ножек постоянной арочной крепи из спецпрофиля в породы почвы пласта и увеличения ее бокового отпора разработана, испытана и внедрена новая конструкция опорной плиты, изготавливаемой технологически просто из отходов балок спецпрофиля. При воздействии боковых давлений реакция крепи повышается за счет взаимодействия стопорных элементов плиты с породами почвы. Смещения плиты сопровождаются последовательными сколами породных призм почвы. Возведение дополнительной анкерной и усиливающей канатной крепей в поддерживаемых выработках целесообразно осуществлять впереди отрабатываемой лавы за пределами зоны проявления опорного давления.

По результатам научных изысканий Нефедова А.П. [43 – 45] обосновано и внедрено предложение по одновременной отработке двух сближенных газоносных пологих пластов средней мощности с оставлением за лавами вентиляционных повторно используемых выработок, в котором повышение устойчивости и уменьшение газообильности надработанных и подработанных вентиляционных выработок достигается с помощью укрепления боковых пород смолами. Раскрыты закономерности проявлений бокового опорного давления в продольном и поперечном сечениях вентиляционных выработок без укрепления и с укреплением массива.

Таким образом, в результате анализа ряда работ, связанных с вопросами разработки сближенных пластов, выявлено, что вопросам влияния очистных работ на устойчивость подготовительных выработок в условиях надработки уделялось недостаточно внимания. Основной упор делался на повышение эффективности добычи угля, при этом вопрос поддержания выработок отходил на второй план. Основными путями для решения этой проблемы принято считать оставление охранных целиков, выбор места расположения выработки, изменение крепежной конструкции, а также использование смол для укрепления боковых пород. Эффективность данных технических решений подтверждалась, в лучшем случае, аналитическими методами.

1.3. Анализ методов прогноза проявлений горного давления и расчета крепижных систем в условиях взаимовлияния выработок

Ведение очистных и подготовительных работ на шахтах Западного Донбасса значительно осложняется сравнительно неблагоприятными горно-геологическими условиями региона. Основным фактором, влияющим на состояние любой горной выработки, являются прочностные свойства вмещающих пород, которые существенно зависят от пористости, трещиноватости, влажности, и изменяются в широком диапазоне. Прочность угольного пласта зачастую значительно выше слабых вмещающих пород, что способствует интенсивному пучению почвы и выдавливанию боковых пород. Натурные наблюдения показали, что мощность слоев, охваченных пучением, может достигать 6 – 7 м, причем пучение почвы подготовительных выработок в зонах влияния очистных работ составляет 60 – 70% от величины конвергенции [46]. При этом работы осложняются высоким уровнем обводненности и газообильности, что вместе с интенсивным проявлением горного давления создают целый комплекс проблем для ведения горных работ. По данным ВНИМИ параметры ползучести $\delta, \epsilon^{0,3}$ песчаника, алевролита, аргиллита и угля составляют соответственно $3,28 \cdot 10^{-3}$, $5,54 \cdot 10^{-3}$, $1,17 \cdot 10^{-2}$, $2,32 \cdot 10^{-3}$, а безразмерный параметр α всех этих пород и угля примерно равен 0,7. Величины деформаций ползучести достигают 50 – 100% от условно мгновенных, а характер деформирования близок к линейному [47]. Механический перенос в эти условия практического опыта и научно-экспериментальных разработок, полученных в условиях других угольных районов, не дает положительных результатов.

Вопросами разработки сближенных угольных пластов в Западном Донбассе в разное время занимались ученые Бондаренко В.И., Колоколов О.В., Бузило В.И., Новикова Л.В., Халимендик Ю.М. и другие.

При разработке сближенных пластов первоочередной технической задачей является исключение взаимного влияния очистных и подготовительных работ на горные выработки смежного пласта, с целью обеспечения эксплуатационной устойчивости. Технологическая детализация вариантов отработки сводится, главным образом, к выбору мест расположения выработок [48].

Существующая практика и теоретические исследования, выполненные во ВНИМИ, НГУ, ДонУГИ, ДПИ, свидетельствуют о том, что для обеспечения устойчивости участков подготовительных выработок их нужно располагать в зонах разгрузки [38, 39, 49, 50]. Однако для условий Западного Донбасса такой способ охраны подготовительных выработок в большей степени может быть использован для магистральных и других выработок, которые находятся вне зоны влияния очистных работ.

Основным видом проявления горного давления является изменение контура выработки. Это явление зависит от многих факторов, основные из которых: физико-механические свойства пород, тип и конструкция крепления, глубина разработки, влияние очистных работ, способ охраны выработки,

гидродинамические процессы, угол падения пласта и т.д. [51]. Смещению пород, образующих кровлю горной выработки, способствует и их собственный вес. До проведения выработки пласты горных пород тесно прилегают один к одному и находятся в природном равновесном состоянии. В результате проходческих работ равновесие кровли нарушается, вышележащие слои начинают прогибаться подобно прямой балке, зажатой на концах. Такие явления, которые возникают в массиве горных пород после проведения выработки, называют деформациями. При проведении выработок в пласте над ним ликвидируется опора, что приводит к изменению напряженного состояния массива. В результате чего происходит деформация окружающих породных слоев, под выработкой создаются зоны пониженных напряжений (зоны разгрузки), а в боках – зоны повышенных напряжений (зоны опорного давления) [52,53].

Первые работы по расчету опорного давления опирались на данные натуральных наблюдений [54, 55], либо на модель упругой полуплоскости с горизонтальной прямоугольной щелью на произвольной глубине [56, 57] и учитывали исключительно однородную среду. В дальнейшем, с развитием теоретических и экспериментальных возможностей, исследовались слоистые массивы горных пород для изучения НДС в условиях надработки и подработки [58]. Однако для решения подобных задач использовались граничные условия и свойства пород для шахт России, поэтому применение полученных результатов для шахт Западного Донбасса невозможно.

Под устойчивостью выработки понимают способность сохранять определенные размеры и форму поперечного сечения на протяжении срока службы. Для обеспечения устойчивости выработки необходимо любым способом увеличить грузонесущую способность пород. Наиболее эффективным способом является увеличение крепости пород на сжатие и растяжение, которые возникают в породах кровли. Необходимое усиление противодействия растяжению может быть осуществлено с помощью использования рамной и анкерной крепей.

Следующим этапом развития методов расчета опорного давления является использование алгоритма Шварца, где очистная выработка аппроксимируется щелью. Этот подход можно назвать переходом на новый качественный уровень, что показано в работах [59, 60], где данный метод использован при разработке алгоритма для расчета прогноза НДС массива, а также создания многокритериального подхода к построению зон повышенного горного давления и зон разгрузки при отработке свит пластов. Для того чтобы отследить перераспределение напряжений в процессе последовательной отработки слоев в свите применялся принцип суперпозиции и рассмотрен целый ряд расчетных схем со всеми взаимовлияющими забоями. Однако в рассмотренных схемах никак не учитывались подготовительные выработки, а использование принципа суперпозиции в данном случае не совсем корректно.

Лубенец Н.А. [61 – 65] в своих работах границы зон разгрузки от погашенной подготовительной выработки определил экспериментальным путем, и на их основе были сформулированы рекомендации по размещению

подготовительной выработки на смежном пласте. Однако автор рассмотрел конкретную ситуацию и не привел каких-либо обобщающих соотношений.

В работе Васильева В.Е. [66 – 70] вопросам поддержания выработок уделяется значительно большее внимание. Численным методом граничных элементов выполнена количественная оценка влияния лавы верхнего пласта на подготовительную выработку, пройденную по нижнему пласту. Для рассматриваемых горно-геологических условий по критерию Баландина П.П. на основе модели линейной ползучести с ядром Абеля установлены корреляционные соотношения между максимальными эквивалентными напряжениями в кровле и почве надрабатываемой выработки и расстоянием от поперечного сечения последней до краевой части верхнего пласта. При получении данных зависимостей влияние очистных работ по верхнему пласту учитывалось посредством коэффициентов пригрузки.

В данной работе математическое моделирование использовалось для выявления факторов, которые наиболее существенно повлияли на НДС пород почвы и кровли. Полученные результаты применялись для определения рационального заложения выработок.

Работа Борисова А.А. [71] связана с проведением испытаний объемных моделей из эквивалентных материалов, в результате была получена картина распределения пониженных и повышенных напряжений вокруг выработок в условиях надработки и подработки. Однако, как известно, при использовании физического моделирования в геомеханике возникает проблема получения абсолютных величин, так как результаты дают только качественную картину распределения НДС массива.

Тем не менее, гипотеза о кровле, как плите на упругом основании, сформулированная Слесаревым В.Д., и получившая свое развитие в работах Борисова А.А. [72 – 74], является достаточно универсальной и обоснованной. В результате лабораторных исследований обосновано, что кровля, сложенная твердыми слоистыми породами, работает как пачка плит. Это подтверждается многочисленными шахтными экспериментами. Однако гипотеза имеет ряд серьезных недостатков, в том числе в связи с большой погрешностью при замене пластины балкой-полоской, чрезмерными упрощениями в расчетных схемах, а также из-за неучета анизотропии.

В результате анализа степени изученности влияния геомеханических процессов в массиве при надработке подготовительной выработки на ее устойчивость можно отметить, что целенаправленно такие исследования практически не проводились. Зачастую подобные научные изыскания встречаются в рамках работ, связанных с отработкой сближенных пластов, где подготовительные выработки попадают в область влияния очистных работ. Подобные работы выполнялись в разное время с применением актуальных научных подходов, большинство из гипотез имеет целый ряд недостатков, связанных с недостаточной объективностью полученных результатов. Основным преимуществом аналитических методов является возможность получения общего и точного решения поставленной задачи. Однако при этом существует ряд недостатков, в том числе и очень узкая область применения, с

достаточно эффективными результатами. С помощью аналитики зачастую получают адекватное решение для одиночных выработок круглого поперечного сечения, расположенных в однородном изотропном массиве, причем, как правило, в плоской постановке задачи. Модификация расчета с учетом анизотропии массива, переход к трехмерной постановке и использование сложного контура выработки приводит к значительному усложнению математического аппарата, а в некоторых случаях делает решение невозможным в принципе.

При всем многообразии аналитических методов и работ, связанных с влиянием очистных работ на поддержание подготовительных выработок, данные вопросы для условий Западного Донбасса изучены достаточно слабо. В полной мере занимался подобными проблемами только Васильев В.Е., несмотря на то, что конечной задачей в работе были вопросы ведения очистных работ. В связи с недостаточной степенью изученности проблемы и отсутствием решений аналогичных задач для конкретных горно-геологических условий возникает необходимость продолжить исследования по определению рациональных параметров расположения и средств крепления подготовительных выработок для горно-геологических условий Западного Донбасса с использованием современных методов расчета напряженно-деформированного состояния массива горных пород в условиях наработки.

1.4. Особенности метода компьютерного моделирования геомеханических систем

На современном этапе развития компьютерных систем проведение вычислительного эксперимента большой сложности становится вполне доступным способом решения различных прикладных задач. Вычислительный эксперимент представляет собой метод исследований сложных проблем, основанный на построении и анализе с помощью вычислительной техники математических моделей изучаемого объекта. В отличие от аналитических методов решения численные методы позволяют использовать специально разработанное программное обеспечение для решения большого круга задач [75 – 77].

Первые попытки использования вычислительных мощностей для проведения экспериментов известны со времен начала развития компьютерных технологий. Тем не менее, длительное время качество получаемых результатов значительно уступало результатам, полученным математическим или лабораторным путем. Однако на данный момент времени подавляющее большинство результатов, полученных на мощных компьютерных системах с использованием конечно-разностных численных методов, показывают приемлемую точность решения. В связи с достижением такого уровня сходимости результатов, а также значительной доступности использования компьютерного моделирования решение инженерных задач с помощью вычислительного эксперимента получило широкое распространение в целом ряде отраслей.

Основу большинства современных вычислительных экспериментов составляют разностные [75] численные методы [78,79]. История развития данных методов насчитывает более 60 лет. За это время был накоплен значительный опыт использования различных алгоритмов и подходов к решению инженерных задач. Происходил процесс модернизации и самих методов. В результате на данный момент времени наиболее совершенным и подходящим для решения задач геомеханики является метод конечных элементов (МКЭ).

С конца 60-х и до середины 80-х годов XX столетия были выполнены обширные исследования учеными-механиками (в первую очередь необходимо выделить работы О.К. Зенкевича [82], Б.З. Амусина [83], О. Якоби [51, 84], Ж.С. Ержанова [85], В.Ю. Изаксона [89], А.Б. Фадеева [86, 87], Е.М. Морозова [88], Д. Норри [90], Р. Галлагера [91], Ж. Деклу [92], Л. Сегерлинда [93], О.М. Белоцерковского [94] и др.), которые заложили основу методологии применения МКЭ к решению задач геомеханики в упругой и упруго-пластической постановке. В этот период основной проблемой, препятствующей широкому применению МКЭ в геомеханике, стало несоответствие между сложностью созданных математических моделей и вычислительными мощностями компьютеров.

В основе МКЭ лежат вариационные принципы и методы строительной механики. Использование этих методов для численных расчетов позволяет создать удобную в практическом отношении методику приближенного расчета различных конструкций. Это особенно важно в аналитических расчетах, где получение точного решения связано с решением сложных дифференциальных уравнений, в ряде случаев нерешаемых точно [83].

Это численный сеточный метод, который основан на представлении области, напряженно-деформированное состояние которой нужно определить, в виде совокупности плоских или пространственных элементов типа стержневых или рамных конструкций. Особенностью является ясная физическая трактовка решаемых задач. Возможность определения физико-механических свойств каждого отдельного элемента позволяет учитывать неоднородность свойств деформируемой области, что идеально сочетается с необходимостью моделировать тонкослоистый угольный массив. Технология пространственного моделирования дает возможность создавать элементы различной сложности для максимального соответствия модели реальным условиям. Обширные возможности для изменения граничных условий позволяют максимально приблизить модель к необходимым параметрам.

Основы методологии решения большого количества задач математической физики изложены в работах [80 – 82]. Для решения физически нелинейных задач предложено три варианта метода приращений: переменной жесткости, начальных напряжений и начальных деформаций. Использование каждого из методов для решения конкретной задачи связано с особенностями схемы нагружения, свойствами материалов и граничными условиями. Помимо этого в книгах приводится большое количество примеров решения различных

прикладных задач, что позволяет на практике изучить эффективность применения авторских методов.

Фадеев А.Б. [83, 86, 87] сделал упор на учете неоднородности физико-механических показателей пород, слагающих горный массив. Показана методика интегрирования математических моделей пород в расчетную схему метода конечных элементов. Наиболее интересным является определение НДС горного массива с учетом полной диаграммы «напряжения-деформации» слагающих его пород. Автором предложена методика поиска решения при помощи метода фиктивных усилий, которая хорошо согласуется с представлениями о равновесии сплошной среды в запредельном состоянии материала.

В работе [85] рассматривается большой диапазон особенностей, присущих горному массиву, в контексте математического описания для использования с уже существующим математическим аппаратом метода конечных элементов. Это один из фундаментальных трудов в области применения МКЭ для решения задач геомеханики. На основе измененного и обобщенного закона Гука авторами строится матрица жесткости отдельного элемента, после чего приводится решение для системы плоских треугольных элементов.

В работе [88] в основу решения плоских задач заложен метод перемещений с использованием изопараметрических конечных элементов. В результате разработана методика решения задач механики разрушения в линейной и нелинейной постановках. Это одна из немногих работ, которая посвящена моделированию процессов трещинообразования на макроуровне в упругой и неупругой средах методом конечных элементов.

С помощью МКЭ в работе [95] проведен анализ поведения пород кровли очистной выработки в однородном тонкослоистом массиве. Результаты были получены для решения плоской задачи в упругой постановке. Авторы использовали алгоритм масштабного увеличения перемещений, предложенный Л. Сегерлиндом [93].

В работе [96] методом конечных элементов изучено пространственное напряженно-деформированное состояние при возведении крепи-обделки в забое выработки. Решение задачи выполнялось при различных геометрических параметрах неоднородного слоистого массива для выработки круглого сечения, расположенной в слабых глинистых породах. Особенностью расчета в данном случае было сравнение величины осадки породного массива под собственным весом без учета влияния сооружаемой выработки и с учетом данного техногенного фактора.

Решения задач методом компьютерного моделирования по определению закономерностей обрушения кровли, которые производились в плоской постановке с помощью различных методов моделирования, показаны в работах И.В. Назимко [97 – 100]. В них показана взаимосвязь между величиной шага обрушения пород кровли над выработанным пространством лавы и скоростью подвигания очистного забоя.

Обоснование величины шага генерального и установившегося обрушения кровли при ведении очистных работ методом пошагового компьютерного моделирования с использованием численного математического метода конечных элементов также было выполнено в работах Н.В. Хозяйкиной [101 – 105].

К основным недостаткам результатов исследований И.В. Назимко и Н.В. Хозяйкиной на основе компьютерных моделей с использованием численных математических методов можно отнести то, что массив моделировался сплошным изотропным материалом с усредненными физико-механическими свойствами и рассматривалось только среднее сечение лавы, перпендикулярное линии очистного забоя, т.е. решалась задача плоской деформации, что в итоге несколько снижает практическую ценность полученных результатов.

В исследованиях [106-109] показана возможность использования численных методов моделирования для оптимизации передачи нагрузки между анкером и породными слоями. Полученные результаты свидетельствуют о том, что стандартный арматурный анкер, обычно используемый в численном моделировании для поддержания подземных выработок, не может быть использован для оптимизации возможности передачи нагрузки. Необходимо построить детальную модель структуры анкера, нагруженную до отказа, и сравнить с другими типами, чтобы найти оптимальную структуру с максимальными возможностями передачи нагрузки между анкером и вмещающими породами. Для изучения структуры анкера, вставленного в смолу, и ее влияния на перераспределение нагрузки между арматурой и смолой была построена численная модель с очень тонкой 3-мерной сеткой с использованием 3-мерного метода конечных элементов в программном обеспечении ANSYS (США).

В работах коллектива иранских ученых [110 – 114] принципы моделирования конечными разностями были применены к типичной столбовой системе разработки угольных пластов. Для моделирования и прочностного анализа угольного целика использовался метод конечных разностей (МКР) и программный комплекс FLAC (Itasca, 2005). Прочность целика оценивалась с учетом различных отношений параметров ширина/высота. Полученные результаты были сравнены с результатами обычных методов проектирования целика. Хотя метод конечных разностей не всегда является идеальным методом для такой оценки, тем не менее, результаты ясно показывают, что он дает более приемлемый результат, чем традиционный метод, особенно в сложных условиях взаимодействия между целиками, кровлей и почвой. Дополнительным преимуществом такого метода является его возможность использования в ситуациях, где преобладают сложные горно-геологические условия. Основным преимуществом МКР является интеграция характеристик окружающих пород кровли и почвы на крепость угольного целика. Во время моделирования разрушения целика было рассчитано среднее вертикальное напряжение в середине его высоты на регулярной основе, а пиковое значение этого напряжения было учтено как пик прочности целика. Кроме того, путем

усреднения значений перемещения между верхней и нижней частями и деления на первоначальную длину были получены деформации целика. В результате построены кривые, характеризующие напряженно-деформированное состояние.

В последнее время доступность необходимых вычислительных мощностей и развитие специализированных программных комплексов позволило сделать доступным использование МКЭ для проведения обширных вычислительных экспериментов по определению НДС горного массива с учетом неоднородности и слоистости, а также с возможностью задавать физико-механические свойства материалов, идентичные реальным. За последние 10 лет достижения в развитии данного подхода к решению задач геомеханики для условий Западного Донбасса были реализованы в работах целых научных коллективов ведущих вузов и научно-исследовательских институтов. Наибольший вклад внесли ученые А.Ф. Булат, В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, Г.А. Симанович, С.Ф. Власов, А.Н. Шашенко, В.В. Виноградов, Е.А. Сдвижкова, А.П. Круковский, В.В. Фомичев и другие.

На сегодняшний день коллективом авторов ИГТМ им. Н.С. Полякова [115 – 120] решаются задачи прогноза геомеханического состояния породного массива и отработки элементов технологий горного производства с учетом максимально возможного количества факторов, влияющих на процессы деформирования и разрушения пород под влиянием горных работ. Решения выполняются с применением методов численного анализа, основанных на новых достижениях в области геомеханики сложноструктурных флюидонасыщенных сред и оптимизации объектно-ориентированных технологий программирования. Используется технология компьютерного анализа состояния породного массива совмещенными процедурами методов конечных элементов и начальных напряжений (МКЭ-МНН). Отличительными особенностями программного обеспечения являются возможности расчетов: упругого, упругопластического и различных видов запредельных напряженно-деформированных состояний структурно-неоднородного породного массива; разупрочнения и скольжения слоев пород; параметров и особенностей протекания деформационных процессов в трещиноватом обводненном и газонасыщенном массиве пород; магистральных трещин; геометрических и энергетических параметров зон неупругих деформаций. Технология компьютерного анализа апробирована и показала высокую эффективность: на пластах m_3 и l_4 ПАТ «Шахта им. А.Ф. Засядько» – при обосновании способов обеспечения устойчивости выработок, оперативном прогнозе ориентации в пространстве потоков свободного метана, обосновании схем и способов подземной дегазации; на пластах C_4 и C_5 шахт «Самарская» и «Павлоградская» – при оценке надежности систем комбинированного крепления; на пласте h_7 шахты «Нестор» – при оценке способов управления горным давлением; на шахтах им. К.А. Румянцева, им. А.И. Гаевого и др. – при разработке новых типов крепей и средств охраны выработок с учетом специфики исходного напряженного состояния и деформационных процессов в трещиноватом породном массиве.

Коллектив авторов кафедры строительства и геомеханики НГУ под руководством проф. Шашенко А.Н. [121-130] опираясь на опыт использования аналитических методов расчета НДС горного массива, перешел на применение комплексного подхода к оценке состояния выработок с использованием численного компьютерного моделирования. Применение такого подхода позволяет прогнозировать состояние выработок на каждом из участков, в пределах которых массив обладает структурными и текстурными особенностями. Комплексная методика оценки устойчивости протяженных выработок на основе компьютерных моделей, в силу общего характера, применима в любых горно-геологических условиях для любых выработок как в угольных шахтах, так и в рудных.

Компьютерный прогноз состояния выработки совместно с геофизическим обследованием и системой специальных экспертных оценок применен для выбора и обоснования мероприятий по обеспечению длительной устойчивости дренажного квершлага гор. 708 м ОАО «Шахта «Красноармейская-Западная №1», подверженного вывалам, значительным деформациям крепи и сильному пучению пород почвы. Компьютерное моделирование геомеханических ситуаций в подготовительных выработках нашло применение на ряде шахт ГП «Добропольеуголь»: на шахте «Добропольская» – при разработке мероприятий по проведению и поддержанию выработок вблизи геологических нарушений; на шахтах «Белозерская» и «Новодонецкая» – при разработке мероприятий по обеспечению длительной устойчивости протяженных выработок в условиях сильно пучащих пород почвы; на шахте «Алмазная» – при обосновании параметров анкерного крепления наклонных капитальных выработок [130].

Однако несмотря на достаточную универсальность метода, к его недостаткам можно отнести проведение расчетов компонентов НДС в упругой постановке, которая впоследствии уточняется по упруго-пластическому алгоритму, учитывающему эффект разупрочнения массива. Использование подобного симбиоза аналитических методов и численного моделирования позволяет решать широкий спектр задач, однако при этом происходит упрощение модели, что не способствует достижению максимального соответствия модели реальным условиям.

Значительный вклад в развитие подходов к решению научно-практических задач для шахт Западного Донбасса с помощью расчета НДС горного массива, используя вычислительный эксперимент на основе МКЭ, внес коллектив кафедры подземной разработки месторождений Национального горного университета.

В работах [131 – 137] посредством программного пакета SolidWorks 2009, работающем на основе метода конечных элементов, была построена компьютерная модель трансверсально-изотропного массива для условий разработки пласта C^H_8 шахты «Западно-Донбасская» ОАО «Павлоградуголь». Влияние крепи очистной выработки моделировалось распределенной нагрузкой на кровлю и почву пласта, которая задавалась в месте постановки механизированной крепи. В качестве теории прочности принималась теория

пределных напряженных состояний Мора-Кулона. Была проведена серия пошаговых расчетов объемной модели в упругой постановке при различном положении очистного забоя. Установлен механизм обрушения пород кровли в выработанном пространстве лавы в зависимости от положения очистного забоя вдоль выемочного столба, который позволяет определить периодичность обрушения горных пород кровли и геометрические размеры области предельного состояния горного массива. Полученные результаты, хорошо согласуются и подтверждаются натурными исследованиями распределения напряженно-деформированного состояния горных пород вокруг очистной выработки.

Фомичевым В.В. [138 – 140] была обоснована пространственная геомеханическая модель сдвижения вокруг выемочной выработки слоистого массива слабых пород с учетом конечно-элементного построения реальных геометрических параметров рамного крепления, подпятников, затяжки и закрепного пространства с соответствующими условиями их контакта. Разработан новый алгоритм расчета НДС системы «слоистый массива – крепь выемочной выработки», который одновременно учитывает переменные механические характеристики слоистого массива слабых пород как в допредельном, так и запредельном состояниях; экспериментально установлена нелинейная характеристика забутованного материала в закрепном пространстве; в работе используется полная диаграмма деформирования материалов рамного крепления и затяжки.

Следует отметить, что наиболее значимым достижением автора является построение модели массива горных пород, соответствующей реальным условиям с учетом слоистости и физико-механических свойств каждого отдельного слоя, а также моделирование рамной крепи КШПУ с профилем СВП. Это позволило получить адекватные результаты, а также открывает возможности использования данного подхода для моделирования различных видов крепей при любых горно-геологических условиях; при этом будет сохраняться максимальная детализация без необходимости усреднять какие-либо характеристики модели.

В дальнейшем подобный подход стал активно использоваться целым коллективом авторов при решении актуальных научно-практических задач горной промышленности.

В работах Бондаренко В.И., Симановича Г.А., Ковалевской И.А., Фомичева В.В. и др. [141 – 151] реализуется комплексный подход к решению задач с помощью аналитических методов, математического и численного моделирования, а также шахтных экспериментов. Эффективное применение известных и хорошо себя зарекомендовавших традиционных методов определения НДС дополняется точными количественными показателями, получаемыми при компьютерном моделировании. Данный подход отлично зарекомендовал себя при решении проблем поддержания подготовительных и выемочных выработок, определении рациональных параметров схем анкерного и рамного крепления, разработке рамно-анкерного крепления с гибкими связями между элементами и т.д.

1.5. Структура реализации направления повышения устойчивости надрабатываемых выработок. Цель и задачи исследований.

Структурно-логическая схема (рис. 1.1) проведения исследований состояла из нескольких основных блоков:

- проведение теоретических исследований, связанных с анализом существующего опыта ведения очистных работ, а также подходы, применяемые для обоснования рациональных параметров крепления подготовительных выработок при отработке сближенных пластов;

- обоснование геомеханической модели и разработка методики проведения вычислительного эксперимента для определения НДС углевмещающего массива вокруг надрабатываемой выработки и крепежной системы штрека;

- совершенствование модели для перехода к использованию пространственного моделирования с учетом упруго-пластических характеристик материалов. Получение адекватных результатов расчета НДС для сравнения с данными шахтных наблюдений;

- обобщение полученных данных для разработки алгоритма поиска рациональных параметров расположения и крепления выработок. Обоснование усовершенствованной крепежной системы дренажного штрека на основе результатов расчета НДС. Разработка методики выбора рациональных параметров расположения и средств крепления надрабатываемых подготовительных выработок.

Анализ современных представлений о степени влияния геомеханических процессов при ведении очистных работ на устойчивость подготовительной выработки показал, что существует большое количество теоретических и экспериментальных исследований, а также практических рекомендаций по определению влияния горного давления на состояние выработок, а также по борьбе с его проявлениями и использованию различных способов крепления. Причем развитие методов определения НДС массива при ведении очистных и подготовительных работ не стоит на месте. Совершенствование аналитических подходов столкнулось с проблемами, которые на данный момент помогает преодолевать использование вычислительного эксперимента на основе конечно-элементных методов, что позволяет максимально приблизить модель к реальным характеристикам, учитывать физико-механические свойства пород, реологию, трещиноватость, слоистость, обводненность, а также точно моделировать геометрию всевозможных крепежных элементов.

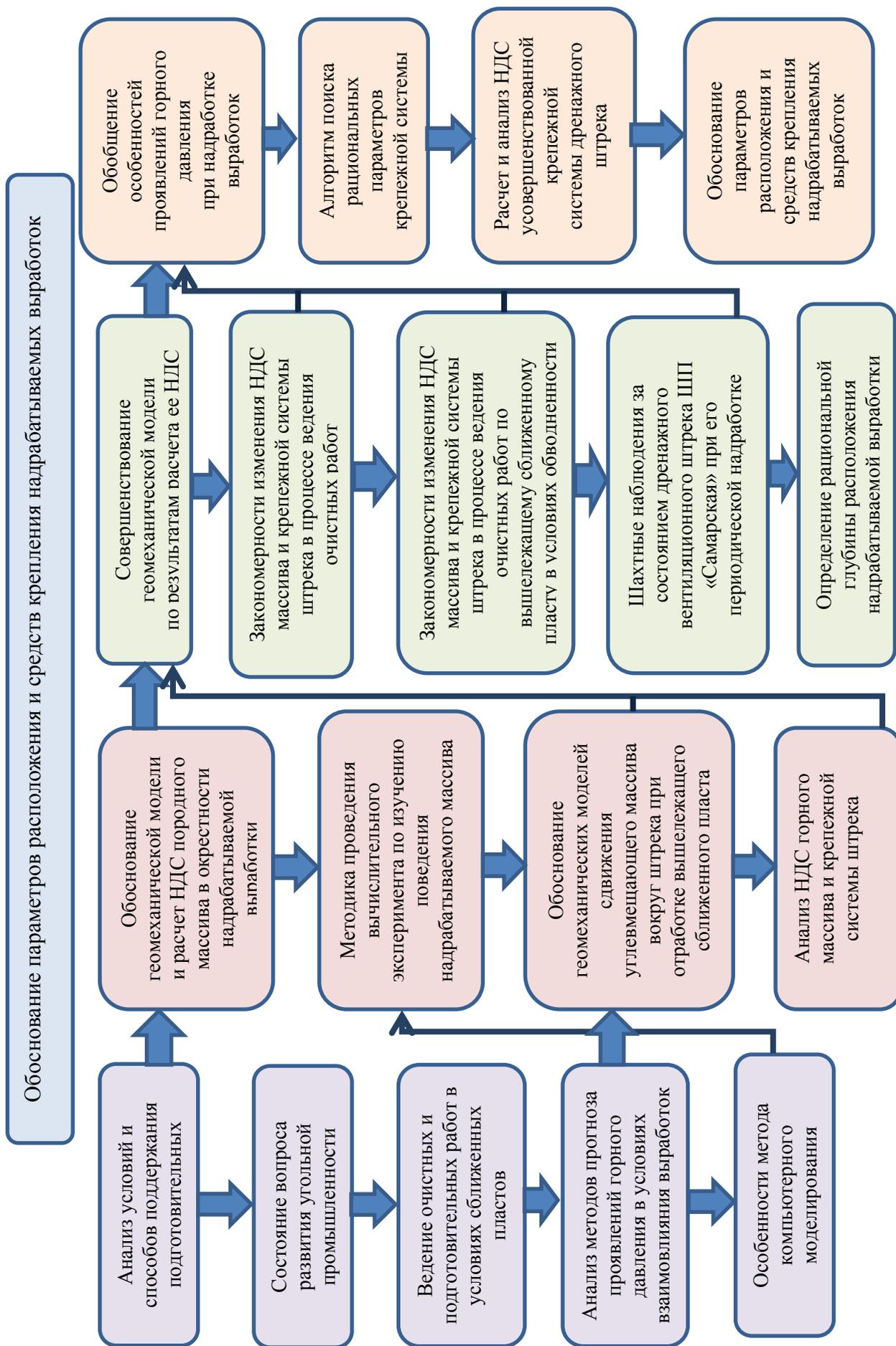


Рис. 1.1. Структурно-логическая схема проведения исследований

В результате установлено, что влияние надрabотки на подготовительную выработку исследовалось достаточно поверхностно, исключительно в аспекте изучения вопроса отработкн сближенных пластов. В связи с чем практически полностью отсутствуют исследования изменения НДС массива в данных условиях, что является весьма важным, учитывая степень взаимовлияния зон опорного давления вокруг очистного забоя и подготовительной выработки. Основываясь на изученном опыте и используя современные компьютерные технологии, становится возможным решение актуальной задачи по исследованию влияния надрabотки на примере дренажного вентиляционного штрека при ведении очистных работ на пласте С₅ шахты «Самарской» ПАО «Павлоградуголь», используя наиболее эффективные методы решения.

Исходя из вышеизложенного, целью работы является обоснование рациональных параметров крепления и расположения надрabатываемых подготовительных выработок с учетом влияния глубины проведения, силовых характеристик крепи, свойств горного массива и положения очистного забоя.

Реализация поставленной цели работы достигается путем последовательного решения следующих основных задач исследования:

1. Анализ влияния ведения очистных работ на расположение надрabатываемых выработок;

2. Обоснование пространственной геомеханической модели нагружения окружающего массива и крепи надрabатываемой выработки в период прохождения над ней очистного забоя;

3. Установление закономерностей поведения геомеханической системы и конструкций элементов крепи надрabатываемой выработки при изменении глубины ее расположения и расстояния до очистного забоя;

4. Разработка методики расчета параметров расположения и крепления надрabатываемых подготовительных выработок для условий шахт Западного Донбасса.

Выводы к главе 1

– В результате анализа различных работ, связанных с вопросами разработки сближенных пластов, выявлено, что вопросам влияния очистных работ на устойчивость подготовительной выработки в условиях надрabотки уделялось недостаточно внимания. Основной упор делался на повышении эффективности добычи угля, при этом вопрос поддержания выработок отходил на второй план. В связи с чем практически полностью отсутствуют исследования изменения НДС массива, что является весьма важным, учитывая степень взаимовлияния зон опорного давления вокруг очистной и подготовительной выработок;

– анализ современных представлений о степени влияния геомеханических процессов при ведении очистных работ на подготовительные выработки показал, что совершенствование аналитических подходов столкнулось с проблемами, которые на данный момент помогает преодолеть использование

вычислительного эксперимента на основе конечно-элементных методов, что позволяет максимально приблизить модель к реальным характеристикам;

– в связи с недостаточной степенью изученности проблемы и отсутствием решений аналогичных задач для конкретных горно-геологических условий возникает необходимость продолжить исследования по определению рациональных параметров расположения и крепления подготовительных выработок для горно-геологических условий Западного Донбасса с использованием современных методов расчета напряженно-деформированного состояния массива горных пород в условиях наработки.

ГЛАВА 2

ОБОСНОВАНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И РАСЧЕТ НДС СИСТЕМЫ «МАССИВ-КРЕПЬ» В ОКРЕСТНОСТИ НАДРАБАТЫВАЕМЫХ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

2.1 Методика проведения вычислительного эксперимента по изучению поведения надрабатываемого массива

В результате стремительного развития вычислительной техники, а также применения метода конечных элементов, который позволяет свести задачу к системе линейных уравнений равновесия путем минимизации потенциальной энергии, проведение вычислительных экспериментов для решения прикладных задач геомеханики получило широкое распространение. Актуальность использования вычислительного эксперимента для определения НДС углевмещающего горного массива и крепежной конструкции подготовительной выработки в условиях надработки была доказана в главе №1 на основании проведенного анализа современных представлений о методах решения аналогичных задач.

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

Для решения поставленной задачи оптимальным является использование статического анализа, который используется для определения напряжений и деформаций в условиях статического нагружения конструкций. Статический анализ может быть линейным или нелинейным. В процессе нелинейного статического анализа можно имитировать пластичное и сверхпластичное поведение материалов, определять жесткость нагружения, задавать большие деформации и напряжения, учитывать контактные поверхности, анализировать ползучесть.

В процессе статического анализа прогнозируется результат воздействия на конструкцию установившихся, т.е. постоянных во времени, нагрузок без учета центробежных и демпфирующих эффектов или иных явлений, вызываемых изменяющимися во времени нагрузками. Исключение составляют, т.е. могут быть учтены в статическом анализе, такие параметры, как сила гравитации и скорость вращения, а также те изменяющиеся во времени нагрузки, которые могут быть аппроксимированы эквивалентными статическими нагрузками (например, сила ветра или сейсмические колебания – величина данных параметров обычно задается согласно строительным нормативным документам).

В процессе статического анализа определяются напряжения, деформации и силы, возникающие в конструкциях под действием нагрузок, не вызывающих

значимых центробежных и вибрационных эффектов. В статическом анализе предполагается, что все нагрузки и реакции конструкции на нагрузки, если и изменяются во времени, то очень медленно [152, 156].

Проведение вычислительного эксперимента подразумевает целый комплекс исследовательских работ по сбору данных, их обработке, подготовке и проведению расчета и анализу полученных результатов. Таким образом, решение задачи с применением МКЭ необходимо разделить на несколько основных этапов.

Этап №1. Постановка задачи. На основе проведенного анализа современных представлений о проблемах поддержания подготовительных выработок в условиях ведения очистных работ по вышележащему пласту определена необходимость проведения исследований с помощью вычислительного эксперимента для обоснования рациональных параметров крепежной системы.

Этап №2. Обоснование и создание геометрической модели. Аналитическими методами установлены оптимальная форма и размеры модели горного массива с учетом слоистости и сдвижения после прохождения очистного забоя. Смоделированы конструкции рамной и анкерной крепей в соответствии с данными паспорта крепления штрека.

Этап №3. Обоснование физико-механических свойств материалов. В соответствии с геологическим прогнозом, основанном на данных геологоразведочных скважин НЗ-4391, НЗ-4388, №12954 для дренажного вентиляционного штрека, заданы все необходимые физико-механические свойства пород для проведения максимально адекватного расчета.

Этап №4. Приложение граничных условий. На данном этапе происходит определение и приложение нагрузок и ограничений, соответствующих реальным условиям, выбор типа анализа на основе условий нагружения и реакции системы, определение контактов между элементами.

Этап №5. Построение сетки конечных элементов. Производится разбиение каждого отдельного элемента модели на конечные элементы, связанные между собой в узлах. Выбирается оптимальный тип и размер сетки каждого элемента для достижения максимально высокой точности результатов эксперимента.

Этап №6. Проведение автоматического расчета системы уравнений. При запуске расчета программа обращается за информацией о модели и нагрузках к базе данных и выполняет вычисления. Результаты записываются в специальный файл и в базу данных. В случае возникновения сбоев и ошибок проводится анализ и устранение проблемы, после чего расчет запускается вновь.

Этап №7. Анализ полученных результатов. Для анализа результатов расчета напряженно-деформированного состояния используются эпюры интенсивности σ , горизонтальных σ_x и вертикальных σ_y напряжений, которые позволяют оценить качественную и количественную картину распределения напряжений.

Использование подобной методики позволяет получить максимально точные результаты исследования для конкретных горно-геологических условий в соответствии со схемой крепления выработок, а также текущей производственной ситуацией.

2.2. Обоснование геомеханических моделей сдвижения углевмещающего массива вокруг штрека при отработке вышележащего сближенного пласта

Каждый из перечисленных этапов направлен на разработку модели подготовительной выработки, например, дренажного вентиляционного штрека блока № 3 шахты «Самарская» при отработке 547 лавой пласта С₅. Это необходимо для исследования влияния очистных работ на нижележащую подготовительную выработку, а также процесса сдвижения слоистого массива пород в окрестности выработки для отработки технологии геомеханического моделирования.

В результате расчетная модель состоит из 25 породных слоев и составляет: по падению/восстанию – 55 м, по высоте – 48,2 м и протяженности выработок – 2 м, угол падения пласта – 3 градуса.

На расстоянии 15 м от левого края модели и глубине 9 м от вынимаемого угольного пласта расположен дренажный штрек, сечение которого моделировалось арочной формы под крепь КШПУ-11,7. Для его поддержания использовалась рамная крепь со сталеполимерными анкерами. В сечение вписана рамная крепь, изготовленная из профиля СВП-22. Шаг установки рамной крепи – 1 м. Все элементы крепи моделировались как отдельные детали, обладающие соответствующими механическими характеристиками. Для обеспечения условий сплошности расчетной модели и снижения случайных возмущений контактных напряжений по поверхности их сопряжения устанавливается элемент с пониженными прочностными характеристиками толщиной 50 мм, который соответствует затяжке с забутовкой, устанавливаемой в закрепном пространстве. Этот элемент совместно с моделью узла податливости обеспечивает наиболее адекватное поведение рамной крепи.

Система анкерного крепления состоит из девяти сталеполимерных анкеров, семь из которых длиной 2,4 м устанавливаются в кровле выработки, а еще два длиной 2 м – в боках выработки с каждой стороны. Диаметр несущего элемента 22 мм, шаг установки – 1 м.

По мере необходимости, в зависимости от шага расчета, изменялось положение очистного забоя. В результате было произведено три этапа расчета при расположении очистного забоя на расстоянии 14 м и 7 м до штрека, а также непосредственно над выработкой.

Механизированная крепь для уменьшения размерности задачи моделировалась как цельный прямоугольный блок с реакцией сопротивления горному давлению, соответствующей несущей способности крепи КД-80. Размеры по высоте и глубине соответствовали вынимаемой мощности, длина блока равна длине секции механизированной крепи КД-80.

За ограждением механизированной крепи моделировались обрушенные породы в выработанном пространстве с разбиением на зону беспорядочного обрушения.

Таблица 2.1

Физико-механические свойства пород

№	Тип породы	Мощность, м	Массовая плотность, кг/м ³	Сопротивление сжатию, МПа	Сопротивление растяжению, МПа	Модуль Юнга, МПа
1	Уголь	0,3	1480	40,0	1,0	3000
2	Аргиллит	3,0	2200	18,8	1,5	1000
3	Алевролит	1,5	2340	13,5	2,8	3000
4	Песчаник	1,5	2530	25,0	3,3	15000
5	Уголь. пл.	0,3	1480	40,0	1,0	3000
6	Аргиллит	3,0	2200	18,8	1,5	1000
7	Алевролит	0,5	2340	13,5	2,8	3000
8	Уголь. пл.	0,2	1480	40,0	1,0	3000
9	Аргиллит	5,0	2200	18,8	1,5	1000
10	Алевролит	4,0	2370	12,3	2,8	1000
11	Уголь. пл.С ₅	0,95	1140	49,6	1,0	3000
12	Аргиллит	2,0	2340	19,6	1,5	1000
13	Алевролит	0,5	2370	12,3	2,8	1000
14	Песчаник	1,0	2530	25,0	3,3	15000
15	Уголь. пл.	0,5	1140	49,6	1,0	3000
16	Аргиллит	0,7	2340	19,6	1,5	1000
17	Алевролит	4,0	2370	12,3	2,8	1000
18	Аргиллит	3,0	2330	14,5	1,5	1000
19	Уголь. пл.	0,75	1140	49,6	1,0	3000
20	Алевролит	0,5	2250	13,0	2,8	3000
21	Аргиллит	10,0	2360	8,65	1,5	1000
22	Алевролит	2,0	2440	30,5	2,8	2000
23	Песчаник	0,5	2530	25,0	3,3	15000
24	Алевролит	2,0	2440	30,5	2,8	2000
25	Уголь. пл.	0,5	1140	49,6	1,0	3000

Каждый слой моделировался как отдельная деталь необходимого размера с соответствующими механическими характеристиками. В соответствии с геологическим прогнозом, основанном на данных геологоразведочных скважин

НЗ-4391, НЗ-4388, №12954 для дренажного вентиляционного штрека. Заданы все необходимые физико-механические свойства пород (см. табл. 2.1) для проведения максимально адекватного расчета.

Граничные условия. Верхняя горизонтальная плоскость модели имеет отметку 180 м, что при средневзвешенном объемном весе пород $\gamma = 25 \text{ кН/м}^3$ формирует вертикальную нагрузку на верхней границе модели $\sigma_y = \gamma H = 4,5 \text{ МПа}$. Принимаем в расчетах $\sigma_y = 5 \text{ МПа}$. Нижняя граница модели имеет жесткую опору и служит плоскостью начала отсчета вертикальной координаты Y . По боковым плоскостям модели введено условие плоской деформации, что отвечает реальному механизму деформирования массива и широко используется в механике подземных сооружений [157 – 160]. Согласно этому условию в нетронутом массиве действуют горизонтальные сжимающие напряжения

$$\sigma_x = \lambda \gamma H = \frac{\mu}{1 - \mu} \gamma H, \quad (2.1)$$

где μ – коэффициент Пуассона рассматриваемого породного слоя или пласта угля.

При помещении в базу данных сведений о механических характеристиках углевмещающей толщи (в том числе и величины μ) происходит автоматическое моделирование воздействия горизонтальных напряжений σ_x на боковых границах модели. Точка отсчета по координате X совпадает с вертикальной осью выработки [144].

Третье измерение модели (толщина по координате Z) совпадает с продольной осью выработки и составляет 2 м для построения двух комплектов рамных крепей с шагом установки 1 м. Крепи установлены с отступом 0,5 м от края модели по вертикальной оси спецпрофиля СВП для симметрии модели по координате Z . Условия плоской деформации вводятся также по плоскостям, ограничивающим толщину модели, где действуют сжимающие напряжения (нетронутого массива) [147]

$$\sigma_z = \frac{\mu}{1 - \mu} \gamma H. \quad (2.2)$$

Начало отсчета по координате Z помещено в середину модели (по ее толщине), то есть на расстоянии 1,0 м от боковой граничной плоскости.

Кроме компонент поля напряжений в модели анализируется также величина приведенных напряжений σ (или интенсивность напряжений как интегральный параметр НДС, используемый в прочностных расчетах). По общепринятому для горных пород закону Кулона-Мора [157 – 160]

$$\sigma = \sigma_1 - \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \sigma_2, \quad (2.3)$$

где σ_1 и σ_2 – максимальное и минимальное главные напряжения по элементарному объему;

φ – угол внутреннего трения породы.

Для рамной крепи и арматуры анкеров угол внутреннего трения полагается равным нулю [161], в соответствии с классической теорией прочности металлов.

Построение сетки конечных элементов. Согласно концепции использования МКЭ вся модель конструкции делится на множество конечных элементов, соединенных между собой в вершинах (узлах). Достоверность расчетов зависит от многих факторов, в том числе и от количества конечных элементов, что требует максимального уменьшения размера каждого отдельного элемента. Имеются несколько типичных форм конечных элементов, в которых поле смещений определяется по смещениям узлов с помощью некоторых интерполяционных функций. Создание конечно-элементной модели происходит на стадии препроцессорной подготовки, т.к. автоматическое построение сетки не гарантирует от появления ошибок. Генераторы произвольной сетки обладают широким набором внутренних и внешних опций управления качеством сетки. Так, например, реализован алгоритм разумного выбора размеров конечного элемента, позволяющий строить сетку элементов с учетом кривизны поверхности модели и наилучшего отображения ее реальной геометрии. Для более простых областей модели обычно используются шестигранные элементы, а для остальных – тетраэдные [153].

Очевидно, что чем меньше линейный размер конечного элемента, тем большее количество элементов в модели, при этом время вычислений экспоненциально возрастает, а ошибки уменьшаются. Однако ошибки уменьшаются не до нуля, так как с увеличением числа элементов накапливаются ошибки округления в ЭВМ. Необходимо соотносить размеры элементов с предполагаемыми градиентами деформаций или напряжений для выбора оптимального типа и размеров конечных элементов [154].

Проведение расчета. После определения всех необходимых условий и построения качественной конечно-элементной модели, с помощью команды SOLVE процессор решения выполняет приложение нагрузок и граничных условий, а затем определяет отклик расчетной модели. Нагрузки и результаты решения записываются процессором решения в базу данных. В случае возникновения сбоев и ошибок проводится анализ и устранение проблемы, после чего расчет запускается вновь.

Анализ результатов. Программа ANSYS имеет широчайшие возможности по представлению полученных результатов, что позволяет снимать максимальное количество данных с каждого расчета. Данные, полученные на основе результатов решения при их постпроцессорной обработке, записываются постпроцессором. Используя постпроцессор, получают доступ к результатам решения и оценки поведения расчетной модели, а также проводят дополнительные вычисления. Сведения, внесенные одним из процессоров, доступны, при необходимости и для других процессоров [155].

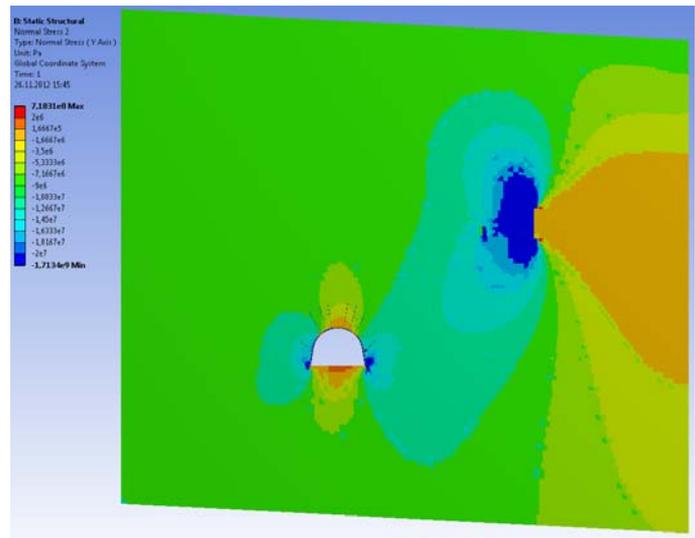
Для анализа результатов расчета напряженно-деформированного состояния используются эпюры интенсивности σ , горизонтальных σ_x и вертикальных σ_y напряжений, которые позволяют оценить качественную и количественную картину распределения напряжений.

2.3. Анализ НДС горного массива и крепежной системы штрека

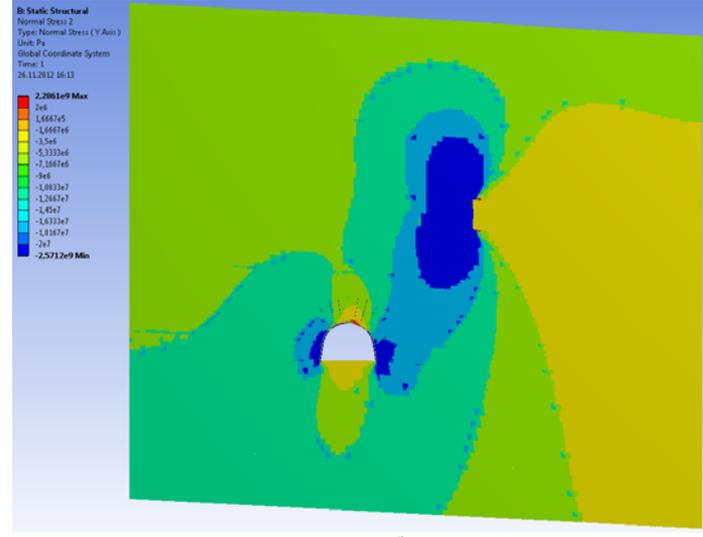
Вычислительный эксперимент проводился в три этапа при различном расстоянии очистного забоя относительно дренажного штрека. Для объективности последующего анализа полученных результатов все однотипные эпюры были приведены к общему градиенту отображения и единым интервалам изменения показателей.

В результате анализа эпюры вертикальных напряжений при расположении очистного забоя в 14 м до выработки (рис.2.1, а) установлено, что основная часть массива подвергается сжатию на уровне 8 – 9 МПа. Исключением являются породы почвы выработки, а также область разупрочненных пород вокруг выработанного пространства.

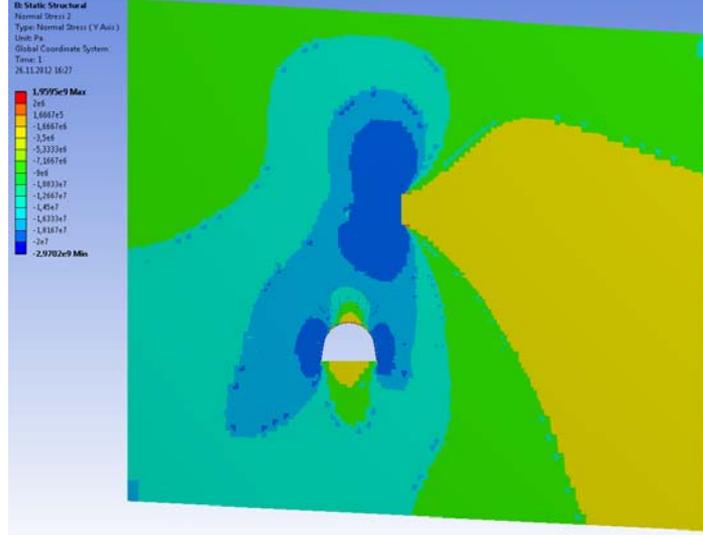
Основная концентрация сжимающих напряжений сосредоточена во фронтальной зоне опорного давления впереди очистного забоя. Нарушение сплошности породного массива в процессе отработки угольного пласта провоцирует перераспределение напряжений в близлежащих слоях. Наибольшее влияние оказывает выработанное пространство, где подработанные породы кровли остаются незакрепленными и закономерно заполняют извлеченный объем горной массы. Если при этом рассматривать каждый породный слой как отдельный сплошной элемент, на который оказывается постоянное давление, эквивалентное породному столбу вышележащих пород ($\sigma_y = \gamma H$, где γ – средневзвешенный объемный вес, H – глубина разработки), то образование пустоты под одним из участков слоя приводит к его опусканию в эту полость. Наличие трещин и обводненности массива может значительно ускорить процесс естественного обрушения. В результате такого нарушения сплошности породных слоев при ведении очистных работ над механизированным комплексом образуется зона перегиба слоев, что провоцирует резкое возрастание давления на крепь и образование зоны опорного давления с высокими показателями сжимающих напряжений порядка 20 – 30 МПа и размерами по ширине – 5 – 7 м и по высоте 10 – 13 м. Выработанное пространство, образовавшееся непосредственно позади очистного забоя, характеризуется большим объемом разупрочненных пород кровли, что существенно отразилось и на распределении напряжений. Снижается интенсивность сжимающих напряжений относительно окружающих слоев. Данная область занимает по ширине 15 м, а по высоте 20 – 25 м. При этом сжимающие напряжения колеблются в диапазоне 0,5 – 1,5 МПа. Далее происходит постепенное увеличение концентрации напряжений, вплоть до достижения равновесного состояния массива.



a)



б)



в)

Рис. 2.1. Распределение вертикальных напряжений в горном массиве при расположении очистного забоя: а – 14 м до выработки; б – 7 м до выработки; в – непосредственно над выработкой.

Вокруг дренажного штрека происходит типичное для одиночной выработки распределение напряжений, связанное с влиянием крепи выработки на окружающий массив. В кровле и почве выработки формируется область разгрузки со снижением сжимающих напряжений σ_y , вплоть до 1 – 3 МПа, что связано с пучением пород почвы (размеры: по ширине 1,5 – 2 м, по глубине 2 – 4 м) и образованием с помощью анкеров породной плиты в кровле. В боках выработки происходит увеличение концентрации напряжений до 11 – 14 МПа (размеры: по высоте 4 – 5 м, по ширине 3 – 4 м).

Характерной особенностью данного вычислительного эксперимента является надработка дренажного вентиляционного штрека, что уже при расстоянии 14 м от забоя до выработки привело к соединению зон опорного давления впереди забоя и в боку выработки. В связи с достаточной удаленностью очистного забоя на данном этапе значительного влияния на выработку не оказывается. Общие размеры области по ширине достигают 12 – 14 м, а по высоте 27 – 30 м, при этом сжимающие напряжения преобладают на уровне 12 – 16 МПа.

Продвижение очистного забоя на 7 м существенно отразилось на распределении вертикальных напряжений σ_y (рис.2.1, б) в массиве горных пород.

В первую очередь необходимо отметить качественное и количественное изменение зоны опорного давления впереди очистного забоя. Размеры основной части области, с наиболее интенсивными нагрузками, составляют 6 – 8 м по ширине и 14 – 18 м по высоте, что примерно в два раза больше по сравнению с первым этапом расчета. При этом данная область вся находится в диапазоне напряжений более 20 МПа, что существенно превышает предел прочности на сжатие вмещающих пород.

Позади очистного забоя образовалась зона разгрузки, где сжимающие напряжения снижаются до минимальных значений, и не превышают 2 МПа. Размеры этой зоны увеличиваются пропорционально увеличению выработанного пространства вследствие подвигания очистного забоя.

В кровле и почве выработки образовались зоны разгрузки с напряжениями, которые остались примерно на том же уровне, что и ранее (1 – 3 м по высоте, при концентрации напряжений до 2 МПа), в пределах погрешности 5 – 10%. В то же время области со сжимающими напряжениями значительно увеличились. В боках выработки образуются зоны опорного давления с концентрацией напряжений более 20 МПа, которая снижается с отдалением от выработки. При этом размеры областей составляют порядка 1 м по ширине и 2 м по высоте, что практически в два раза больше по сравнению с первым этапом расчета.

Основная часть массива находится в уравновешенном состоянии с концентрацией сжимающих напряжений 8 МПа. На данном этапе эксперимента в боках и почве вокруг выработки происходит повышение сжимающих напряжений до 10 – 12 МПа. Такой эффект имеет непосредственную связь с влиянием надработки угольного пласта на выработку, так как оба элемента

находятся в одной геомеханической системе «горный массив-подготовительная выработка-очистной забой».

В результате анализа эпюры вертикальных напряжений второго этапа расчета можно отметить значительное увеличение зон опорного давления впереди очистного забоя и в боках выработки. Размеры области взаимного влияния обеих зон увеличились в размерах на 20%, также увеличились напряжения, достигающие 12 – 15 МПа.

Распределение вертикальных напряжений σ_y в массиве горных пород (рис. 2.1, в) на последнем этапе расчета подверглось существенным качественным и количественным изменениям. Это связано с положением груди очистного забоя над дренажным монтажным штреком, что способствует максимальному влиянию на выработку.

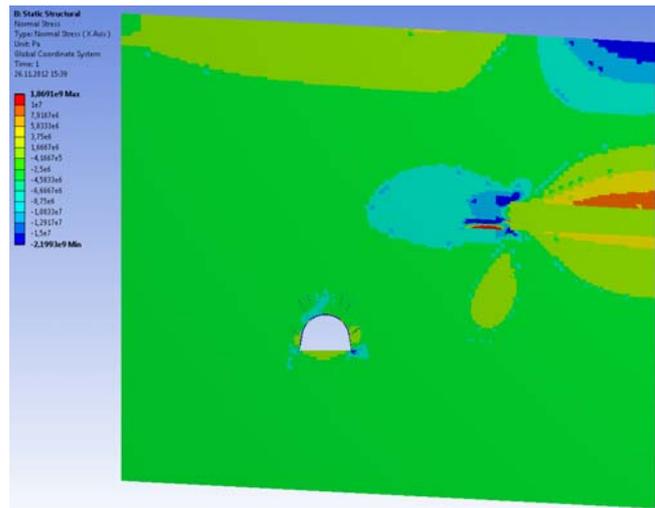
Зона опорного давления, сформировавшаяся вокруг механизированного комплекса, достигла максимальных размеров. Главным катализатором нетипичного формирования эпюры распределения напряжений является взаимовлияние очистного забоя и надрабатываемой выработки. В связи с относительно небольшим расстоянием между вынимаемым угольным пластом и штреком происходит наложение сжимающих напряжений от зон опорного давления в боках выработки и вокруг механизированного комплекса. Это приводит к образованию единой области повышенных сжимающих напряжений, занимающей все пространство между выработкой и вынимаемым угольным пластом.

Основная часть горного массива на эпюре горизонтальных напряжений (рис. 2.2, а) находится в равновесном состоянии при сжимающих напряжениях на уровне 2 – 3 МПа. Наибольшие концентрации напряжений образуются в зоне влияния очистных работ, а также вокруг выработки. Качественно распределение напряжений хорошо коррелирует с вертикальными напряжениями.

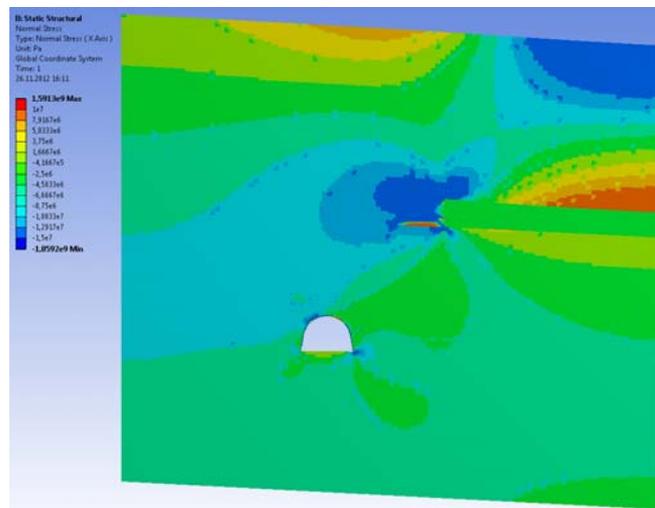
Впереди очистного забоя образовалась зона опорного давления с размерами по ширине – 12 – 14 м, и по высоте 7 – 9 м. Наблюдается высокая концентрация сжимающих напряжений, которые распределяются не равномерно. В частности, над механизированной крепью образовался участок со сжимающими напряжениями, которые достигают 12 – 17 МПа.

Позади очистного забоя образуется область беспорядочного обрушения. Эпюра горизонтальных напряжений σ_x достаточно наглядно это демонстрирует.

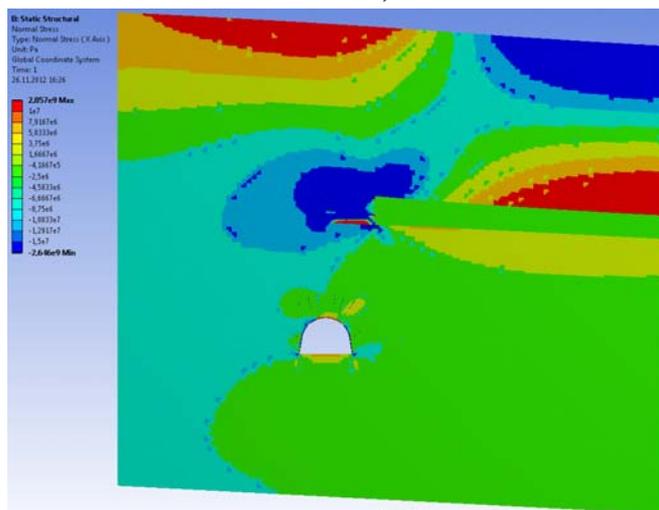
Напряжения в породной консоли в кровле над выработанным пространством достигают критических величин, что и показано на эпюре оранжевым градиентом. По шкале, использованной для эпюр с результатами, данный цвет обозначает уровень растягивающих напряжений в диапазоне 8 – 10 МПа, что превышает предел прочности на растяжение алевролита, залегающего над угольным пластом. Этот участок занимает примерно 9 – 11 м по ширине и 2 – 3 м по высоте. С отдалением от выработанного пространства интенсивность распределения растягивающих напряжений снижается.



а)



б)



в)

Рис. 2.2 Распределение горизонтальных напряжений в горном массиве при расположении очистного забоя: а – 14 м до выработки; б – 7 м до выработки; в – непосредственно над выработкой.

Образуются обширные области с менее интенсивными напряжениями. Размеры распределения областей в кровлю и почву достигают по ширине 13 – 15 м и 5 – 8 м по высоте. Концентрация растягивающих напряжений колеблется от 1 до 4 МПа.

Вокруг выработки образовались только небольшие по размеру участки со сжимающими напряжениями, в основном в местах влияния анкерного и рамного крепления на массив. Соответственно, в почве распределяются растягивающие напряжения, связанные с пучением обводненного аргиллита.

При анализе эпюры горизонтальных напряжений σ_x в массиве горных пород при расположении очистного забоя на расстоянии 7 м до дренажного штрека (рис. 2.2, б) можно отметить значительные изменения НДС массива по сравнению с предыдущим этапом расчета.

Впереди механизированного комплекса образовалась зона опорного давления с концентрацией сжимающих напряжений более 15 МПа. Размеры зоны 8 – 12 м по ширине и 7 – 10 м по высоте. При удалении от этой зоны происходит постепенное снижение напряжений. Асимметрия распределения сжимающих напряжений впереди очистного забоя имеет смещение в сторону выработки. Общие размеры анализируемой области достигают порядка 30 м в ширину и 20 м в высоту с напряжениями в диапазоне 10 – 12 МПа.

В кровле над вынимаемым угольным пластом, выше области сжимающих напряжений, образовалась область с растягивающими напряжениями. Появление данной области связано с образованием области перегиба слоев, которая характеризуется полярным изменением расположения сжимающих и растягивающих напряжений. Теперь растяжение наблюдается в слоях непосредственной и основной кровли над выработанным пространством, что связано с просадкой и частичным обрушением породы. Размеры области по высоте 6 – 8 м и по ширине 16 – 18 м, с напряжениями 5 – 10 МПа.

В окрестности дренажного вентиляционного штрека горный массив преимущественно находится в равновесном состоянии. Исключением являются породы кровли, на которые оказывает влияние зона опорного давления. Под влияние этих напряжений попадает несколько анкеров и рамное крепление.

В целом, распределение напряжений, по сравнению с первым этапом, стало более интенсивным. Области растягивающих и сжимающих напряжений распространились на значительные расстояния в массиве горных пород и начали оказывать непосредственное влияние на выработку. Главным образом это связано с приближением очистного забоя к штреку. Подвигание лавы не только инициирует перераспределение напряжений в массиве горных пород, но и провоцирует не равномерное увеличение давления на рамное и анкерное крепления выработки, что приводит к значительному повышению концентрации напряжений в крепежных элементах, особенно со стороны подхода забоя.

Сравнительный анализ эпюр горизонтальных напряжений σ_x второго (рис. 2.2, б) и третьего (рис. 2.2, в) этапов расчета показал существенные различия не только в характере, но и в интенсивности распределения напряжений.

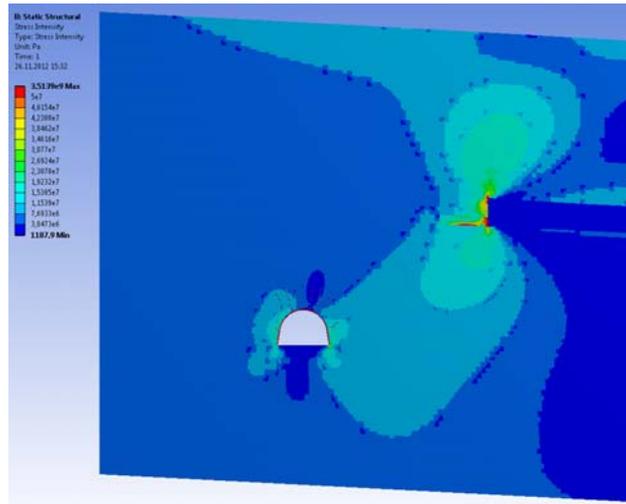
Область сжимающих напряжений вокруг механизированного комплекса увеличилась в размере примерно на 10%. При этом значительно увеличилась концентрация напряжений, которая находится в диапазоне 12 – 15 МПа. С удалением от лавы в кровлю происходит постепенное снижение сжимающих напряжений и появление растягивающих. На высоте 10 – 11 м от угольного пласта начинает преобладать растяжение в слоях. Эта область занимает 22 – 25 м по ширине и 7 – 9 м по высоте, напряжения плавно возрастают от 1 до 10 МПа с отдалением от очистного забоя. Над выработанным пространством появляется область перегиба слоев, в результате чего сжимающие и растягивающие напряжения меняются местами. Это связано с обрушением кровли и просадкой вышележащих слоев. На высоте 12 – 15 м от выработанного пространства образуется область концентрации сжимающих напряжений до 15 МПа, с размерами 15 – 20 м по ширине и 8 – 10 м по высоте.

Влияние очистных работ на выработку оказывается преимущественно со стороны нетронутого угольного пласта, где происходит распределение сжимающих напряжений в диапазоне 6 – 9 МПа. Эта область занимает все пространство массива между угольным пластом и выработкой. В кровле выработки формируется зона разгрузки.

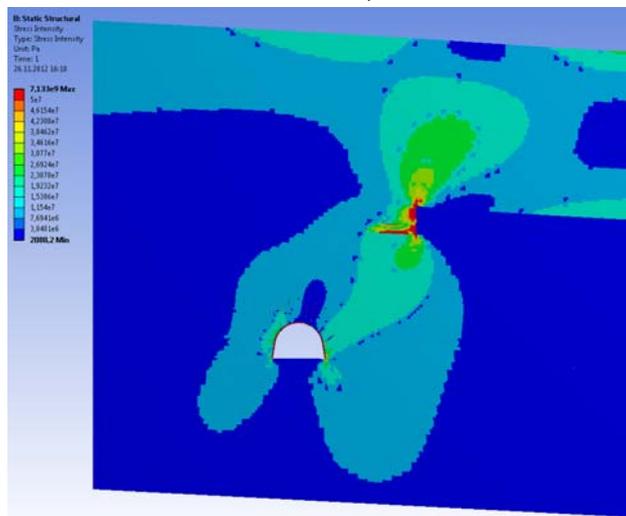
В целом, распределение горизонтальных напряжений полностью коррелирует с вертикальными и подтверждает высокую степень влияния очистных работ на выработку при приближении лавы к надрабатываемому штреку. Происходит значительное перераспределение напряжений в массиве горных пород с увеличением областей разупрочнения литологических разностей.

Распределение интенсивности напряжений (рис.2.3, а) подтверждает результаты анализа эпюр вертикальных и горизонтальных напряжений. Вокруг механизированного комплекса образовалась зона опорного давления с размерами 7 – 10 м по ширине и 16 – 20 м по высоте. Особенностью зоны являются достаточно высокие напряжения, порядка 16 – 20 МПа. Учитывая прочностные характеристики горных пород Западного Донбасса, можно с большой долей уверенности предположить, что в этой области происходит активное нарушение сплошности массива, вплоть до разрушения породных слоев. При этом средневзвешенные напряжения, которые распределяются в нетронутом массиве, равны 4 – 6 МПа. В почве выработанного пространства образуется зона разгрузки.

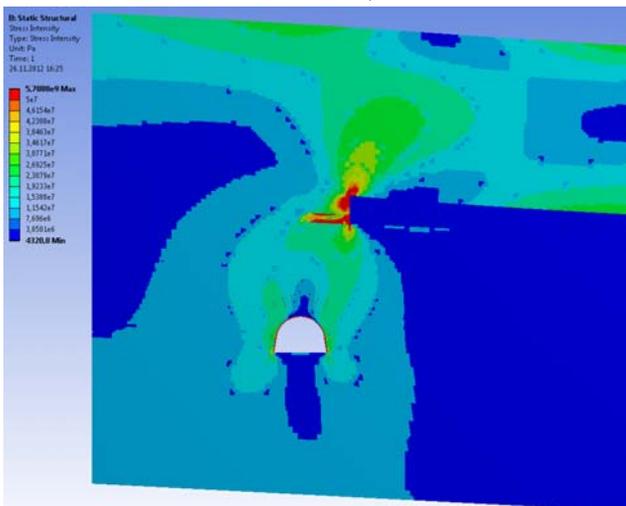
В почве выработки также образовалась зона разгрузки, что связано с процессом пучения пород. В боках выработки напряжения достигают 10 – 13 МПа с размерами 5 – 7 м по высоте и 2 – 3 м по ширине.



a)



б)



в)

Рис. 2.3 Распределение интенсивности напряжений в горном массиве при расположении очистного забоя: а – 14 м до выработки; б – 7 м до выработки; в – непосредственно над выработкой.

Учитывая особенности проводимого эксперимента, особое внимание необходимо уделить влиянию подвигания очистного забоя на НДС в окрестности выработки. При расположении очистного забоя в 14 м до дренажного штрека происходит соединение фронтальной зоны опорного давления впереди забоя и в боку выработки. По ширине область занимает порядка 15 – 20 м, а по высоте 18 – 22 м. Концентрация напряжений на уровне 8 МПа. Анализ эпюры интенсивности напряжений подтвердил, что уже при 14 м от забоя до выработки зона опорного давления начинает оказывать влияние на НДС массива в окрестности надрабатываемой выработки.

Проанализируем поле распределения приведенных напряжений σ (рис. 2.3, б) на промежуточном этапе расположения забоя в 7 м до вертикальной оси симметрии штрека. Качественная картина распределения приведенных напряжений показывает перераспределение напряжений впереди лавы, а также вокруг выработки, что связано с продвижением очистного забоя на 7 м по сравнению с первым этапом расчета.

Размеры зоны опорного давления, по сравнению с первым шагом расчета, увеличились незначительно. Напряжения существенно возросли до 35 – 50 МПа, что значительно выше $R_{сж}$ для пород Западного Донбасса и характеризует нарушение сплошности массива в данном участке. Распределение интенсивности напряжений в диапазоне 12 – 15 МПа происходит в кровле над нетронутым угольным пластом на расстоянии 25 – 30 м от груди забоя.

Вокруг дренажного штрека характер распределения напряжений остался прежний. В почве и кровле происходит разгрузка, по бокам образуются области опорного давления. На данном этапе, вследствие увеличения влияния зоны опорного давления впереди механизированного комплекса, вокруг выработки образовалась область с напряжениями в диапазоне 12 – 15 МПа и размерами 18 – 22 м по ширине и 15 – 18 м по высоте. Происходит увеличение влияния на контур выработки, а соответственно, и на крепление штрека.

Необходимо отметить, что на данном этапе расчета влияние зоны опорного давления впереди забоя на НДС массива вокруг выработки заметно усилилось. Это хорошо показано на эпюре, так как выделяется отдельным цветом из градиента напряжений, который характеризует диапазон напряжений от 19 до 23 МПа.

Распределение интенсивности напряжений в массиве горных пород (рис. 2.3, в) преимущественно связано с увеличением влияния очистных работ на выработку в связи с подходом груди очистного забоя к вертикальной оси симметрии дренажного вентиляционного штрека [162].

Положение очистного забоя на данном этапе расчета спровоцировало значительное перераспределение напряжений в породах кровли относительно угольного пласта. Напряжения в зоне опорного давления впереди забоя достигают 20 – 25 МПа с размерами области по ширине 14 – 17 м и 18 – 22 м по высоте. Влияние зоны опорного давления распространяется на значительно большие площади в кровле как впереди забоя, так и позади него. Над выработанным пространством появляются зоны разгрузки, что связано с проседанием слоев и обрушением основной кровли.

Наиболее важным обстоятельством последнего этапа расчета является влияние зоны опорного давления забоя на выработку. На данном этапе штрек, а также окружающий массив горных пород полностью находятся под влиянием повышенных приведенных напряжений. В слоях, залегающих между штреком и угольным пластом, напряжения достигают 15 – 20 МПа. При этом в непосредственной кровле выработки происходит разгрузка, что связано с работой рамного и анкерного креплений. Однако повышенные напряжения концентрируются и в боках выработки, оказывая интенсивное влияние на контур выработки. В почве штрека происходит разгрузка, связанная с пучением.

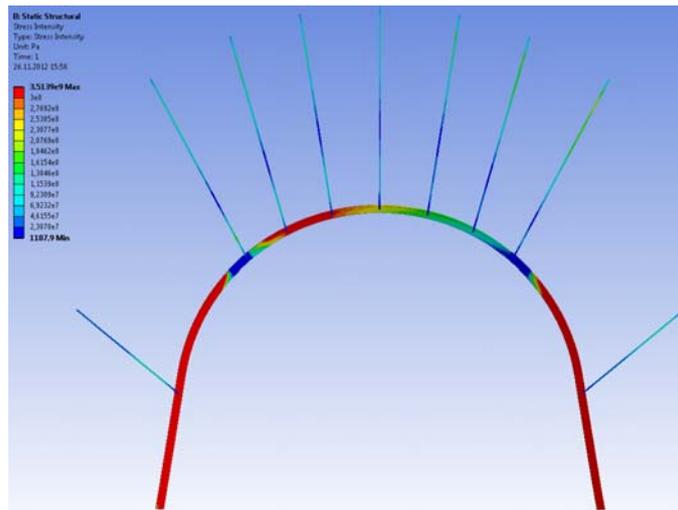
Важным фактором для полноценного анализа влияния очистных работ на надрабатываемую выработку является оценка состояния системы крепления. Для этих целей использованы эпюры интенсивности напряжений крепи дренажного штрека с разным расстоянием от забоя до выработки. По эпюре рис.2.4, *а* проанализируем влияние НДС массива на состояние средств крепления при минимальном влиянии очистных работ.

На данном этапе можно отметить высокую концентрацию напряжений в стойках рамы (от 250 МПа и выше). В верхняке рамы интенсивность распределения напряжений снижается. Однако образовался участок с максимальными напряжениями на противоположной стороне от очистного забоя. В другой половине верхняка концентрация напряжений колеблется в диапазоне 140 – 180 МПа.

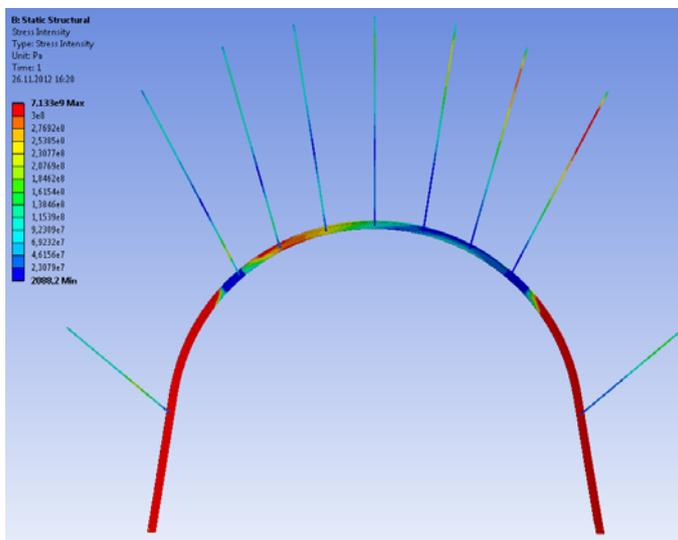
Анкерное крепление нагружено значительно слабее, при этом на концах анкеров напряжения возрастают, что связано с защемлением стальных стержней в породе. К центру напряжения значительно снижаются и находятся в диапазоне от 30 до 60 МПа.

Проанализировав результаты первого этапа вычислительного эксперимента можно отметить, что при проведении очистных работ на расстоянии 14 м от выработки оказывается незначительное влияние на дренажный штрек. Однако уже сейчас можно с уверенностью предполагать, что с приближением очистного забоя к выработке влияние фронтальной зоны опорного давления будет более интенсивным.

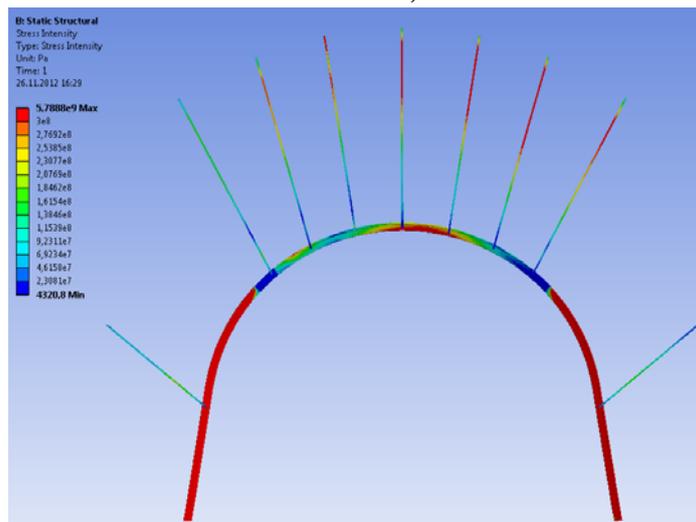
Эпюра интенсивности напряжений σ рамного и анкерного крепления при расстоянии 7 м от очистного забоя до выработки, представлена на рис. 2.4, *б*. Распределение напряжений в рамном креплении по сравнению с первым этапом эксперимента изменилось незначительно. В стойках крепи напряжения свыше 300 МПа, что превышает предел текучести стали и свидетельствует о деформационных процессах в рамном спецпрофиле. В верхняке отмечается незначительное равномерное снижение напряжений, при сохранившемся качественном характере распределения. С одной стороны образовалась область с высокими напряжениями, близкими к пределу текучести стали, а с другой – происходит разгрузка. Примерно на 10% уменьшились напряжения со стороны подвигания очистного забоя до 30 – 50 МПа, в то же время, в более нагруженной, противоположной части верхняка, напряжения преимущественно в пределах 200 – 250 МПа и лишь на очаговых участках свыше 270 МПа.



a)



б)



в)

Рис. 2.4 Распределение интенсивности напряжений к крепи выработки при расположении очистного забоя: а – 14 м до выработки; б – 7 м до выработки; в – непосредственно над выработкой.

На анкерное крепление приближение очистного забоя повлияло гораздо значительнее. На данном этапе характер распределения напряжений в анкерах практически не изменился по сравнению с предыдущим. Более того, в анкерах, установленных на противоположной стороне от забоя, не изменился и диапазон напряжений. Влияние зоны опорного давления впереди механизированного комплекса на анкерное крепление выработки становится очевидным и значительным. Анкера в кровле подвергаются достаточно высокому давлению, что приводит к распределению напряжений свыше 270 МПа. Наибольшему влиянию подвергается крайний анкер в кровле со стороны забоя, около 30% длины которого максимально нагружены. В соседнем анкере участок с высокими напряжениями уменьшается в два раза и, соответственно, концентрация напряжений снижается примерно на 10 – 12%. Третий анкер уже практически не попадает в зону влияния опорного давления, что характеризуется напряжениями, не превышающими 200 МПа.

Приближение очистных работ к надрабатываемой выработке закономерно спровоцировало значительное перераспределение напряжений в массиве горных пород. Это привело к увеличению давления на выработку в кровле со стороны подвигания забоя, что, соответственно, отразилось на НДС рамного и анкерного креплений. Причем, в отличие от первого этапа, это влияние стало достаточно существенным и потенциально может приводить к деформациям элементов крепи.

На завершающем этапе проанализируем эпюру интенсивности напряжений σ рамного и анкерного креплений (рис. 2.4, в) при расположении очистного забоя непосредственно над штреком. Полученные данные позволят составить наиболее полную картину влияния геомеханических процессов в массиве горных пород на крепление надрабатываемой выработки.

Стойки рамной крепи по всей длине подвергаются высоким напряжениям, превышающим предел текучести стали. В отличие от предыдущих этапов напряжения свыше 270 МПа концентрируются также и в центре свода крепи.

Значительно увеличились напряжения в анкерном креплении [163]. Практически все анкера, установленные в кровле штрека, подвергаются повышенным напряжениям σ . Максимальные концентрации отмечены на концах анкеров, закрепленных в массиве, где превышает предел текучести стали. Это свидетельствует об эффективном участии анкеров в процессе поддержания выработки. Анкера формируют опорную плиту, скрепляя породы кровли, для снижения давления на свод выработки. Учитывая характеристики стали, используемой для анкеров, происходит деформирование стержня вследствие сдвижения слоев относительно друг друга. При приближении к контуру выработки напряжения в анкерах снижаются вплоть до 30 МПа. Боковые анкера нагружены относительно слабо, концентрация напряжений колеблется в диапазоне 25 – 50 МПа.

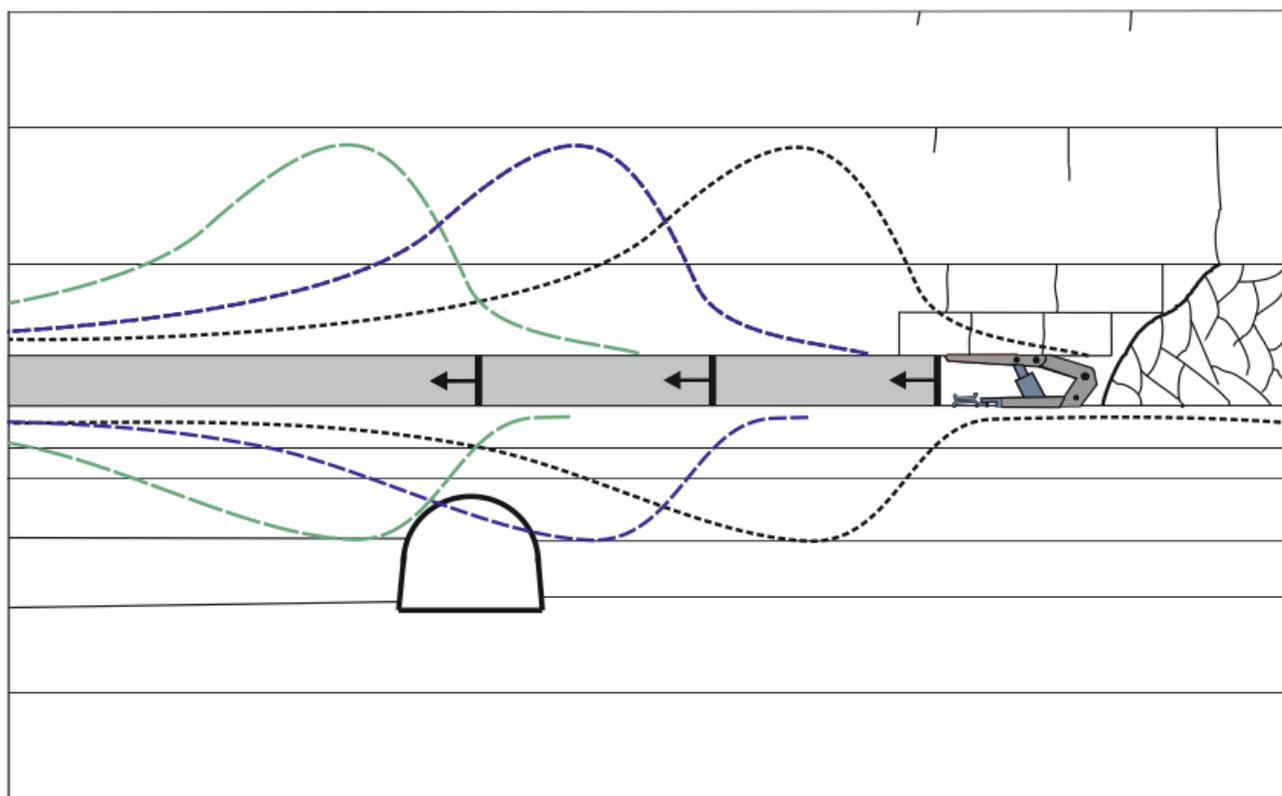


Рис. 2.5 Схематическое представление процесса надработки выработки.

Для наглядного представления особенностей исследуемой горнотехнической ситуации приведена схема (Рис. 2.5), позволяющая визуально оценить степень влияния очистных работ на устойчивость нижележащей выработки. Схематично показано, как с приближением груди очистного забоя к выработке происходит перераспределение зоны опорного давления впереди очистного забоя, что подтверждает полученные ранее результаты.

В результате анализа серии вычислительных экспериментов установлена зависимость изменения напряженно-деформированного состояния горного массива и крепления дренажного вентиляционного штрека от расположения очистного забоя (Рис. 2.6). С приближением очистных работ к выработке увеличивается влияние зоны опорного давления впереди механизированного комплекса. Возрастает концентрация напряжений в крепи штрека, а также меняется характер их распределения. Определено, что наибольшее влияние на штрек происходит при расположении груди очистного забоя на уровне вертикальной оси симметрии выработки. Ведение очистных работ по вышележащему угольному пласту спровоцировало асимметричное распределение НДС в крепежной системе надрабатываемой выработки. В результате концентрация напряжений в элементах крепи превышает предел текучести используемой стали, что приводит к снижению эффективности работы крепи и уменьшению контура выработки.

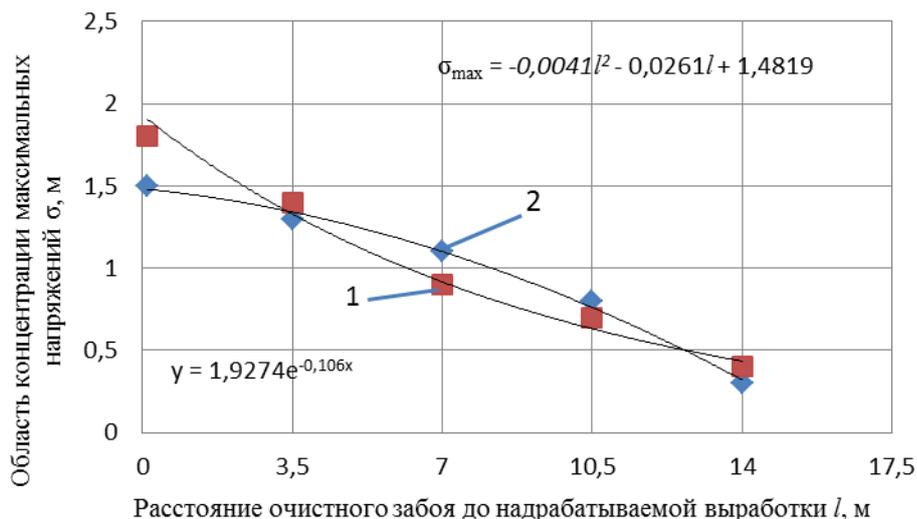


Рис. 2.6 Зависимость изменения областей σ_{max} от расстояния до очистного забоя: 1 – в анкernом креплении; 2 – в рамной крепи

Выводы к главе 2

1. Разработана методика проведения вычислительного эксперимента по изучению поведения надрабатываемого массива, использование которой позволит получить максимально точные результаты исследования для конкретных горно-геологических условий в соответствии со схемой крепления выработок, а также текущей производственной ситуацией.

2. Обоснована геомеханическая модель углевмещающего массива горных пород, а также крепежная система дренажного вентиляционного штрека блока № 3 шахты «Самарская» при отработке 547 лавой пласта C_5 . В соответствии с геологическим прогнозом, основанном на данных геологоразведочных скважин НЗ-4391, НЗ-4388, №12954 заданы все необходимые физико-механические свойства пород для проведения максимально адекватного расчета. Заданы все необходимые граничные условия, построена конечно-элементная модель для проведения вычислительного эксперимента.

3. Для анализа результатов расчета напряженно-деформированного состояния горного массива и крепежной системы использованы эпюры интенсивности σ , горизонтальных σ_x и вертикальных σ_y напряжений, которые позволяют оценить качественную и количественную картину распределения напряжений. В результате установлено, что с приближением очистных работ к выработке увеличивается зона опорного давления вокруг механизированного комплекса, что сказывается на НДС массива вокруг выработки и на нагрузке на рамное и анкernое крепления. На первых двух этапах расчета был перевес в давлении со стороны подхода лавы, то на последнем этапе напряжения выровнялись, и нагрузка распределилась равномерно по всей крепи. В связи с тем, что на последнем этапе расчета очистной забой находился непосредственно над штреком, это привело к распределению максимальных

напряжений в породных слоях, залегающих между угольным пластом и выработкой. В результате чего произошло разупрочнение массива и образование трещин, а также деформация конструктивных элементов рамы и слом ряда анкеров в местах сдвижения породных слоев.

4. В связи с тем, что вычислительный эксперимент выполнялся в упругой постановке, не представляется возможным оценить характер перераспределения напряжений после превышения предела прочности на сжатие. Необходимо учесть влияние значительного водопритока в лаву, который стремительно возрастает во время ведения очистных работ, а также влияние процессов сдвижения, происходящих в кровле вынимаемого пласта. В результате необходимо разработать более совершенную пространственную модель, с учетом влияния зон шарнирно-блокового сдвижения как позади забоя, так и по бокам выемочного столба, которые были образованы вследствие отработки лав 545 и 549. Обосновать изменение физико-механических свойств горных пород в связи с сильным обводнением. Провести вычислительный эксперимент в упруго-пластической постановке.

ГЛАВА 3

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ НДС УГЛЕВМЕЩАЮЩЕГО МАССИВА И КРЕПИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ ПРИ ЕЕ НАДРАБОТКЕ В УСЛОВИЯХ СБЛИЖЕННЫХ ПЛАСТОВ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА. ШАХТНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ

3.1. Совершенствование геомеханической модели по результатам расчета ее НДС

В результате проведения серии вычислительных экспериментов в упругой постановке был выявлен ряд недостатков линейного конструкционного анализа для исследования напряженно-деформированного состояния породного массива.

В линейном статическом конструкционном анализе решается матричное уравнение относительно перемещений $\{x\}$:

$$[K]\{x\} = \{F\}, \quad (3.1)$$

где

$[K]$ – матрица жесткости; $\{x\}$ – перемещение; $\{F\}$ – сила.

Допущения линейного статического анализа:

$[K]$ (жесткость) является константой: применяется линейная упругая модель поведения материалов; используется теория малых перемещений; в расчет включены некоторые нелинейные граничные условия;

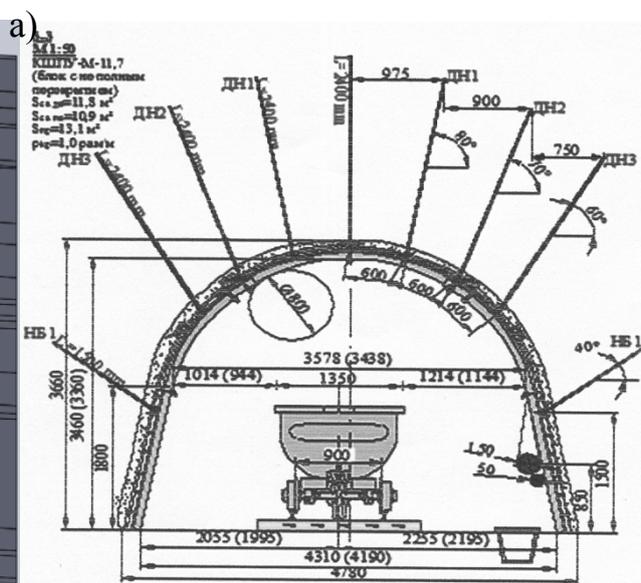
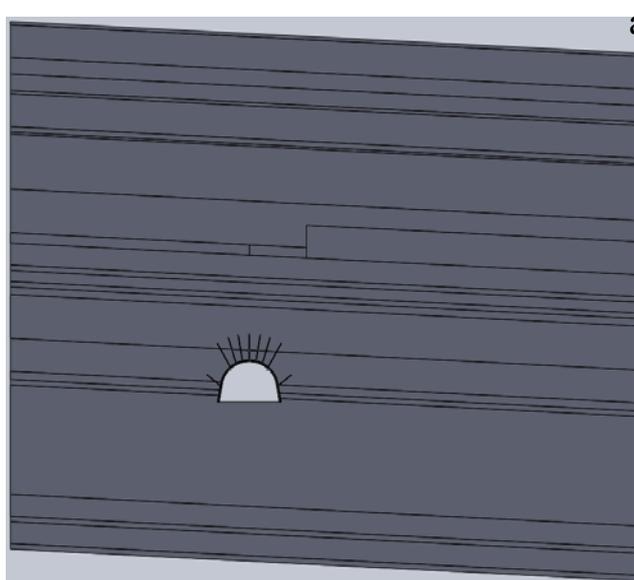
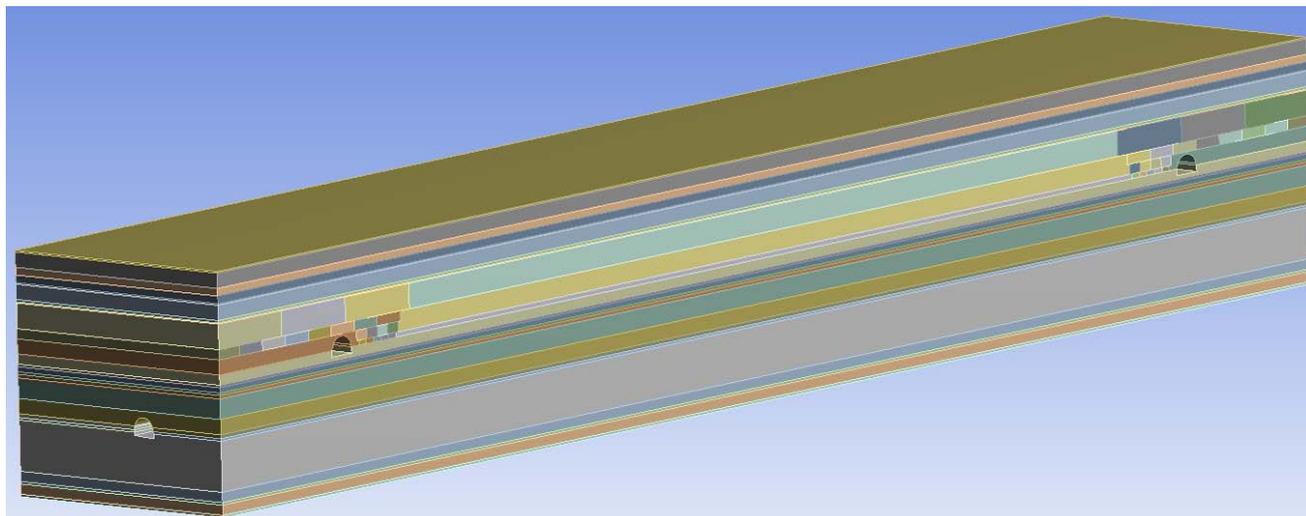
$\{F\}$ (приложенная сила) является статической нагрузкой: не рассматриваются силы, изменяющиеся во времени; не рассматриваются явления инерции (масса, демпфирование).

В связи с этим для увеличения степени сходимости результатов расчета с реальными условиями необходим переход к использованию нелинейного статического анализа. В процессе нелинейного статического анализа появляется возможность имитировать пластичное и сверхпластичное поведение материалов, определять жесткость нагружения, задаваться большими деформациями и напряжениями, учитывать контактные поверхности, анализировать ползучесть.

Основной специфической особенностью нелинейного поведения конструкции является изменение ее жесткости под действием нагрузки. На уровне физической модели можно говорить о нелинейной зависимости смещений от приложенной силы. Изменение жесткости может вызываться тремя основными причинами: изменением состояния (статуса) конструкции, геометрической конфигурацией и характером поведения материала.

Нелинейное поведение материалов приводит к изменению жесткости конструкции под действием приложенной нагрузки. Так, нелинейная зависимость деформации от напряжения для пластичных и сверхэластичных материалов заставляет конструкцию различным образом реагировать на внешние силы; уровень остаточной деформации определяется величиной приложенных сил и температурным режимом. Нелинейные эффекты,

вызванные ползучестью и вязкопластичным (вязкоэластичным) поведением материалов, зависят от времени и скорости нагружения, температурного режима и величины нагрузки.



б)

в)

Рис.3.1. Пространственная модель расположения дренажного вентиляционного штрека под выемочным столбом 547 лавы пласта С₅: а – изометрия; б – поперечное сечение; в – паспорт крепления дренажного штрека.

В большинстве случаев поведение материалов под действием приложенных сил описывается деформационной кривой, на которой выделяется несколько характерных точек и участков: 1) до предела пропорциональности деформация подчиняется линейному закону; 2) до предела упругости величина остаточной деформации пренебрежимо мала, и поведение материала мало отличается от линейного; 3) выше предела упругости и до предела текучести происходит нелинейное деформирование; 4) увеличение внешней нагрузки свыше предела текучести и вплоть до предела прочности

приводит к интенсивному пластическому деформированию, которое характеризуется накоплением остаточной деформации; данный процесс является неконсервативным и подвергается нелинейному анализу.

Помимо перехода к упруго-пластической постановке расчета необходимо максимально детализировать геометрию модели. В результате произведен переход к полноценной пространственной модели исследуемого участка.

Рассматриваемая модель (рис. 3.1, *а*) состоит из 25 породных слоев, при этом высота модели составляет 48,2 м. Мощность и физико-механические свойства каждого слоя полностью соответствуют геологическому прогнозу для 547 лавы.

Ширина модели составляет 290 м, что включает в себя непосредственно лаву (230 м), выемочные штреки, а также участки ранее отработанных лав по 25 м с каждой стороны. В кровле над отработанными лавами, а также вокруг выемочных выработок моделируется зона шарнирно-блокового сдвижения с разбиением породных слоев на блоки с различными размерами. На глубине 9 м от угольного пласта и на удалении 18 м от переднего края модели проведен дренажный штрек (рис. 3.1, *б*). Согласно паспорта крепления дренажного штрека была смоделирована рамная и анкерная крепи (рис. 3.1, *в*). Глубина модели составила 55 м. Механизированный комплекс моделировался в виде сплошного прямоугольного блока шириной 5 м и высотой 1 м. Выработанное пространство заполнено обрушенными породами, смоделированными в виде сплошного блока с прочностными характеристиками, соответствующими разрушенному горному массиву.

Для повышения достоверности методов прогноза и объективности отражения конкретной горно-геологической ситуации отработки угольного пласта проанализированы работы с результатами натуральных наблюдений и особенно моделирования на эквивалентных материалах, которые указывают на разделение интенсивно деформирующейся области слоистого массива на блоки, размер которых увеличивается по мере удаления от выработанного пространства в кровлю. То есть, возникает некоторая промежуточная структура (между целостным массивом и разрушенной средой), которая при смещении обладает определенной устойчивостью за счет усилий распора между породными блоками. Данные представления получили название «гипотеза блочного разрушения» [165 – 170]; ее отдельные положения развиты во многих работах, например, [171 – 176] в части разделения пород кровли над выработанным пространством на зону беспорядочного обрушения и зону шарнирно-блокового сдвижения. Традиционные рассуждения [164, 172, 173] сводятся к тому, что при изгибе породных слоев (вблизи очистного забоя) в них образуются трещины разрыва, которые при изменении знака кривизны изгиба смыкаются в так называемые «магистральные» трещины, разделяющие слой на отдельные блоки. Эти блоки при некоторой величине взаимного перемещения не распадаются на отдельные, а контактируют друг с другом за счет усилий распора, обусловленных значительными размерами блоков и их деформированием в стесненных условиях. Здесь, в связи с разделением слоистой кровли на отдельные элементы, возникает ряд особенностей при

изучении состояния данной области массива. Во-первых, зона шарнирно-блокового сдвижения (по обобщенному мнению специалистов) развивается по высоте до 12 – 15 вынимаемых мощностей угольного пласта, иногда более, что (с учетом ее расширения по высоте кровли) может представлять опасность с точки зрения посадки механизированного комплекса «на жесткую базу». Во-вторых, за счет усилий распора породных блоков между собой они обладают некоторой несущей способностью и за счет этого снижают нагрузку на крепь очистного забоя. Тогда возникает задача по оценке степени устойчивости образующейся многошарнирной системы. С одной стороны, методы механики сплошной среды неприменимы для исследования НДС блочных структур. С другой стороны, ее моделирование как среды дискретных элементов вызывает много вопросов относительно представления формы и размеров отдельностей, их схемы взаимодействия друг с другом и т.п. По совокупности изложенного целесообразно учитывать факт образования распорных систем в кровле вблизи очистного забоя, а механизм их взаимодействия моделировать современными методами исследований поведения блочной среды с учетом накопленного опыта в этом направлении механики горных пород.

При анализе гипотезы блочного разрушения и выявлении ее позитивных сторон следует принять во внимание сложившиеся представления о том, что зона шарнирно-блокового сдвижения является только частью массива, вовлеченного в геомеханические процессы при очистной выемке. Геометрические и механические параметры этой зоны зависят также от нижележащей зоны беспорядочного обрушения и вышележащей области плавного прогиба слоев. В этом плане следует обратить внимание на более чем полувековые представления [177, 178]. Так, Ф. Ван-Итерсон [177] считал, что вокруг очистной выработки образуется подобие области сыпучей среды, так как горные породы в ближней (к почве пласта) зоне подвергнуты интенсивному разрушению. Поэтому, используя методы статистики сыпучей среды, сделана попытка создания метода расчета нагрузки на крепь очистной выработки. Несмотря на существенную идеализацию расчетных положений, представление зоны беспорядочного обрушения сыпучей средой не лишено смысла в том плане, что достаточно мелко раздробленные породы весьма неустойчивы, и с некоторым запасом прогнозирования можно считать, что весь их объем над лавой создает своим весом нагрузку на крепь. То есть, позитивным моментом является дифференциация структуры и свойств пород по высоте надугольной толщи, которая обуславливает отдельный подход к моделированию поведения зон беспорядочного обрушения и шарнирно-блокового сдвижения. В этом же плане целесообразно использовать представления А. Лабасса [178] о различной жесткости слоев пород, находящихся над зоной шарнирно-блокового сдвижения. Нижние слои благодаря трещинообразованию при изгибе приобретают повышенную деформируемость (но не разделяются на блоки), а верхние более целостные слои обладают повышенной жесткостью. Данное сочетание жесткостей слоев формирует зоны повышенного и пониженного горного давления с определенным перераспределением геостатической нагрузки. Такие представления целесообразно использовать при

моделировании поведения наиболее удаленной зоны плавного изгиба слоев без нарушения сплошности. Таким образом, предпринята попытка обоснования ряда позиций моделирования геомеханических процессов сдвижения надугольной толщи с использованием комплекса положений гипотез блочного разрушения, сыпучей среды и дифференцированной жесткости слоев при их квазипластическом изгибе.

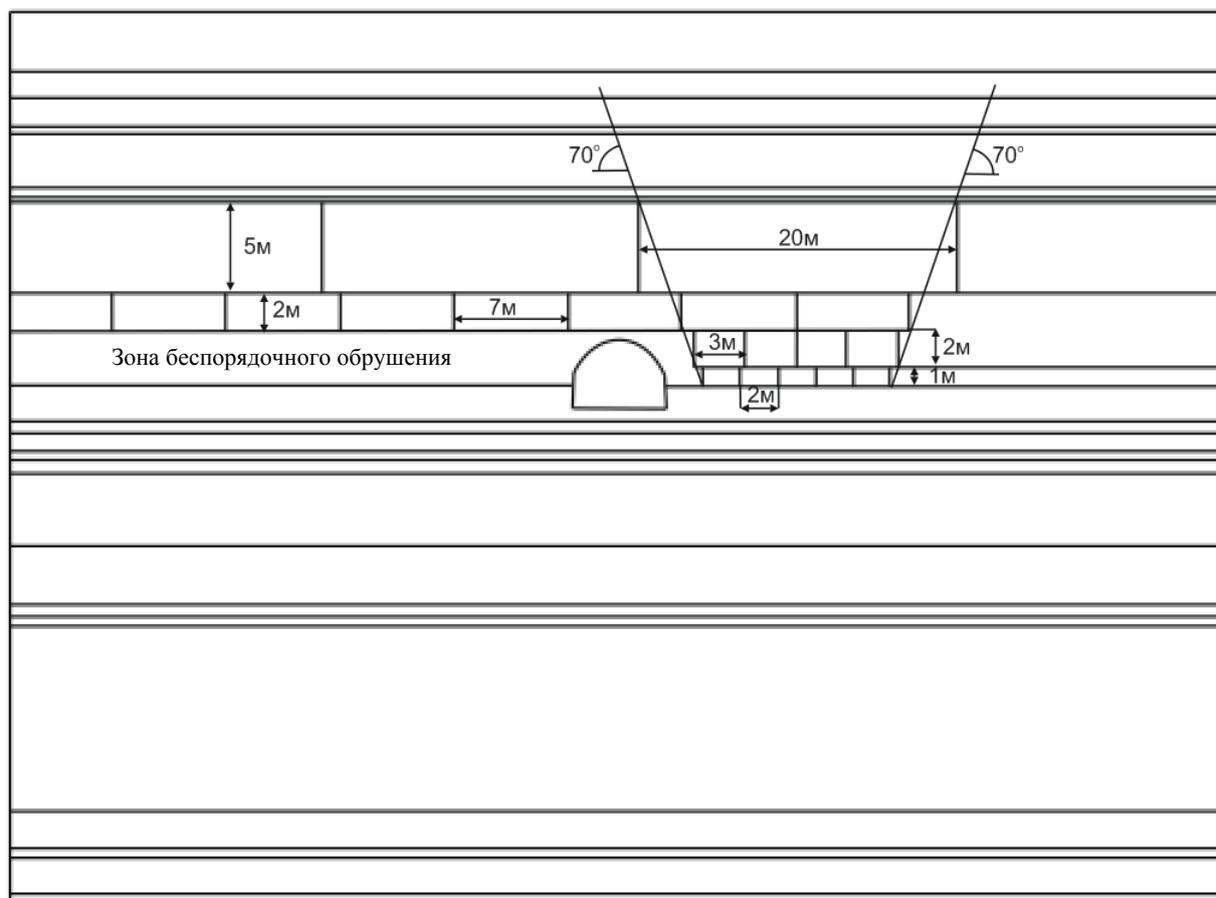


Рис. 3.2. Схема шарнирно-блокового сдвижения горного массива в окрестности выемочной выработки

Согласно существующим представлениям о сдвижении пород надугольной толщи в выработанное пространство они разделяются на две зоны (в пределах интересующей нас высоты): зона беспорядочного обрушения $h_{об}$ и зона шарнирно-блокового сдвижения $h_{ш}$. Высота зоны обрушения $h_{об}$ определяется из условия подпора опускающихся пород основной кровли разрыхляющимися в объеме породами ложной, непосредственной и частично основной кровли:

$$h_{об} = \frac{m - h_c}{k_p - 1} \approx 1,6 - 2,6 \text{ м}, \quad (3.2)$$

где $m = 0,98 - 1,05$ м – фактическая вынимаемая мощность пласта;

$h_c = (0,5 - 0,6)m$ – величина свободного прогиба (без обрушения) породных слоев основной кровли;

$k_p = 1,2 - 1,25$ – коэффициент разрыхления слабых глинистых сланцев при вынимаемой мощности пласта в районе 1 м.

Тогда высота зоны шарнирно-блокового сдвижения $h_{ш}$ составит:

$$h_{ш} = 7,6 м - h_{об} = 5 - 6 м, \quad (3.3)$$

в пределах которой по плоскостям ослаблений возможно расслоение основной кровли на несколько породных слоев.

На основании вышеизложенных изысканий разработана схема шарнирно-блокового сдвижения пород вокруг выемочных выработок 547 лавы (рис.3.2), с учетом того, что две соседние лавы уже отработаны.

Результаты тестовых расчетов подтвердили адекватность усовершенствованной модели выдвинутым требованиям. Данный подход позволит получить полную картину взаимовлияния геомеханических процессов, происходящих на разной глубине, и оценить их влияние на исследуемую выработку.

Полученная модель будет использована для определения напряженно-деформированного состояния породного массива и систем крепления в дренажном вентиляционном штреке. Целью проведения вычислительного эксперимента является установление областей, оказывающих наибольшее влияние на систему крепления выработки для внесения эффективных изменений в конструкцию крепи.

3.2. Закономерности изменения НДС массива и крепежной системы штрека в процессе ведения очистных работ по вышележащему сближенному пласту.

В результате дополнительных исследований разработана усовершенствованная расчетная модель, которая позволит получить максимально адекватные результаты эксперимента. Для возможности сравнительной оценки полученных ранее результатов с результатами новой модели использован общий алгоритм проведения эксперимента [179 – 182].

Проведена серия вычислительных экспериментов в упруго-пластической постановке с разным шагом подвигания очистного забоя, начиная от 14 м до расположения очистного забоя непосредственно над выработкой. Использовалась пространственная модель углевмещающего горного массива в окрестности 547 лавы ШП «Самарская». На глубине 8 – 9 м от угольного пласта C_5 проведен дренажный вентиляционный штрек, расположенный в крест отработываемых выемочных столбов.

Для представления результатов эксперимента выбраны эпюры интенсивности σ , вертикальных σ_y и горизонтальных σ_x напряжений в породном массиве, а для системы крепления штрека использованы эпюры интенсивности σ . Представлены наиболее сложные условия поддержания выработки – расположение забоя непосредственно над штреком.

Особенностью использования пространственного моделирования является получение результатов, которые можно рассматривать в разных

плоскостях и делать срезы в необходимых местах модели для получения максимально полной картины распределения напряжений в массиве. В связи с этим для анализа использованы эпюры общего вида массива, а также поперечного сечения для детального анализа состояния дренажного вентиляционного штрека [183, 184].

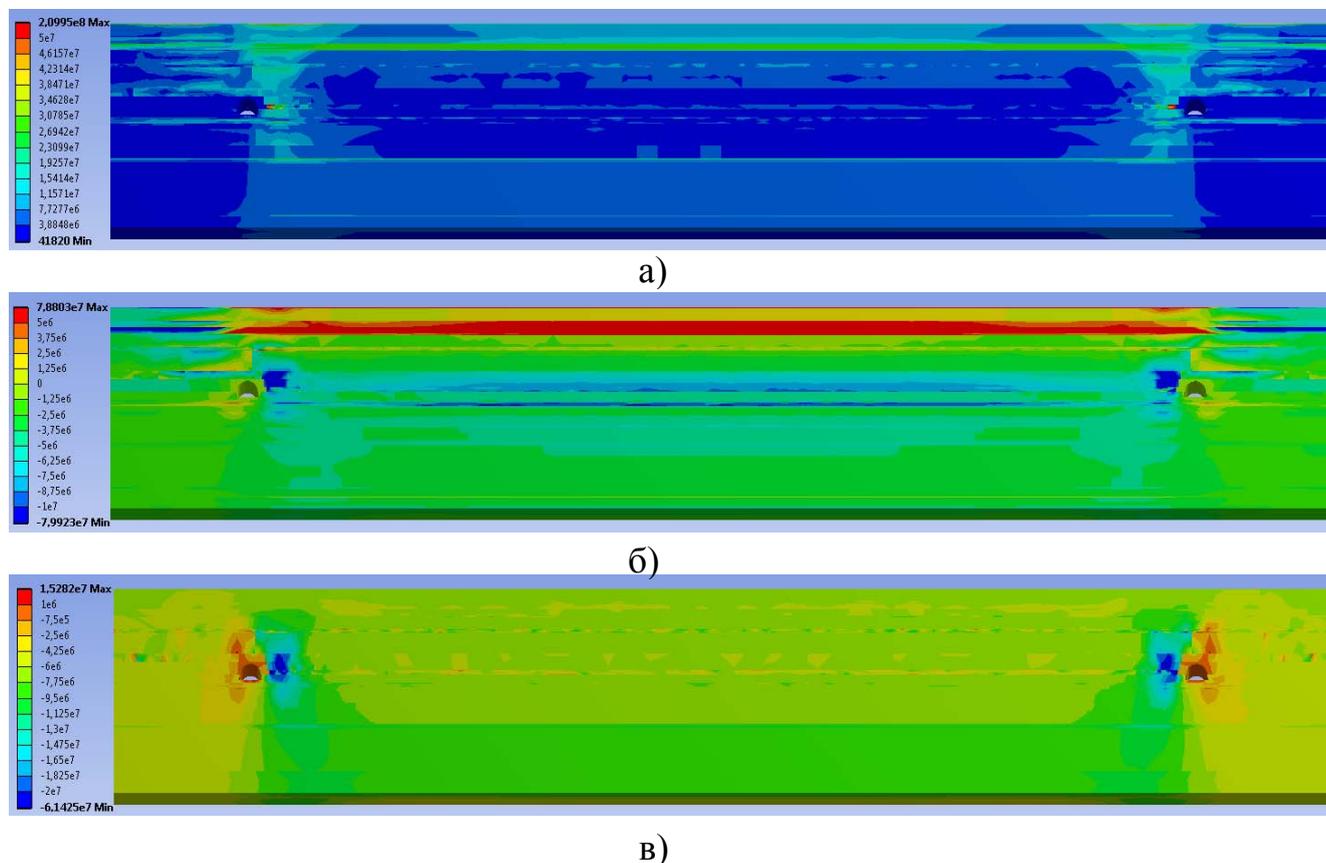


Рис.3.3. Эпюры общего вида модели при расположении очистного забоя над дренажным вентиляционным штреком: а – интенсивность σ напряжений; б – горизонтальные σ_x напряжения; в – вертикальные σ_y напряжения

В работе представлены эпюры общего вида модели только для последнего этапа расчета (рис.3.3), когда очистной забой располагается над подготовительной выработкой. Это обусловлено незначительными отличиями в распределении напряжений на разных этапах расчета, что свидетельствует о правильном обосновании размеров модели.

На всех трех эпюрах отчетливо просматривается образование зоны опорного давления в боках выемочных выработок со стороны залегания отрабатываемого угольного пласта. В первую очередь такое распределение напряжений связано с тем, что оба соседних выемочных столба уже отработаны и произошли нарушения целостности породной толщи, связанные с замещением образовавшихся пустот. Характер распределения напряжений практически полностью симметричный, размеры данных зон достигают 5 м в ширину и до 10 м в высоту. Концентрация напряжений согласно эпюре интенсивности σ напряжений находится в диапазоне 20 – 30 МПа, по эпюрам

вертикальных σ_y и горизонтальных σ_x напряжений сжатие превышает 20 МПа. Данная концентрация напряжений превышает модуль упругости для породных слоев алевролита и аргиллита, залегающих в данной области [185].

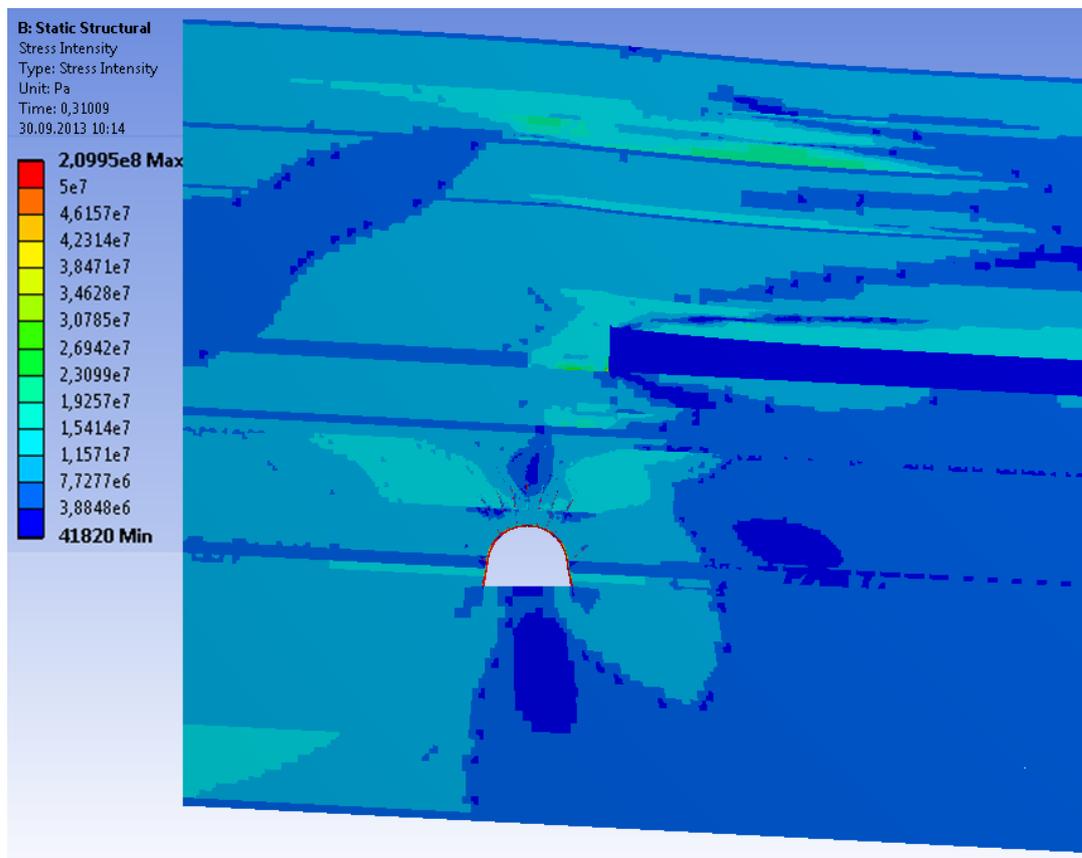


Рис.3.4. Поперечное сечение эпюры интенсивности σ напряжений при расположении очистного забоя непосредственно над выработкой

В свою очередь, с другой стороны выработки происходит образование зоны разгрузки, которая показана на эпюре (Рис. 3.3, в). Концентрация растягивающих напряжений происходит в диапазоне 0,5 – 2 МПа, которые распространяются в кровлю выработки на расстояние 2 – 3 м и занимают в ширину не более 3 – 4 м.

Стоит отметить, что полученные эпюры показывают вполне характерное распределение напряжений для выемочных выработок после отработки одной из лав [186]. В связи со спецификой проводимого исследования большее значение имеет ситуация вокруг надрабатываемой выработки, поэтому более подробно анализируем поперечное сечение данной модели, где собственно и показан дренажный вентиляционный штрек. Для этих целей также использованы эпюры интенсивности σ , вертикальных σ_y и горизонтальных σ_x напряжений для породного массива на последнем этапе из серии экспериментов, а также эпюры интенсивности σ для рамного и анкерного крепления выработки.

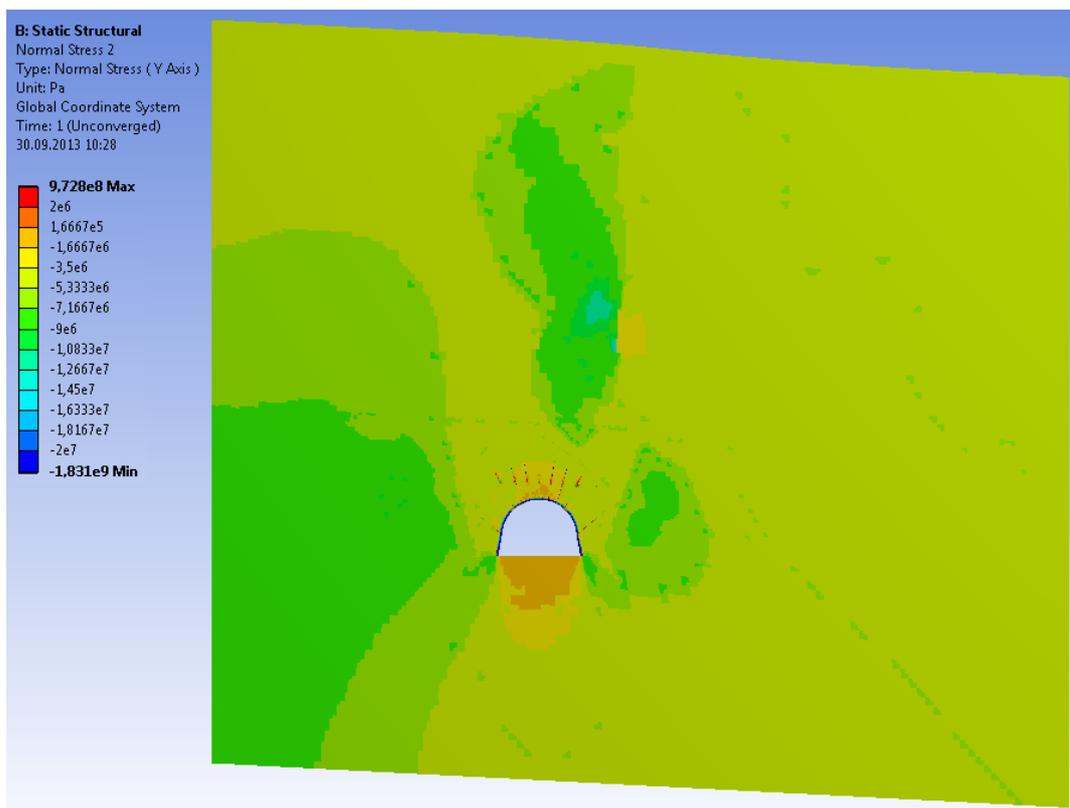


Рис.3.5. Поперечное сечение эпюры вертикальных σ_y напряжений при расположении очистного забоя непосредственно над выработкой

В связи со спецификой упруго-пластического поведения материалов после перехода из упругого состояния в пластическое практически прекращается рост напряжений, но при этом увеличивается прирост деформаций.

В результате анализа эпюры интенсивности σ напряжений (рис.3.4) можно отметить, что общий характер распределения напряжений, по сравнению с первой серией расчетов в упругой постановке, остался прежним. При подходе очистного забоя к выработке происходит объединение фронтальной зоны опорного давления впереди очистного забоя и аналогичных зон в боках выработки. Образуется область значительных размеров, достигающих в ширину 15 – 20 м и в высоту 10 – 15 м. При этом концентрация напряжений находится в диапазоне 15 – 22 МПа.

В кровле и почве выработки сформированы области разгрузки. В кровле данная область имеет относительно небольшие размеры, не более 2 – 3 м в высоту и 1 – 2 м в ширину, и находится на некотором отдалении от контура выработки, что связано с действием анкерного крепления. В почве область разгрузки значительно большего размера, достигает 2 – 3 м в ширину и 5 – 7 м в высоту. Это свидетельствует о достаточно интенсивном пучении пород почвы.

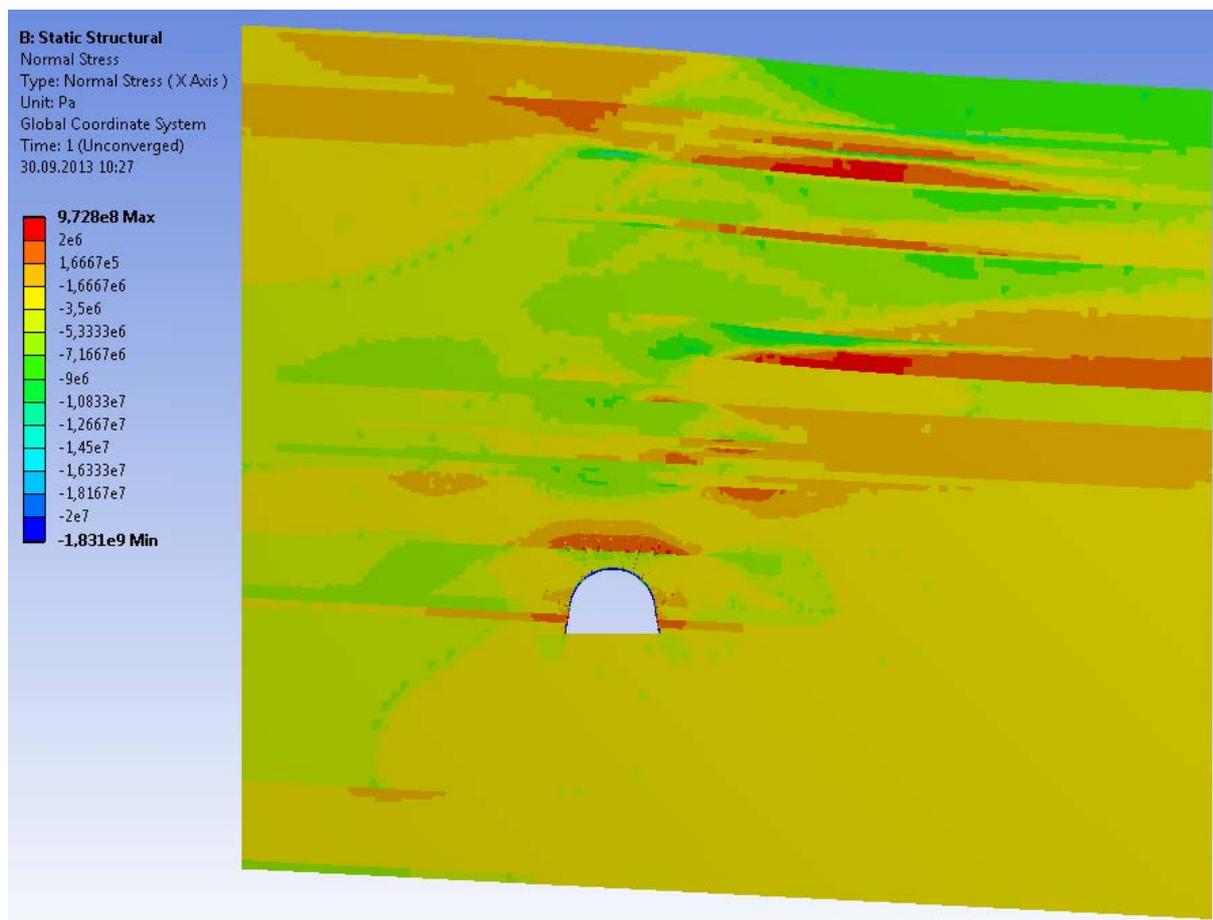


Рис.3.6. Поперечное сечение эпюры горизонтальных σ_x напряжений при расположении очистного забоя непосредственно над выработкой

Эпюра вертикальных σ_y напряжений (рис.3.5) позволяет дополнить картину НДС массива. Более подробно можно проанализировать зону опорного давления впереди очистного забоя. Данная область занимает 12 – 15 м в высоту и порядка 5 – 7 м в ширину, при этом концентрация сжимающих напряжений достигает 10 – 12 МПа. Влияние фронтальной зоны опорного давления распространяется на крепление выработки, напряжения снижаются непосредственно перед началом анкеров. Это связано с зоной разгрузки, которая образовалась в кровле выработки и видна на предыдущей эпюре.

В боках выработки также образуются области с концентрацией сжимающих напряжений, причем они имеют несимметричный характер. Так со стороны подхода очистного забоя данная область имеет значительно меньшие размеры (4 – 6 м в ширину и 5 – 7 м высоту) и концентрацию сжимающих напряжений (5 – 8 МПа). В то же время, с противоположной стороны данная область распространяется на все пространство вплоть до границы модели, занимая до 15 м в ширину и до 20 м в высоту при концентрации напряжений 7 – 11 МПа. Такое несимметричное распределение напряжений связано с влиянием очистных работ, которые проходят непосредственно над выработкой, что создает нетипичные условия для поддержания подготовительной выработки.

Эпюра горизонтальных σ_x напряжений (рис.3.6) позволяет более детально проанализировать НДС в каждом конкретном слое. Над очистным забоем

происходит концентрация сжимающих напряжений, что вполне закономерно и подтверждается предыдущими эпюрами. Концентрация напряжений колеблется в диапазоне 7 – 12 МПа. В то же время над выработанным пространством ситуация кардинально отличается. С удалением от механизированного комплекса происходит увеличение концентрации растягивающих напряжений (от 2 МПа и более) в нижней части каждого отдельного слоя. В итоге, при приближении к краю модели, растягивающие напряжения полностью замещают сжимающие, что объясняется обрушением непосредственной кровли в выработанное пространство, а также просадкой и частичным обрушением основной кровли.

В кровле выработки преобладают растягивающие напряжения, что успешно коррелирует с результатами на других эпюрах и подтверждает образование области разгрузки. При этом в мощном слое основной кровли на некотором удалении от анкерного крепления растягивающие напряжения, которые достигали 1 – 3 МПа, сменяются сжимающими вплоть до 8 МПа.

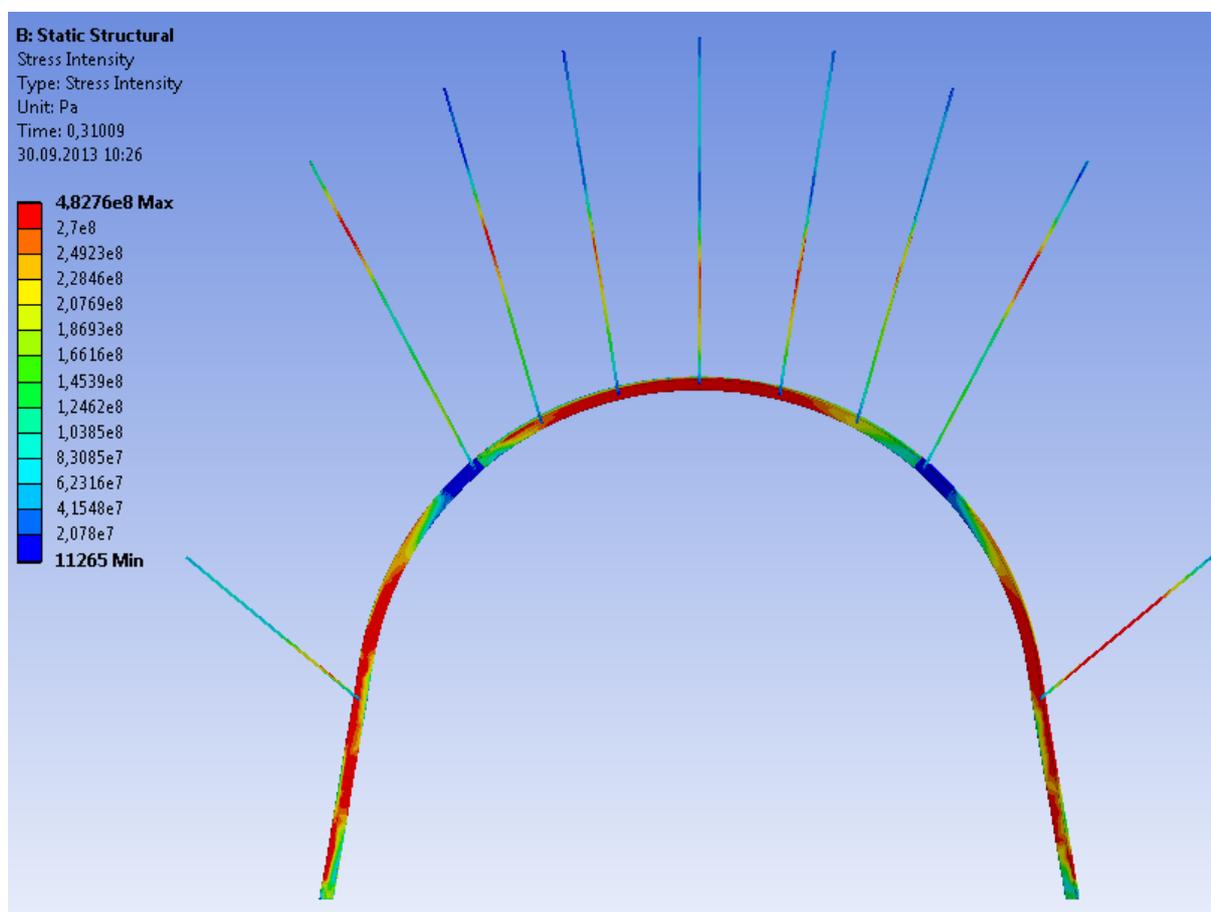


Рис.3.7. Эпюра интенсивности напряжений σ рамного и анкерного креплений при расположении очистного забоя над выработкой

В целом, эпюра горизонтальных напряжений позволяет оценить степень сдвижения породных слоев относительно друг друга, что подтверждает гипотезу о слабом межслоевом сцеплении.

Для тщательного анализа НДС рамного и анкерного креплений использована эпюра интенсивности напряжений σ (рис. 3.7), на которую отдельно вынесены только крепежные элементы без породного массива.

Рамное крепление, установленное в выработку, в условиях непосредственного влияния фронтальной зоны опорного давления очистного забоя подвергается достаточно высоким нагрузкам. В результате в 80 – 85% площади стоек и верхняка рамы происходит распределение напряжений, превышающих 270 МПа, что является критичным для сохранения устойчивости выработки, так как превышает предел прочности стали, используемой для изготовления спецпрофиля.

Анкерное крепление подвергается подобным высоким напряжениям несколько меньше, однако в местах контакта породных слоев между собой происходит сдвигание литологических разностей относительно друг друга, что приводит к заземлению и возможному срезу анкеров. В данной ситуации анкер не может полноценно использовать всю свою длину, что в результате может ослабить крепежный эффект [187].

В ходе проведенной серии вычислительных экспериментов в упруго-пластической постановке установлено, что выбранная концепция максимальной детализации пространственной модели, а также переход к упруго-пластическим характеристикам материалов позволил существенно приблизить результаты эксперимента к реальным производственным условиям. Установлены участки породного массива, подвергшиеся наибольшему влиянию ведения очистных работ над подготовительной выработкой, а также проанализировано состояние рамного и анкерного креплений дренажного вентиляционного штрека в данных условиях. В результате выявлены наиболее уязвимые участки и элементы крепи, а также установлена необходимость в разработке более эффективной схемы крепления подобных выработок на основе полученных данных.

3.3. Закономерности изменения НДС массива и крепежной системы штрека в процессе ведения очистных работ по вышележащему сближенному пласту в условиях обводненности

В связи с использованием принципа совершенствования модели для достижения характеристик, максимально отражающих реальные условия ведения подземных работ, необходимо дополнительно учесть в задаче фактор обводненности массива. Такая необходимость вытекает из самой сути рассматриваемой ситуации, когда при ведении очистных работ в лаве наблюдается изменение водопритока:

– между посадками основной кровли (в том числе и после посадки крепи на «жесткую базу») водоприток относительно небольшой (на уровне 3 – 5 м³/ч) в виде «капежа» воды, достаточно равномерном по всей длине лавы;

– перед посадкой основной кровли водоприток снижается до 2 м³/ч и менее;

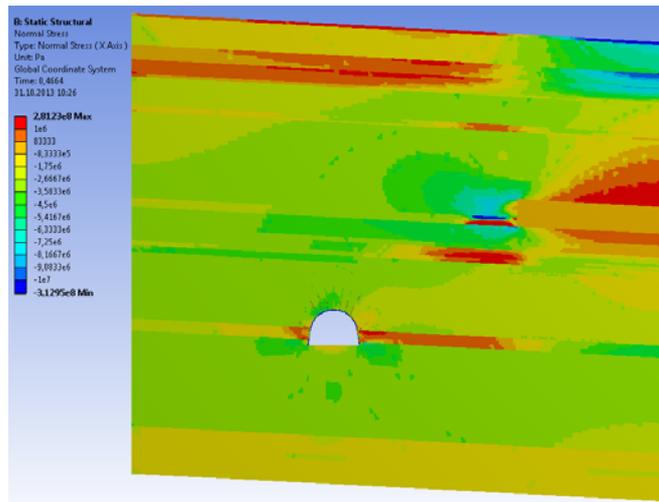
– после посадки основной кровли водоприток восстанавливается до прежнего уровня 3 – 5 м³/ч;

– после посадки на «жесткую базу» водоприток резко возрастает до 40 – 50 м³/час и сосредоточен в районе сопряжения со сборным штреком.

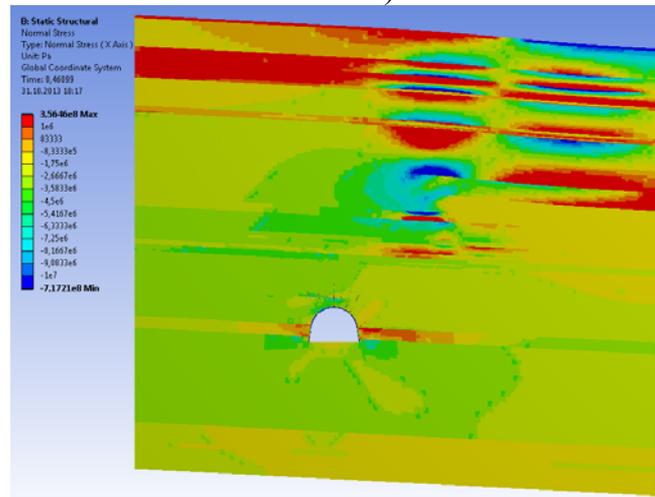
Именно для отведения такого объема прибывающей воды из выемочных выработок и бурились скважины для сброса воды в дренажный вентиляционный штрек. Естественно, что значительная часть воды проникает в слои почвы, состоящие из аргиллита и алевролита, что приводит к размоканию породы и изменению их физико-механических характеристик. В связи с тем, что породные слои на данном участке характеризуются интенсивным трещинообразованием вследствие ведения очистных работ и наличием пористого песчаника, то распространение влаги происходит на значительную глубину. Так как водоприток поступает по образовавшимся трещинам из кровли выработки, то вполне логично, что в кровле также происходит размокание породных слоев. В то же время вода, попадающая в дренажный штрек, не отводится сразу, провоцируя размокание почвы.

Из-за обильного обводнения выработок в ходе ведения очистных работ возникла необходимость учесть данный фактор в ходе экспериментов для максимальной детализации условий. В результате принято решение использовать понижающие коэффициенты для физико-механических характеристик в зависимости от типа горных пород (0,4 для аргиллита; 0,6 для алевролита; 0,8 для песчаника).

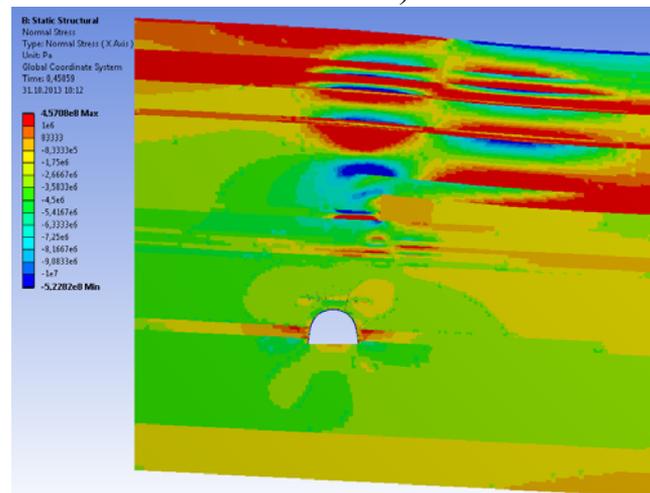
Серия эпюр горизонтальных σ_x напряжений с разным расстоянием очистного забоя до выработки представлена на рис.3.8. Впереди очистного забоя образуется фронтальная зона опорного давления, размеры которой и интенсивность напряжений увеличиваются с каждым последующим шагом. Так, если на первом этапе расчета размеры данной области достигали 6 – 8 м в высоту и 5 – 7 м в ширину с концентрацией сжимающих напряжений до 10 МПа, то на втором этапе напряжения достигали уже 16 – 20 МПа с размерами зоны 10 – 12 м в ширину и 8 – 10 м в высоту. Последний этап расчета характеризуется наиболее интенсивными последствиями проявления горного давления, когда размеры зоны опорного давления увеличились еще на 20% до 12 – 14 м в ширину и 10 – 12 м в высоту, что сопровождалось ростом напряжений выше 20 МПа. Ослабление физико-механических характеристик породных слоев в связи с обильной обводненностью на данном участке приводит к превышению предела сопротивления материалов на сжатие.



а)



б)



в)

Рис.3.8. Эпюры горизонтальных напряжений σ_x породного массива в условиях обводненности: а – 14м от очистного забоя до выработки; б – 7м от очистного забоя до выработки; в – очистной забой находится на уровне центральной оси выработки

В кровле угольного пласта на протяжении всего эксперимента фиксируются области с концентрациями растягивающих напряжений на достаточно обширных участках массива, достигающие 10 – 12 мощностей угольного пласта. Такое явление связано с просадкой пород кровли в выработанное пространство позади очистного забоя. В местах обрушения консолей зависания основной кровли образуются зоны перегиба в каждом породном слое, где сжимающие и растягивающие напряжения меняются местами, переходя соответственно с нижней в верхнюю часть слоя и наоборот.

Вокруг выработки отмечается относительно небольшая концентрация сжимающих напряжений порядка 4 – 7 МПа, за исключением угольного пласта, где происходит растяжение в диапазоне 1 – 3 МПа, на расстояние 2 – 3 м в каждую сторону от выработки.

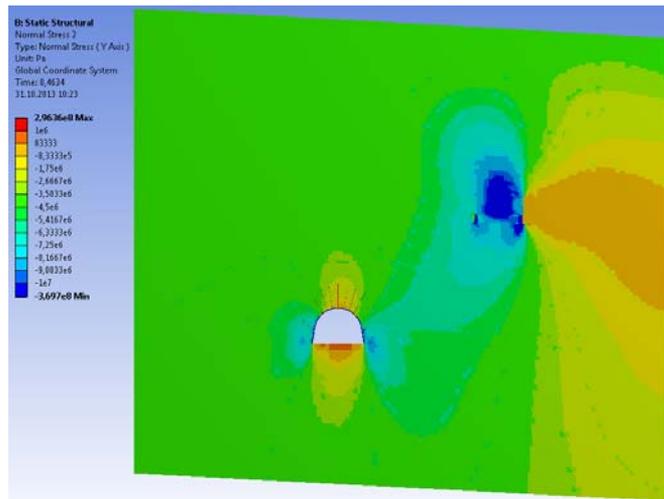
Дополнительно необходимо проанализировать эпюры вертикальных напряжений σ_y , представленные на рис. 3.9. Наиболее характерно здесь представлена фронтальная зона опорного давления впереди очистного забоя. На первом этапе эксперимента размеры данной зоны достигают 5 – 7 м в ширину и 7 – 9 м в высоту, при концентрации сжимающих напряжений свыше 20 МПа. С каждым последующим шагом расчета происходит увеличение размеров области примерно на 10%.

Вокруг выработки НДС массива также значительно меняется в зависимости от расположения очистного забоя. На первом этапе распределение напряжений имеет вполне типичный характер для подготовительной выработки. В боках образуются зоны опорного давления до 3 м в ширину и 4 – 5 м в высоту со сжимающими напряжениями в диапазоне 6 – 8 МПа. В кровле и почве появляются зоны разгрузки, где образуются растягивающие напряжения в пределах 1,5 МПа.

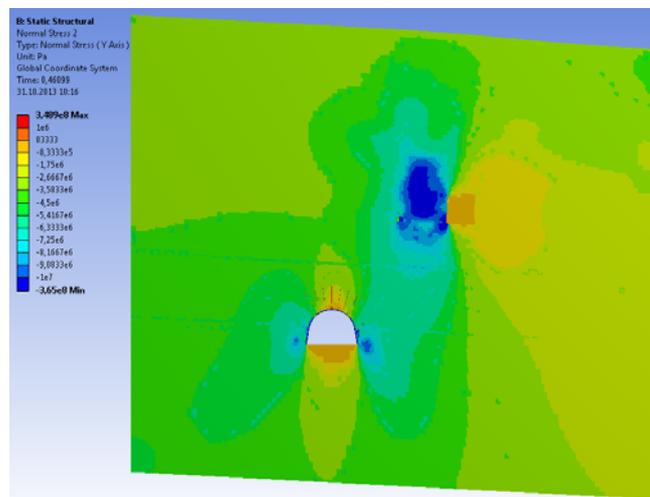
При приближении очистного забоя происходит объединение фронтальной зоны опорного давления впереди забоя и в боках выработки. В результате чего происходит распространение сжимающих напряжений в диапазоне 7 – 10 МПа на значительную площадь массива. Данная область занимает все пространство между угольным пластом и выработкой и достигает 10 – 12 м в ширину и примерно столько же в высоту. При этом отмечается увеличение интенсивности пучения пород почвы в выработку, что характеризуется увеличением концентрации растягивающих напряжений.

Эпюра интенсивности напряжений σ (рис. 3.10) является производной предыдущих двух эпюр и отражает наиболее полную картину НДС породного массива. Все основные области интенсивного распределения напряжений были описаны выше, поэтому остановимся только количественных показателях НДС массива для последнего этапа (рис. 3.10, в), как индикатора наиболее сложных условий поддержания выработки.

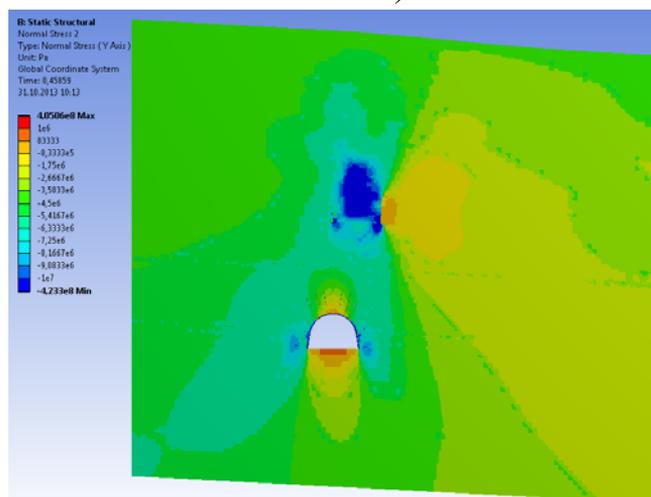
Фронтальная зона опорного давления впереди забоя распространяется на высоту до 10 м и ширину 5 – 7 м с характерным уклоном в кровле в сторону выработанного пространства в связи с проседанием пород кровли в образовавшуюся полость. Концентрация напряжений возрастает от 20 до 30 МПа и выше, в зависимости от участка.



a)

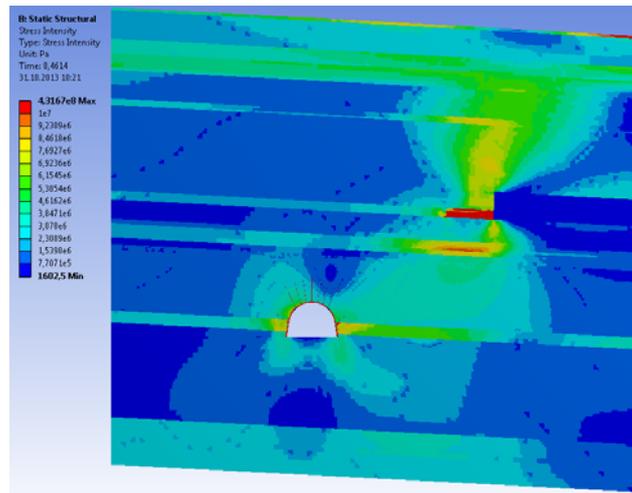


б)

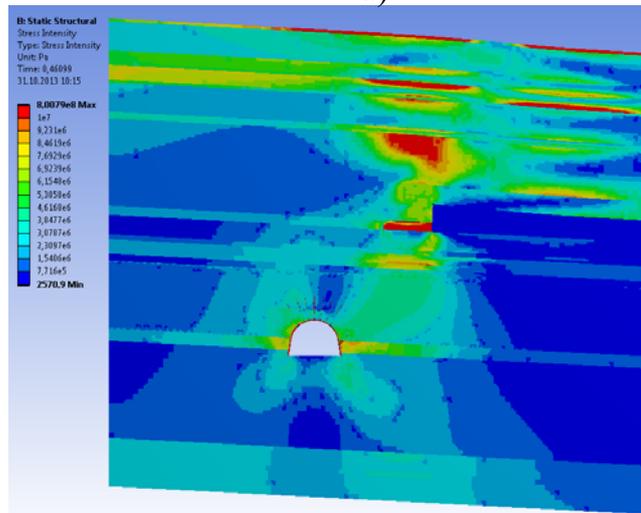


в)

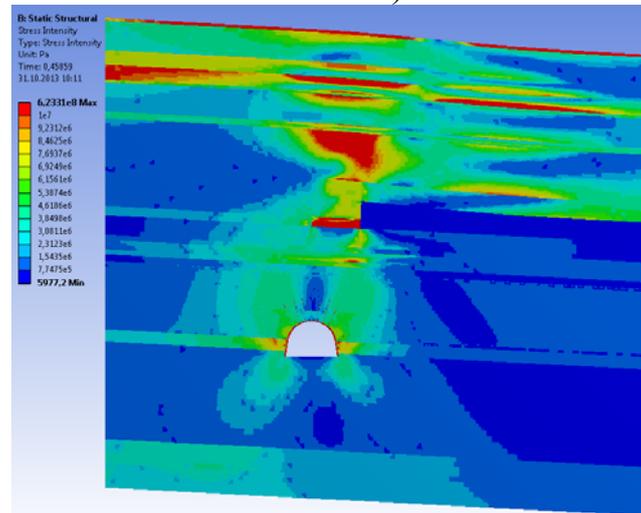
Рис.3.9. Эпюры вертикальных напряжений σ_y породного массива в условиях обводненности: а – 14м от очистного забоя до выработки; б – 7м от очистного забоя до выработки; в – очистной забой находится на уровне центральной оси выработки.



а)



б)



в)

Рис.3.10. Эпюры интенсивности напряжений σ породного массива в условиях обводненности: а – 14м от очистного забоя до выработки; б – 7м от очистного забоя до выработки; в – очистной забой находится на уровне центральной оси выработки.

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

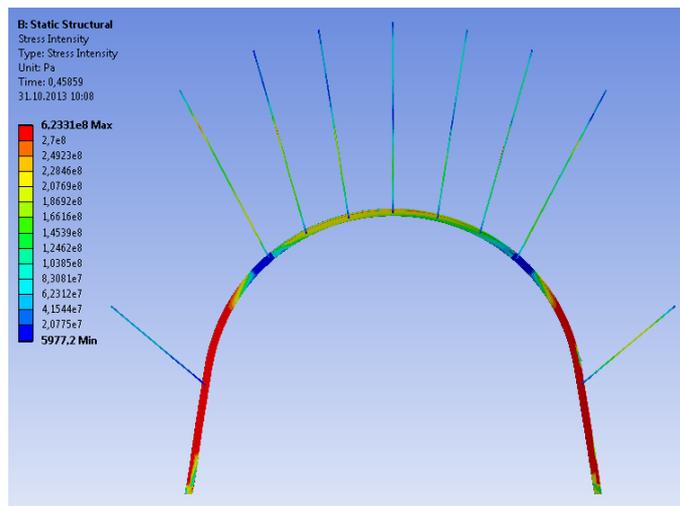
В боках выработки зоны опорного давления достигают 5 – 7 м в высоту и 3 – 5 м в ширину, при концентрации напряжений в диапазоне 15 – 20 МПа. При этом происходит объединение с фронтальной зоной опорного давления впереди забоя, в связи с чем, залегающие между угольным пластом и выработкой слои подвергаются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

Для получения полной картины влияния НДС горного массива на выработку необходимо проанализировать состояние рамного и анкерного крепления установленного в штреке. Для этого используем эпюры интенсивности напряжений σ для трех основных этапов расчета (рис. 3.11).

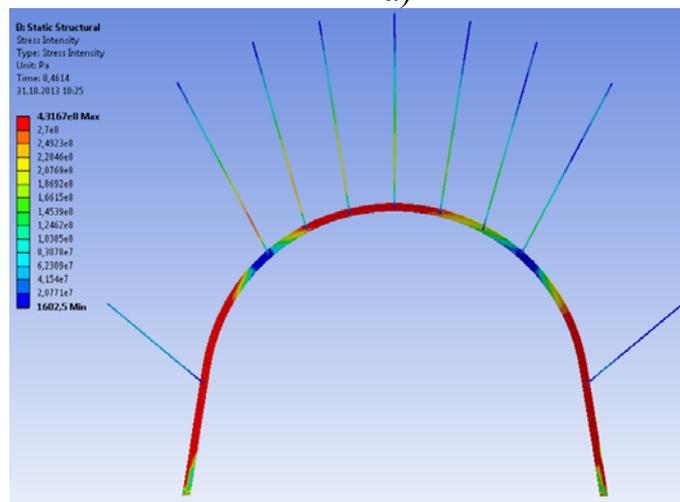
Для начала рассмотрим рамную крепь, стойки которой, на всех трех этапах расчета, значительно нагружены. Это связано с давлением боковых пород, а также в связи с передачей давления на верхняк через податливый элемент. Напряжения в стойках находятся на границе предела прочности стали 270 МПа. Верхняк крепи на первом этапе расчета (рис. 3.11, *a*) подвергается напряжениям, не превышающим 200 МПа, при этом уже на данном этапе образуется область с более высокими концентрациями, которая локализуется со смещением в сторону, противоположную приближению забоя. Асимметрия распределения напряжений в верхняке с каждым последующим расчетом только усиливается, при этом размеры существенно не изменяются, занимая 2 – 2,5 п. м, в отличие от напряжений, которые повысились до 270 МПа.

Боковые анкера нагружены достаточно слабо, не зафиксированы напряжения, превышающие 100 МПа. Анкера, установленные в кровле, более эффективно участвуют в процессе поддержания выработки. В распределении напряжений присутствует аналогичная с рамой асимметрия, смещение напряжений в противоположную сторону подхода очистного забоя. В данной области анкера на 80% своей длины подвергаются напряжениям в диапазоне 180 – 220 МПа. В отдельных местах, очевидно, в местах образования продольных трещин в массиве и сдвигения породы относительно друг друга происходит повышение напряжений до максимальных 270 МПа, что может свидетельствовать о возможной деформации стального стержня в данном участке. Три анкера со стороны подхода забоя нагружены достаточно слабо, на уровне с боковыми анкерами, напряжения не превышают 120 МПа.

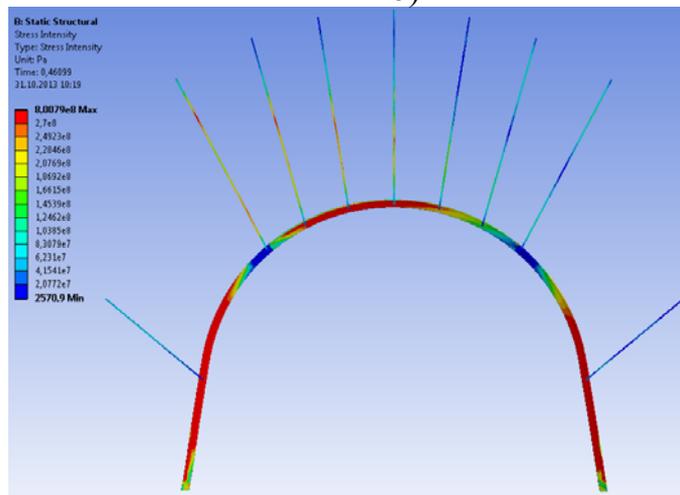
Результаты исследований позволяют получить максимально полную картину НДС массива и крепления выработки в условиях наработки. На основании проведенных экспериментов можно с высокой степенью объективности определить недостатки применяемой системы крепления, что будет положено в основу для разработки рациональной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



a)



б)



в)

Рис.3.11. Эпюры интенсивности напряжений σ крепления выработки в условиях обводненности: а) 14м от очистного забоя до выработки; б) 7м от очистного забоя до выработки; в) очистной забой находится на уровне центральной оси выработки.

3.4 Шахтные наблюдения за состоянием дренажного вентиляционного штрека пл. С₄² шахты «Самарская» при его периодической наработке.

При проведении шахтных наблюдений состояния дренажного вентиляционного штрека (ДВШ) пл. С₄² шахты «Самарская» установлено, что выработка проводилась в два этапа с большим временным интервалом и существенными технологическими различиями.

Первая часть штрека была проведена в 1994 г. (ПК0 – ПК111+1) (рис. 3.12). Непосредственно над этой частью выработки были оставлены целики в ходе отработки 535, 537, 539, 541, 543 и частично 545 лав. Использовалась крепь типа КШПУ 14,4 с рамным профилем СВП-22. Шаг установки 0,5 м.

В ходе длительного использования выработки в сложных условиях практически полного затопления, а также интенсивного горного давления при отработке лавами вышележащего пласта С₅ произошло значительное уменьшение сечения выработки. На указанном участке дренажного вентиляционного штрека крепь потеряла свою несущую способность, площадь поперечного сечения не соответствует требуемым параметрам, состояние рельсового пути неудовлетворительное. Для дальнейшей безопасной эксплуатации выработки необходимо произвести перекрепление отдельных ее участков.

Паспортом (рис. 3.13) проведения данных работ предусмотрено:

– перекрепление прямолинейных участков дренажного вентиляционного штрека пласта С₄² (ПК17+3 м – ПК24+8 м, ПК35+8 м – ПК38+3 м, ПК51+7 м – ПК52+6 м, ПК54+5 м – ПК57) крепью КШПУ-11,7 с шагом установки рам крепи 0,5 м;

– перекрепление прямолинейных участков дренажного вентиляционного штрека пласта С₄² (ПК0+5 м – ПК0+7 м, ПК17+1 м – ПК17+3 м, ПК35+6 м – ПК35+8 м, ПК54+3 м – ПК54+5 м) крепью КШПУ-11,7 с шагом установки рам крепи 0,33 м;

– перекрепление участка дренажного вентиляционного штрека пласта С₄² с ПК 28+1 м – ПК33+1 м крепью КШПУ-15,0 с шагом установки рам крепи 0,5 м и устройство разминовки;

– перекрепление четырех узлов сопряжений дренажного вент.штрека с выемочными штреками. На участке с ПК76+3 м по ПК0+5 м с 4201 бортовым, с ПК15+9 м по ПК17+1 м с 4201 сборным, с ПК34+4 м по ПК35+6 м с 4203 бортовым и с ПК53+1 м по ПК54+3 м с 4203 сборным штреком. Крепь сопряжений №3 (СЗ.КС.000 для сечений 11,2-11,7м²).

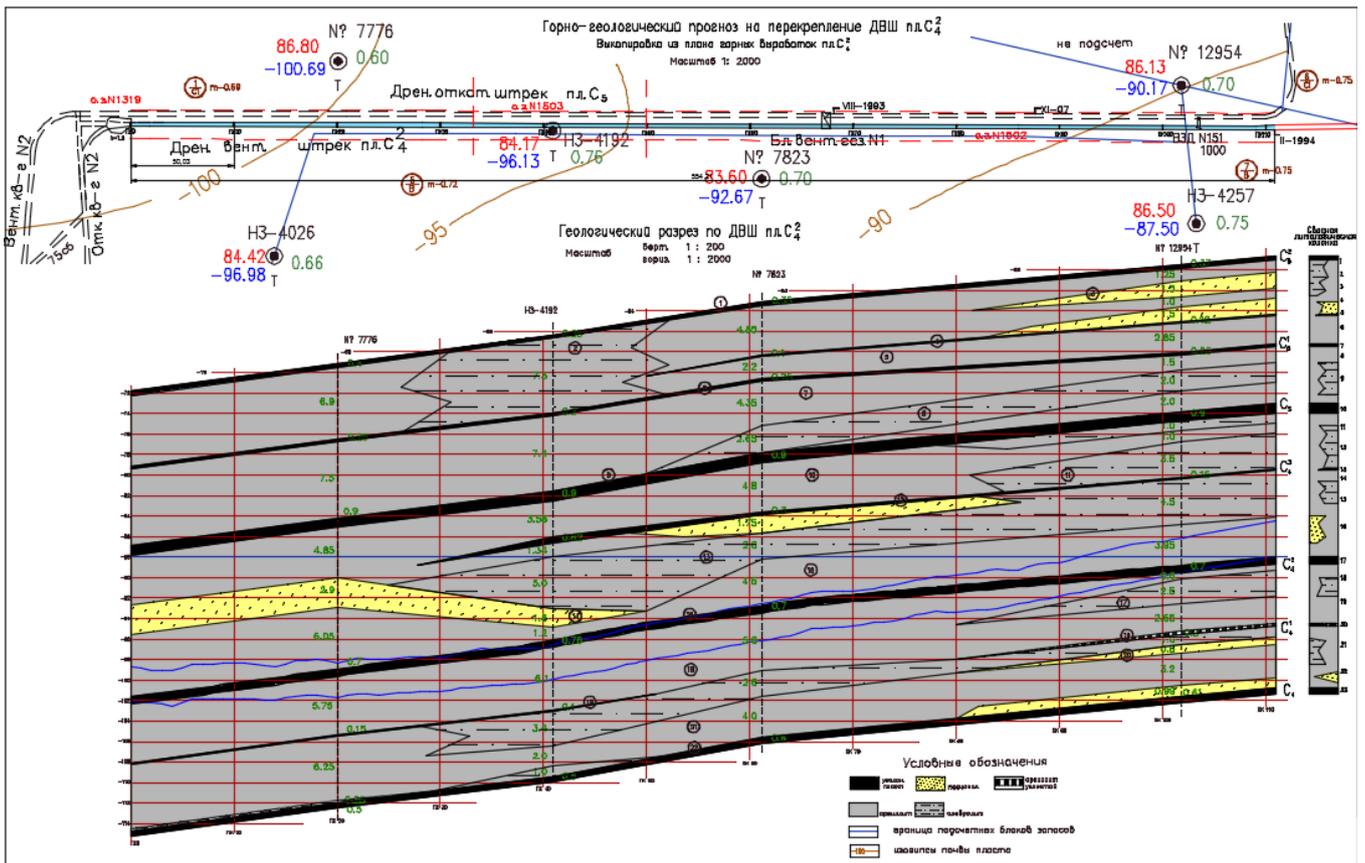


Рис.3.12. Горно-геологический прогноз на перекрепление ДВШ (ПК0-ПК111)

На основе данных о перекреплении первого участка выработки можно сделать вывод, что первоначальная система крепления не смогла обеспечить эффективное поддержание выработки на протяжении всего срока службы. Для продления срока службы дренажного вентиляционного штрека с учетом необходимости ведения очистных работ по пласту С₄² производится перекрепление выработки. Паспорт разработан в соответствии с требованиями «ПБ в угольных шахтах», ПТЭ, комплекта стандартов предприятия на перекрепление выработки СП77.07.000-89 – 77.07.008-89, 77.01.009-90, а также других нормативных документов. Однако, несмотря на соответствие паспорта нормативным документам, даже в пределах прямолинейного участка выработки в разных местах применяются разные схемы установки крепи. Изменяется шаг установки, тип крепи, выборочно применяются анкера. Очевидно, отсутствует единый подход к выбору рациональных параметров крепления подобного типа выработок.

Для установления полной картины состояния крепления дренажного вентиляционного штрека рассмотрим вторую часть выработки, пройденную в 2011 г. (рис. 3.14). Выработка проведена в опасных зонах по обрушению пород кровли, которые характеризуются слабым внутри- и межпластовым сцеплением, поэтому в местах смены литологического состава пород кровли возможны обрушения. В интервале ПК164-ПК192 на высоте до 2,5 м от кровли выработки залегает обводненный угольный пласт С₄³ мощностью от 0,38 до 0,56 м и обводненный песчаник мощностью до 1,8 м.

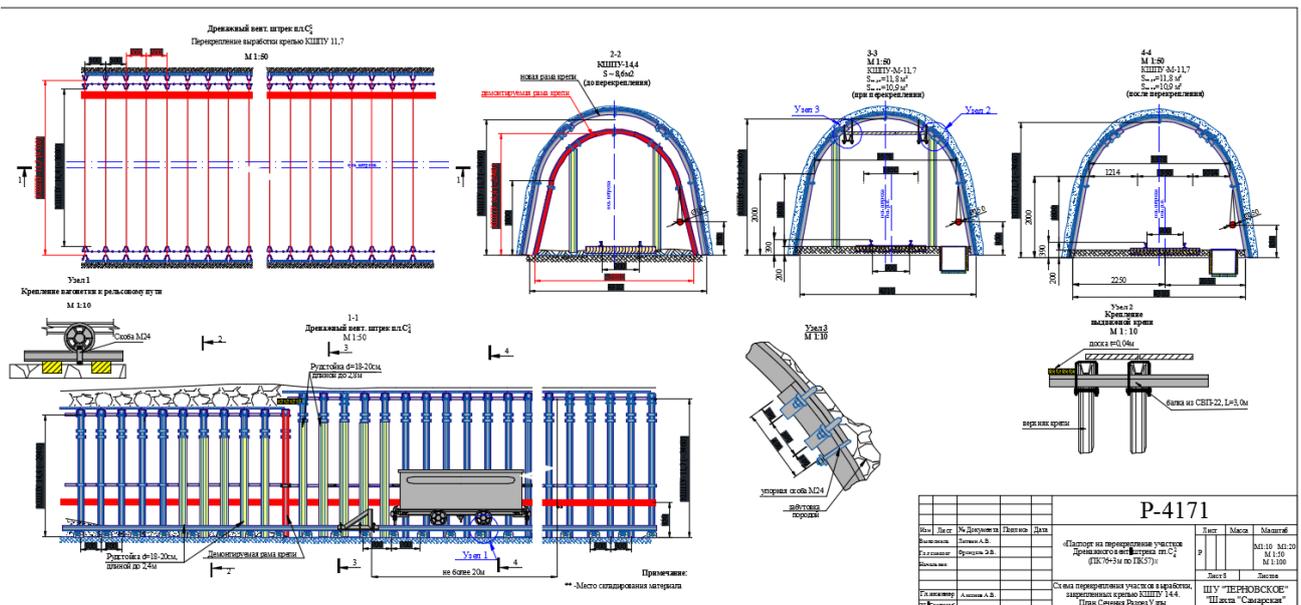


Рис. 3.13. Паспорт перекрепления участков дренажного вентиляционного штрека

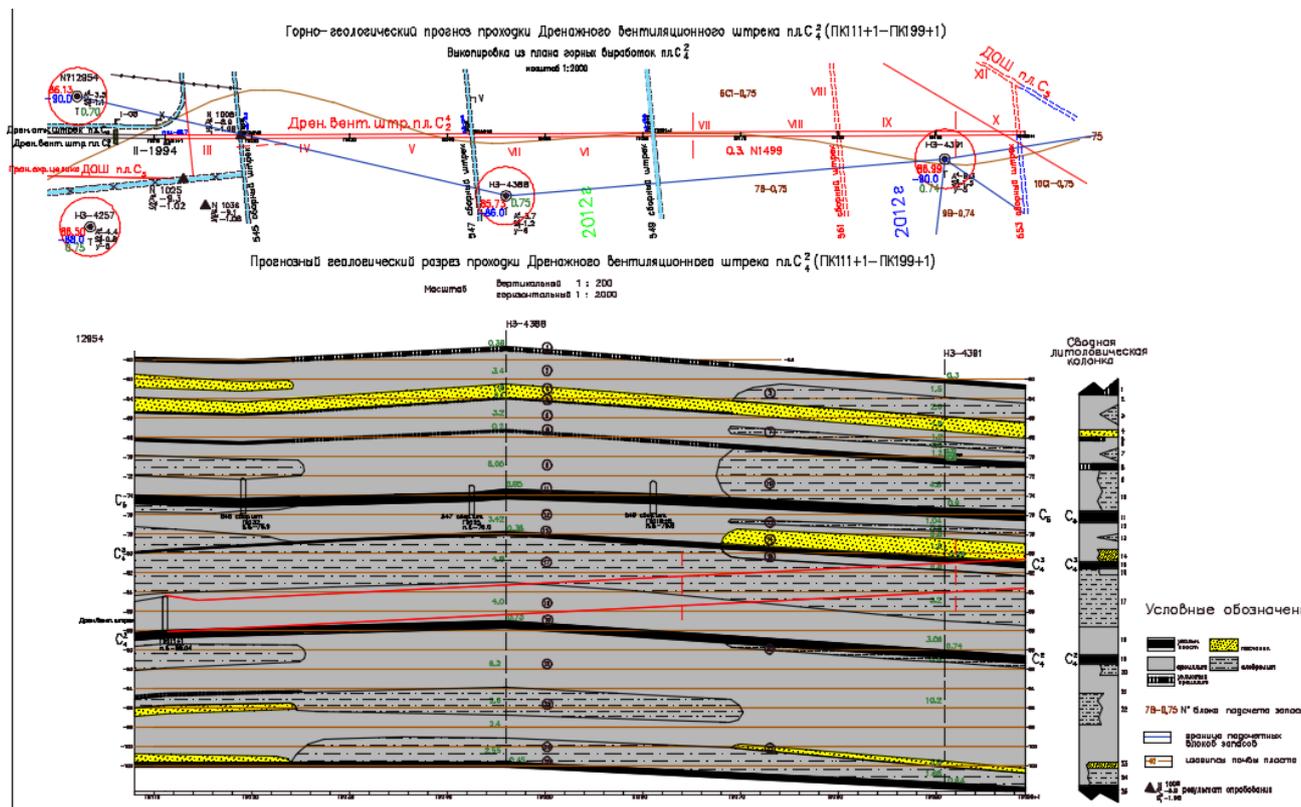


Рис. 3.14. Горно-геологический прогноз проходки ДВШ (ПК111+1-ПК199+1)

Породы непосредственной почвы при увлажнении быстро размокают, теряя прочностные свойства. Обводненность выработки достигает $10 \text{ м}^3/\text{ч}$, и это не считая водопритока, поступающего по дренажным скважинам с выемочных выработок пласта C_5 .

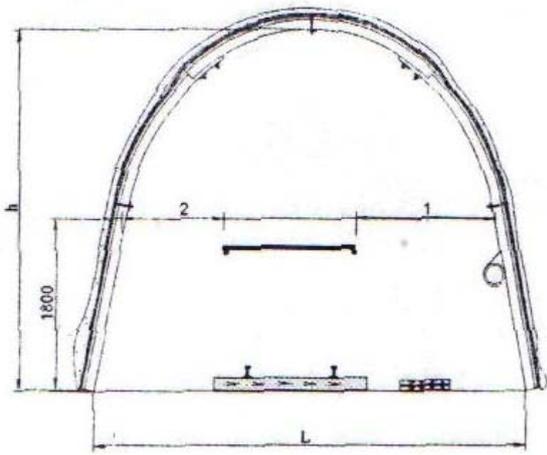


Рис. 3.15. Схема замеров состояния выработки

Для точного определения изменения контура выработки были проведены замеры состояния ДВШ (рис. 3.15). В результате получены данные по параметрам: L – ширина, h – высота, 1, 2 – зазоры, определена площадь сечения выработки путем введения коэффициента остаточной площади сечения 0,81. Точки замеров привязаны к пикетам для более удобного и точного ориентирования относительно расположения вышележащих выемочных столбов. На основе полученных данных построены

графики разницы первоначальных и текущих параметров высоты, ширины и сечения выработки, а также изменения размеров зазоров отдельно для первой и второй частей выработки.

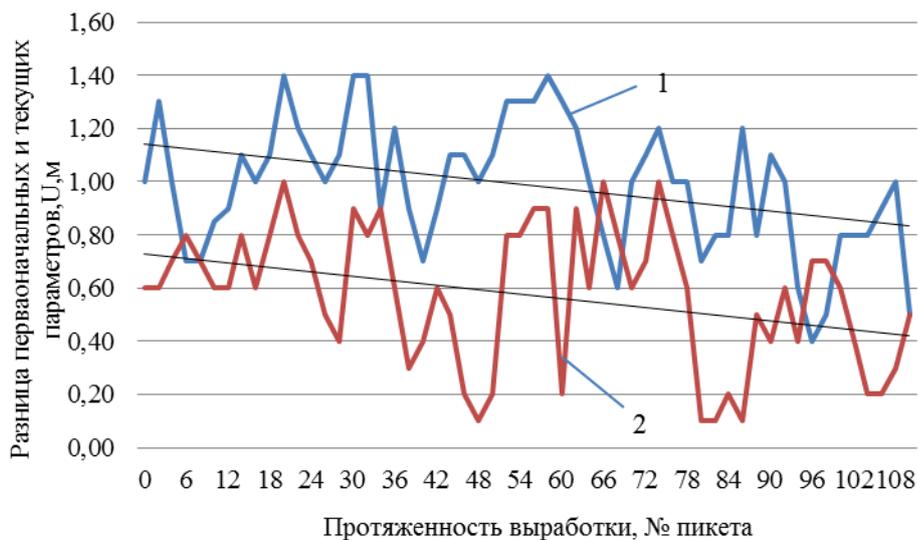


Рис. 3.16. Разница первоначальных и текущих параметров L – ширины (2) и h – высоты (1) (ПК0-ПК110)

При анализе графика изменения ширины и высоты для участка ПК0 – ПК110 (Рис. 3.16) можно отметить неравномерное изменение размеров выработки по всей протяженности. На данном участке использовалась крепь типа КШПУ-14,4 с профилем СВП-27. Изменение ширины выработки колеблется в диапазоне от 0,1 до 1,0 м, что в среднем составляет 0,58 м или 12,61% от начальной ширины выработки в свету. Изменение высоты выработки имеет несколько большие размеры. Уменьшение высоты выработки в свету происходит в диапазоне от 0,4 м до 1,40 м, что в среднем составляет 0,99 м или 27,5% от начальной высоты.

Добавление линий тренда для каждого параметра на графике указывает на присутствие тенденции к уменьшению параметра U с приближением к ПК110. Такая зависимость связана с временным фактором проведения очистных работ по пласту C_5 , когда участки выработки под лавами, которые были отработаны раньше, находятся в худшем состоянии.

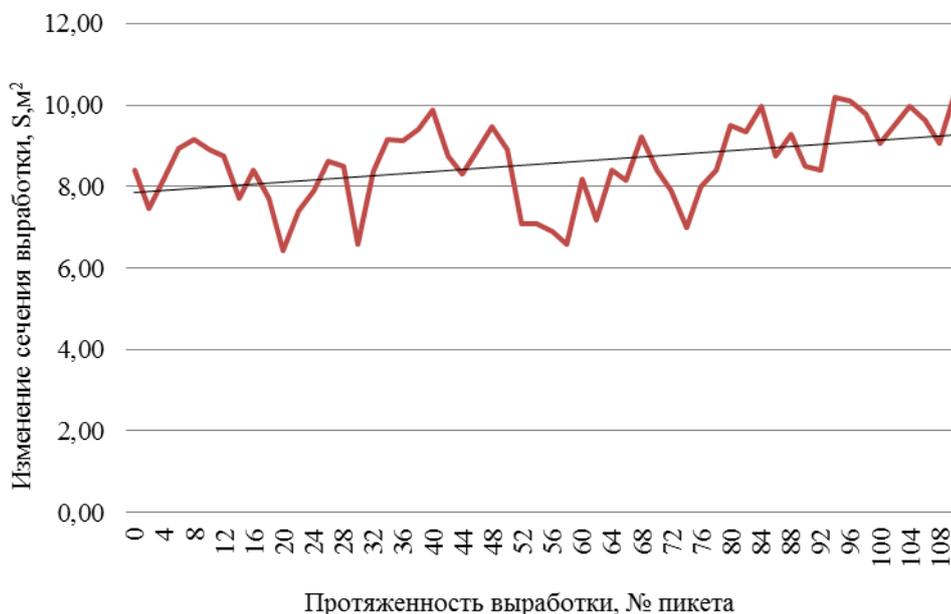


Рис. 3.17. Текущая площадь поперечного сечения выработки (ПК0-ПК110)

На графике (рис. 3.17) представлено изменение текущего состояния сечения выработки на участке ПК0-ПК110. Колебание сечения выработки происходит в диапазоне от 6,4 до 10,3 м², что в среднем составляет 8,56 м² или 60,71% от исходного сечения в свету. Общая тенденция изменения сечения выработки коррелирует с тенденцией изменения ширины и высоты, связанной с увеличением сечения выработки в сторону ПК110.

В соответствии с «Правилами безопасности у вугільних шахтах» для передвижения людей по выработкам предусмотрен проход шириной не менее 700 мм. Согласно данным графика (рис. 3.18) очевидно, что имеется целый ряд участков, где данная норма нарушена и зазоры меньше допустимого значения. В результате размеры зазора 1 в среднем по длине данного участка выработки составили 0,68 м или 47,72% от первоначального размера. Размеры зазора 2 составили в среднем 1,01 м или 82,45% от начального размера. Общая тенденция для зазоров 1 и 2 совпадает, происходит увеличение размера зазоров при приближении к ПК110, что подтверждает общую закономерность для данного участка выработки.

Отдельно проанализировано текущее состояние нового участка выработки (ПК112-ПК142). Здесь используется крепь типа КШПУ-11,7 с профилем СВП-22, а также анкерное крепление. Методика проведения замеров не менялась по сравнению с предыдущим участком.

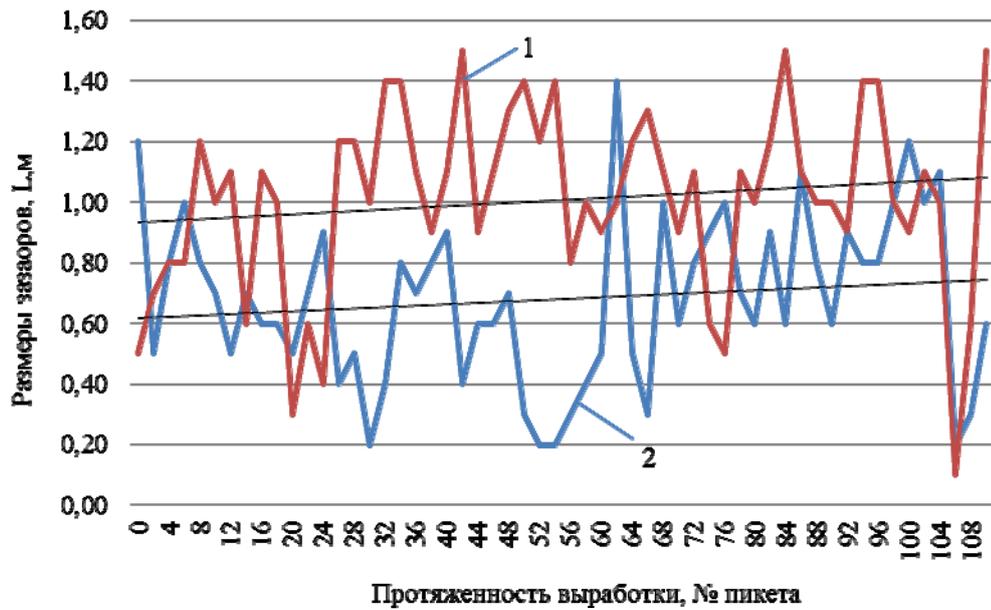


Рис. 3.18. Изменение размеров зазоров (1, 2) относительно рельсового пути (ПК0-ПК110)

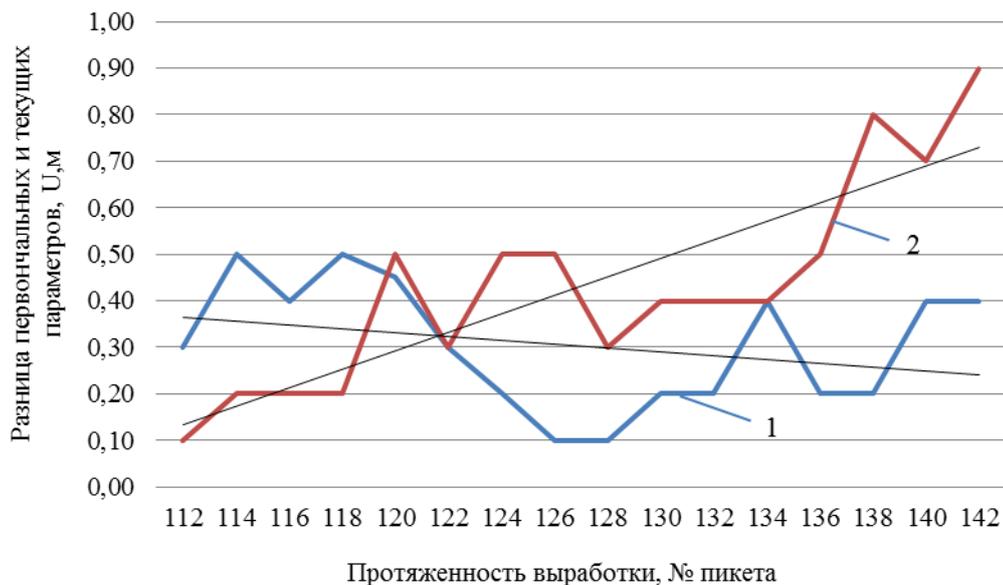


Рис. 3.19. Разница первоначальных и текущих параметров L – ширины (2) и h - высоты (1) (ПК112-ПК142)

На графике (рис. 3.19) представлены результаты замеров ширины и высоты участка (ПК112-ПК142) в виде разницы первоначальных и текущих параметров. Сразу стоит отметить, что в абсолютных величинах размеры выработки уменьшились гораздо менее существенно по сравнению с более старым участком. Изменение ширины выработки колеблется в диапазоне 0,1 – 0,9 м, при этом средний показатель равен 0,43 м или 10% от первоначального размера. Высота выработки изменялась в диапазоне 0,1 – 0,5 м, что в среднем составило 0,3 м или 8,82% от исходного. Анализ полученных данных дает

неоднозначные результаты, так как отсутствует ярко выраженный тренд, отмеченный на предыдущем участке.

Тенденции изменения размеров выработки по ширине и высоте имеют разнонаправленные вектора. Это связано с тем, что над некоторыми участками выработки очистные работы уже были проведены определенное количество времени назад, и НДС породного массива уравнилось после перераспределения. В то же время над другими участками очистные работы ведутся в данный момент, а над участками с минимальными деформациями контура выработки очистные работы еще не проводились. С учетом данных обстоятельств необходимо рассматривать и остальные критерии оценки состояния данного участка выработки.

Диапазон изменения текущего состояния сечения (рис. 3.20) данного участка выработки достаточно узкий и колеблется в диапазоне 8,26 – 10,69 м², что в среднем составляет 9,7 м² или 83,62% от исходного состояния. Если учесть, что данный участок выработки был пройден в 2011 г., то потеря 16,38% сечения в среднем не является критической. Однако если учитывать высокую обводненность окружающих пород, то тенденция в уменьшению сечения будет продолжаться, т.к. в таких условиях говорить о достижения равновесного состояния не приходится.



Рис. 3.20. Текущая площадь поперечного сечения выработки (ПК112-ПК142)

График состояния зазоров по бокам рельсового пути (рис. 3.21) показывает достаточно хорошее состояние мест прохода для людей, которые практически по всей длине участка выработки соответствуют нормам. Средняя ширина зазора 1 составила 0,88 м, а зазора 2 – 1,13 м, что менее чем на 10% отклоняется от начального значения. При этом тенденция уменьшения размеров зазоров соответствует тенденции уменьшения сечения и направлена в сторону ПК142.

Предназначением дренажного вентиляционного штрека является прием избыточного водопритока в лаву, обрабатывающую пласт C_5 . Для выполнения поставленной задачи между выемочными выработками пласта C_5 и дренажным вентиляционным штреком проведены дренажные скважины, которые служат для сброса воды с верхнего горизонта. Учитывая незначительное количество данных скважин относительно протяженности выработки, их влияние на геомеханическое состояние массива не учитывалось.

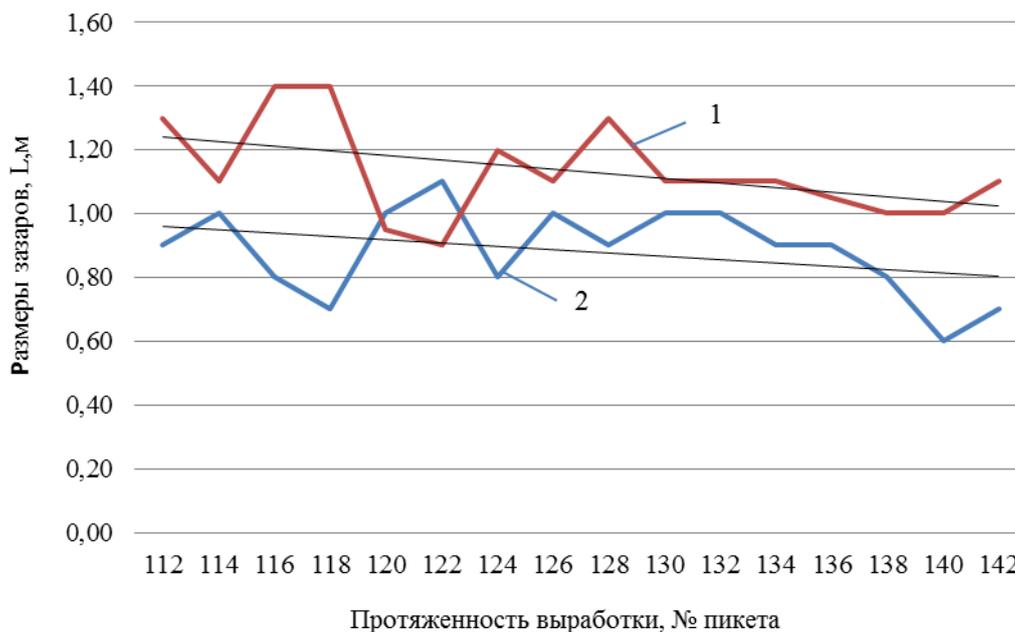


Рис. 3.21. Изменение размеров зазоров (1, 2) относительно рельсового пути (ПК112-ПК142)

На рис. 3.23 представлены фотоматериалы, на которых показано состояние дренажного вентиляционного штрека в момент прохода над ним очистного забоя. Как видно из представленных материалов, в целом выработка частично сохранила свою пригодность для пропуска воздуха и приема воды с вышележащего горизонта. Однако использование рельсового пути, а также проход людей значительно затруднен или невозможен. Влияние горного давления на выработку привело к деформации контура, ситуативно установленные стойки крепи усиления существенно не исправили ситуацию. В результате вывалов горной породы деформирована сетка. Наибольшее влияние оказывает сильный водоприток, который провоцирует размокание пород почвы, что приводит к утрате целостности рельсового пути, а также проседанию стоек рамной крепи. Для поддержания выработки в рабочем состоянии происходит постоянная откачка воды, но даже этого недостаточно, в результате чего часть выработки находится в недоступном для прохода человека состоянии.



Рис. 3.23. Состояние дренажного вентиляционного штрека при надработке

Достоверность полученных результатов. Проанализировав данные шахтных наблюдений, появилась возможность сравнить результаты, полученные в ходе вычислительных экспериментов, с реальными условиями. Для сравнения использованы данные с эпюр перемещений по точкам, аналогичным со схемой замеров для реальной выработки. Полученные графики (рис. 3.24 – 3.26) сгруппированы для удобства анализа.

В результате корреляционного анализа полученных данных установлено, что погрешность между результатами вычислительного эксперимента и натуральных наблюдений колеблется в диапазоне от 15 до 26%. По величине сближения кровли погрешность составляет – 26%, почвы – 21%; уменьшение зазоров составило: 1 – 15%, 2 – 26%; погрешность по параметру потери сечения – 20%. Полученные результаты являются вполне удовлетворительными и подтверждают достоверность проведенных исследований.

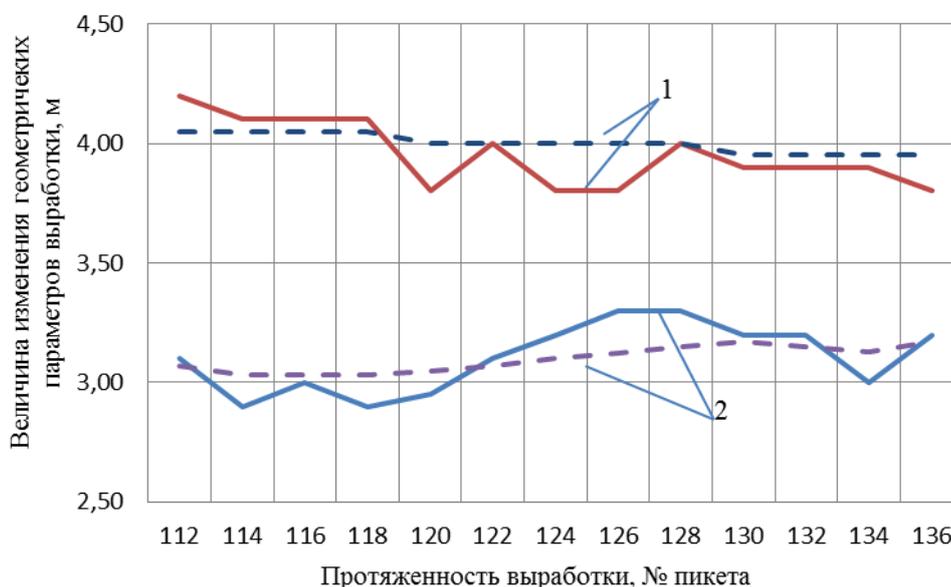


Рис. 3.24. Изменение ширины (1) и высоты (2) выработки по результатам: — натуральных наблюдений; - - - вычислительного эксперимента

В ходе шахтных наблюдений за состоянием дренажного вентиляционного штрека было установлено, что данная выработка проводилась в два этапа с разницей в 17 лет. При этом применялись абсолютно разные типы крепей КШПУ, а также схемы крепления. На данный момент происходит перекрепление «старого» участка выработки, при этом схема перекрепления не соответствует схеме крепления «нового» участка выработки, более того, на разных перекрепляемых участках применяют разные крепежные схемы. В результате можно сделать вывод, что технические решения для выбора средств и схемы крепления данной выработки принимаются ситуативно, в связи с отсутствием нормативных документов для крепления выработок в аналогичных условиях. В результате становится актуальной задача разработки унифицированного подхода к выбору рациональных параметров крепежной системы надрабатываемых выработок, находящихся в условиях обводненности.

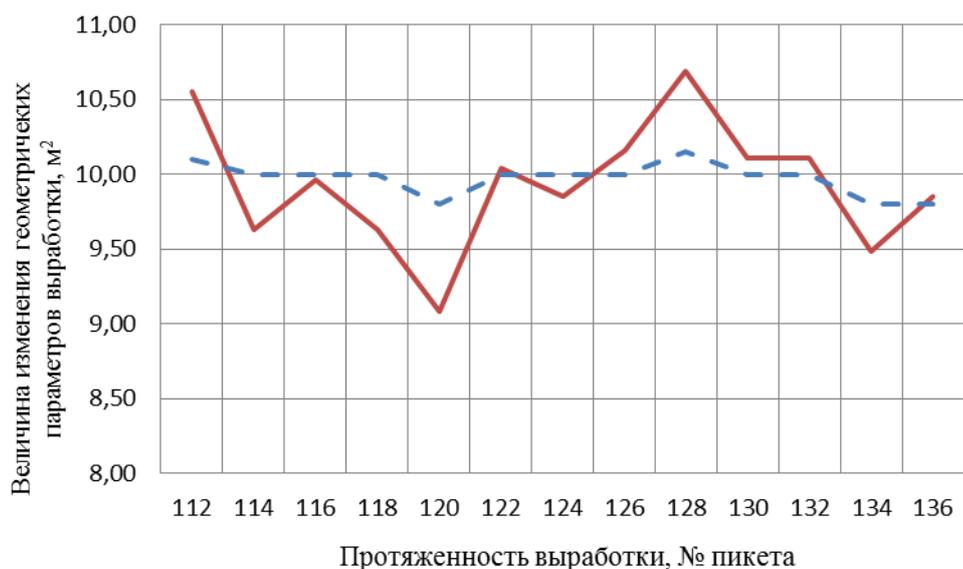


Рис. 3.25. Изменение сечения выработки по результатам: — натурных наблюдений; - - - вычислительного эксперимента

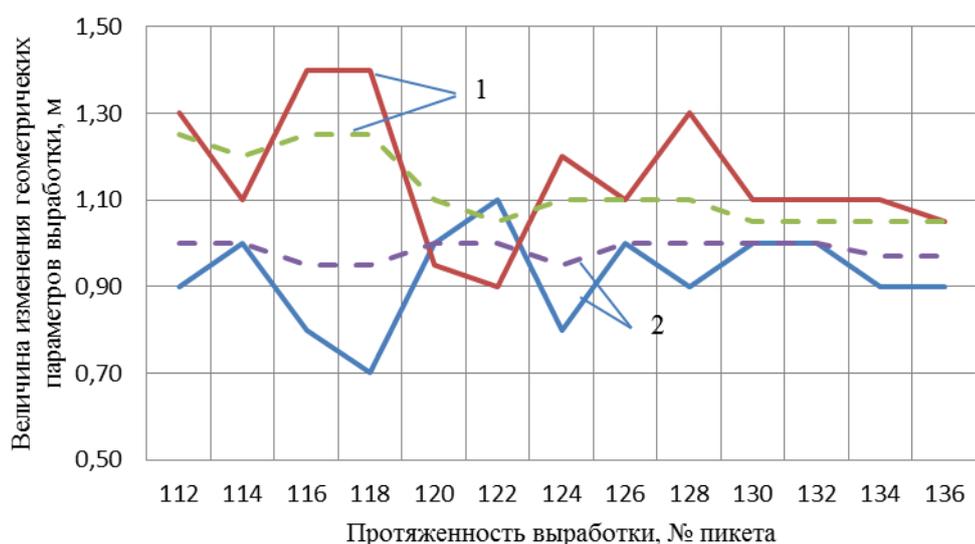


Рис. 3.26. Изменение величины зазоров – 1; 2 по результатам: — натурных наблюдений; - - - вычислительного эксперимента

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

3.5. Определение рационального расположения надрабатываемой выработки в условиях Западного Донбасса

Для определения рациональных параметров расположения выработок, над которыми будут проводиться очистные работы, проведен ряд исследований. Основная цель состояла в определении рациональной глубины расположения выработки относительно угольного пласта. В результате проведена серия вычислительных экспериментов на базе метода конечных элементов. За основу взята уже использовавшаяся ранее модель, которая соответствует условиям проведения и системе крепления дренажного вентиляционного штрека шахты «Самарская». В результате были проведены эксперименты с разной глубиной расположения выработки. При этом модель спроектирована таким образом, что очистной забой находится непосредственно над выработкой. Это позволяет оценить влияние зоны опорного давления впереди забоя на выработку при разной глубине заложения.

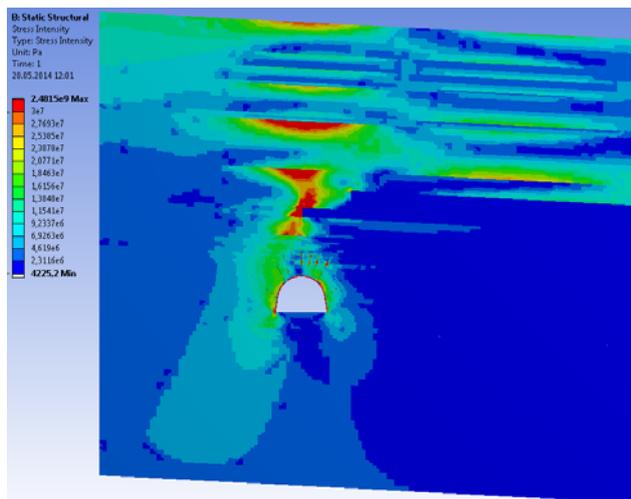
Для детального анализа напряженно-деформированного состояния породного массива при надработке подготовительной выработки использованы эпюры интенсивности σ , вертикальных σ_y и горизонтальных σ_x напряжений.

На рис. 3.27 представлены эпюры интенсивности σ шести этапов расчета с увеличением расстояния от почвы угольного пласта до центра контура выработки по вертикали h . В ходе ведения очистных работ происходит образование фронтальной зоны опорного давления впереди лавы, которая соединяется с зоной опорного давления в боку выработки в связи расположением штрека в непосредственной близости от угольного пласта.

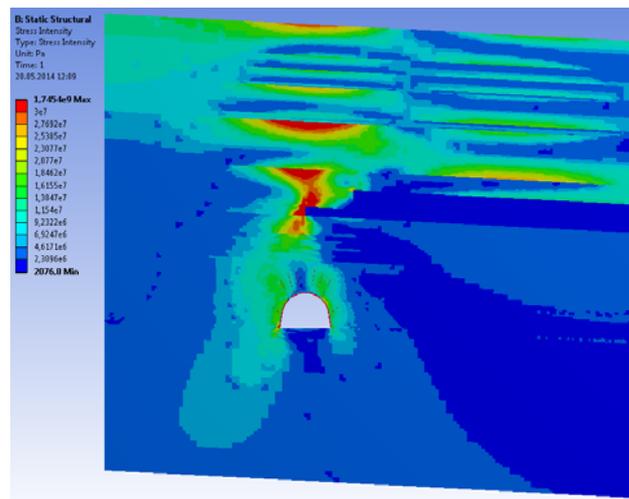
В зависимости от изменения расстояния от выработки до угольного пласта изменяются размеры области и концентрация напряжений. Так, на рис. 3.24, *a* представлена эпюра с глубиной $h = 6$ м, которая является наименьшей в серии экспериментов. Напряжения достигают 15 – 18 МПа и распространяются на 10 м по высоте и до 2 м по ширине. При удалении от этой области происходит постепенное снижение напряжений до равновесного состояния массива.

Вполне закономерно, что с каждым последующим этапом эксперимента происходит снижение взаимовлияния зон опорного давления впереди лавы и в боку выработки. Это способствует снижению напряжений в боках выработки, а также в породных слоях, находящихся между двумя областями.

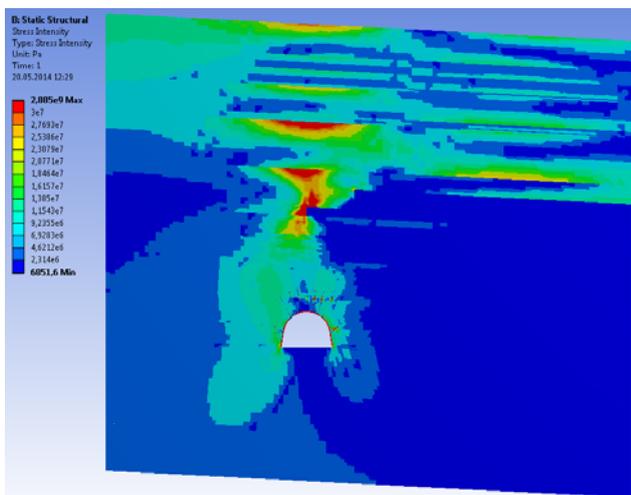
При глубине заложения $h = 10$ м (Рис. 3.27, *в*) от забоя до выработки происходит разделение зон опорного давления, что выражается снижением напряжений в слоях между выработкой и угольным пластом до 10 – 12 МПа. Такая концентрация напряжений является допустимой даже в условиях слабых пород Западного Донбасса и не приводит к разрушению целостности породного массива.



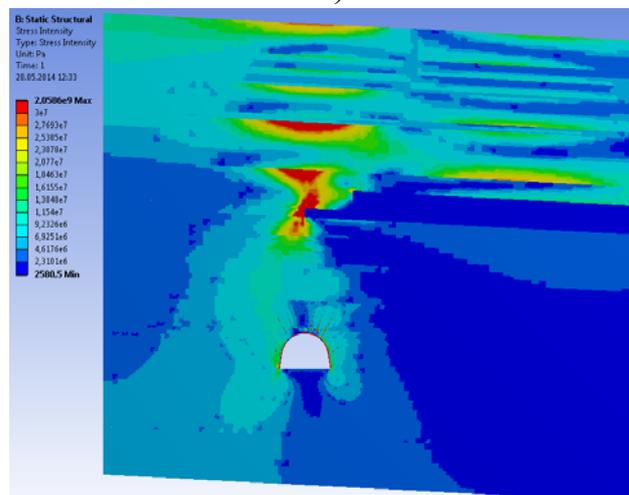
а)



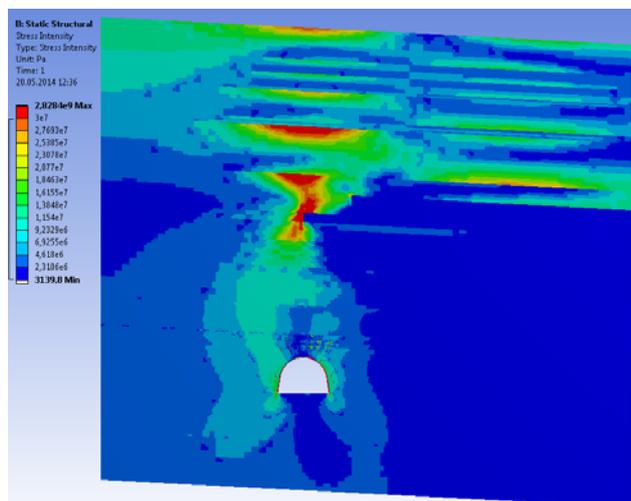
б)



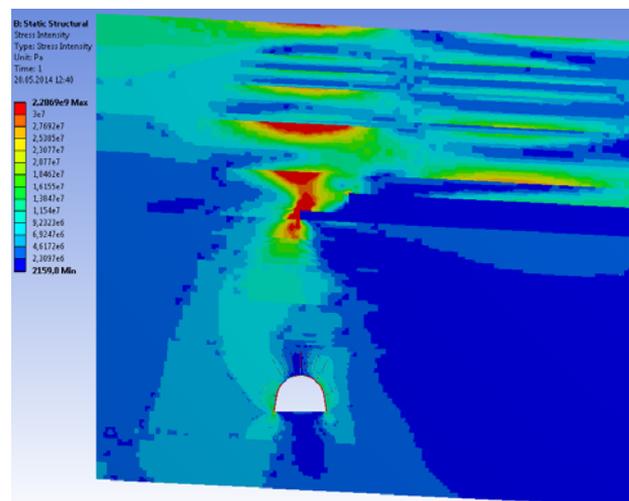
в)



г)

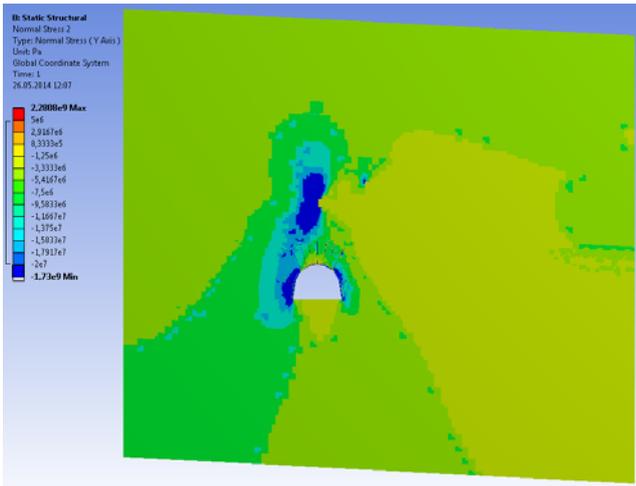


д)

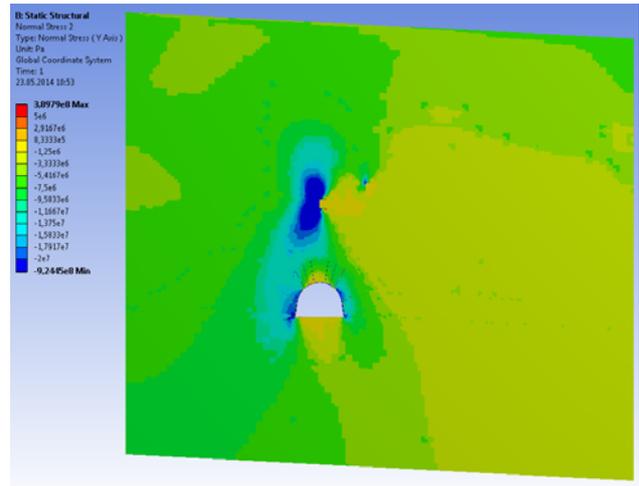


е)

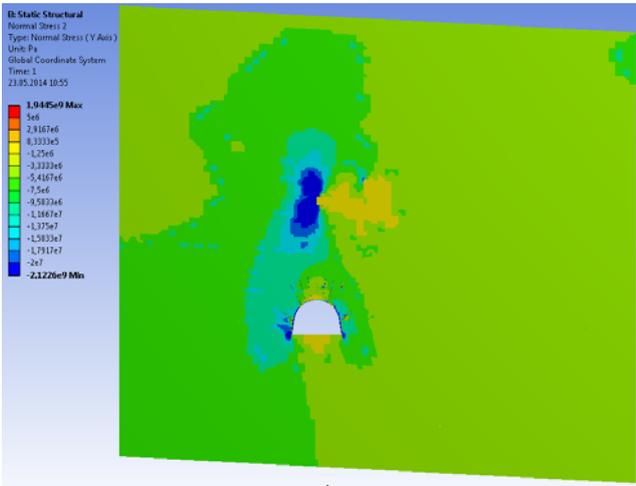
Рис. 3.27. Эпюры интенсивности σ напряжений породного массива при разной глубине проведения выработки относительно угольного пласта: а – 6 м; б – 8 м; в – 10 м; г – 12 м; д – 14 м; е – 16 м



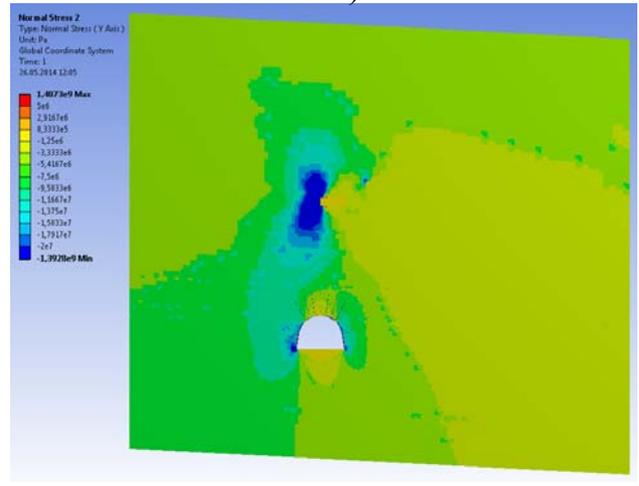
а)



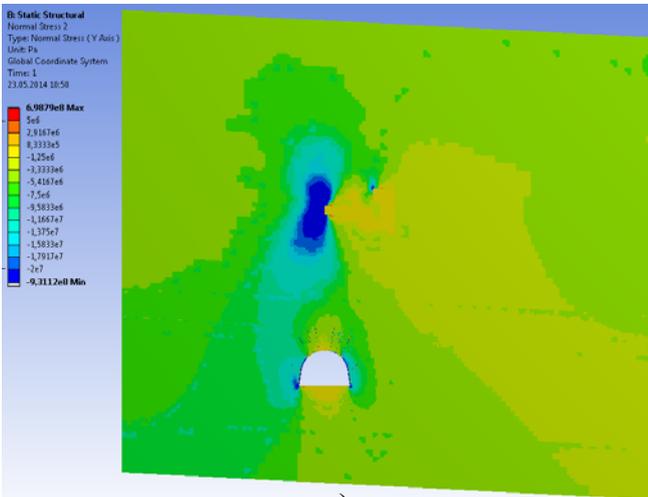
б)



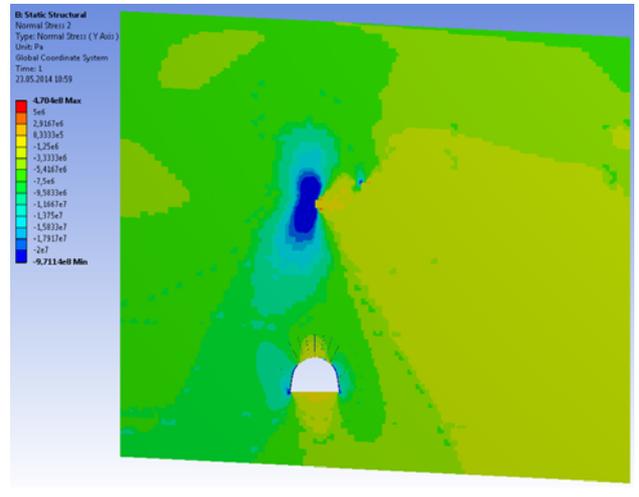
в)



г)



д)



е)

Рис. 3.28. Эпюры вертикальных σ_y напряжений породного массива при разной глубине проведения выработки относительно угольного пласта: а – 6 м; б – 8 м; в – 10 м; г – 12 м; д – 14 м; е – 16 м

С увеличением глубины (рис. 3.27, *г,д,е*) тенденция к снижению концентрации напряжений между угольным пластом и выработкой продолжается, что является вполне ожидаемым.

Эпюры распределения вертикальных σ_y напряжений (рис. 3.28) подтверждают отмеченную ранее тенденцию. Впереди очистного забоя образуется зона опорного давления. При этом размеры данной области с изменением глубины проведения выработки изменяются незначительно. В среднем распределение сжимающих напряжений свыше 20 МПа достигает по ширине 5 – 6 м и 8 – 10 м по высоте.

Однако в зависимости от расположения выработки относительно угольного пласта изменяется распределение напряжений в приконтурном массиве выработки. Это выражается в изменении размеров и концентрации напряжений в зонах опорного давления в боках выработки. На рис. 3.29 приведены графики изменения данных областей для разной глубины проведения выработки. Зоной опорного давления считается область синего цвета на эпюре, которая соответствует концентрации сжимающих напряжений 20 МПа и выше. Такая величина выбрана с учетом свойств горных пород для шахт Западного Донбасса.

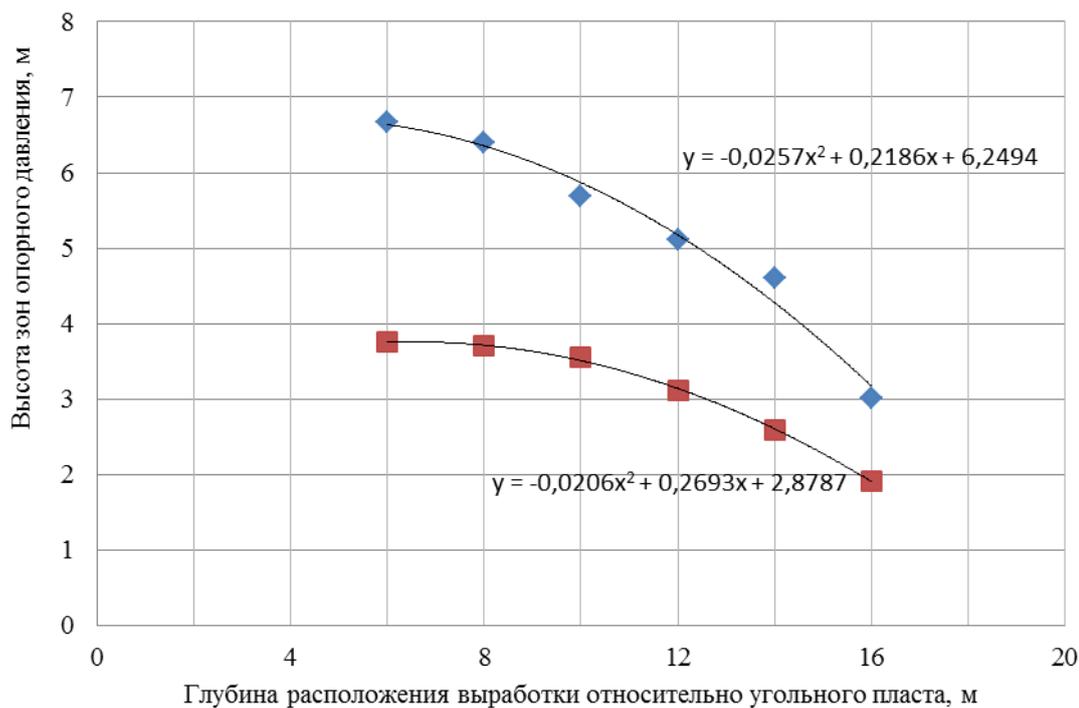


Рис. 3.29. Изменение высоты зон опорного давления в боках выработки: 1 – левый бок; 2 – правый бок

Анализ зон опорного давления показывает, что с увеличением глубины проведения выработки уменьшаются их размеры. Это вполне закономерный процесс, учитывая снижение влияния зоны опорного давления впереди забоя. При этом главной особенностью является неравномерность данного процесса, который в левом и правом боку выработки происходит с разной

интенсивностью. Изначально размеры зоны опорного давления в правом боках выработки составляли 6,67 м, что на 2,92 м (43,78%) больше, чем слева – 3,75 м. Снижение размеров данных зон происходило неравномерно. Если на втором этапе расчета, по сравнению с первым, уменьшение зоны в правом боку составило всего 1,33% до 3,7 м, а в левом боку – 4,05% до 6,4 м, то на третьем и последующих этапах динамика значительно увеличилась. Так, уменьшение зоны опорного давления в левом боку выработки на третьем этапе составило 11,1% по сравнению со вторым; на четвертом 10,2% к третьему; на пятом 9,98% к четвертому, а на шестом 34,35% к пятому. В то же время в правом боку выработки ситуация несколько отличается. На третьем этапе размеры уменьшились на 4,05% по сравнению со вторым; на четвертом на 12,11% к третьему; на пятом на 16,99% к четвертому; на шестом на 25,87% к пятому. В результате значительное снижение размера рассматриваемой зоны происходит в правом боку, начиная с четвертого этапа $h = 12$ м, а в левом боку, начиная с третьего этапа $h = 10$ м. При этом наиболее резкий скачек в левом и правом боках происходит при переходе с пятого на шестой этап на 34,35% и 25,87% соответственно. В целом, по сравнению с первым этапом, в левом боку выработки зона опорного давления уменьшилась на 3,65 м (54,72%), а в правом боку на 1,83 м (48,8%). После чего разница между левым и правым боками составила 1,1 м (36,42%).

Отдельно следует рассмотреть изменение размеров зоны разгрузки в кровле выработки, которая также является одним из важных индикаторов изменения напряженно-деформированного состояния массива. На графике рис. 3.30 показана динамика изменения высоты данной зоны при разной глубине расположения выработки.

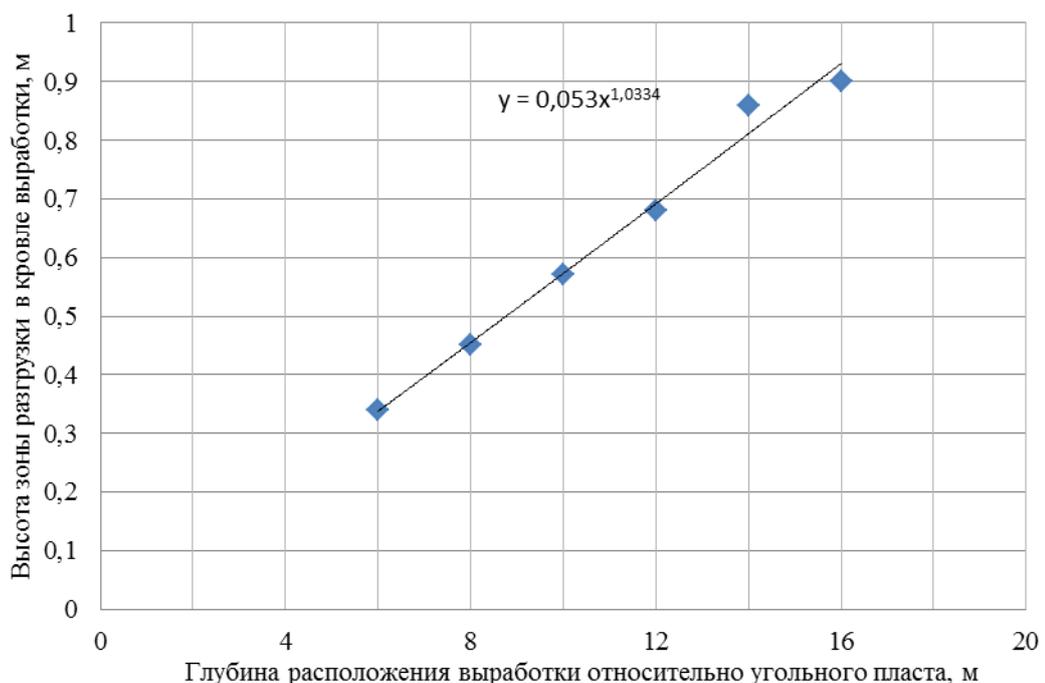


Рис. 3.30. Высота зон разгрузки в кровле выработки

На первом этапе эксперимента при глубине 6 м зафиксирована наименьшая высота распространения растягивающих напряжений – 0,34 м. Это связано с непосредственной близостью зон опорного давления, которые оказывают влияние на кровлю и бока выработки. Далее происходит практически линейная зависимость увеличения высоты зоны разгрузки от глубины расположения выработки вплоть до глубины $h = 14$ м. Увеличение высоты зоны разгрузки на каждом из первых четырех этапов составляло 0,11 – 0,12 м по сравнению с предыдущим. Наиболее значительный рост произошел при переходе на глубину $h = 14$ м, где высота зоны составила 0,86 м по сравнению с 0,68 м на предыдущем этапе, что на треть больше ранее зафиксированной динамики роста. При переходе на глубину 16 м произошло увеличение высоты зоны всего на 0,4 м, что свидетельствует о затухании интенсивного распределения растягивающих напряжений и достижения области разгрузки в кровле выработки своей естественной величины.

В ходе эксперимента установлено увеличение зоны разгрузки в кровле выработки с 0,34 м на первом этапе расчета до 0,9 м на последнем, в результате данная зона увеличилась на 0,56 м или на 62,22%.

При анализе эпюр горизонтальных σ_x напряжений (рис. 3.31) особое внимание следует уделить породным слоям в кровле угольного пласта. Показаны области сжимающих и растягивающих напряжений в каждом слое. При этом над очистным

забоем сжимающие напряжения распределяются в нижней половине слоя, а растягивающие в верхней. Данная область занимает примерно 12 – 15 м по ширине и достигает верхней границы модели по высоте. Позади очистного забоя формируется выработанное пространство, куда происходит обрушение сначала непосредственной кровли, а после просадка и обрушение консолей основной кровли. Над выработанным пространством сжимающие и растягивающие напряжения меняются местами в связи с провисанием породного массива в образовавшуюся пустоту. Эпюры горизонтальных напряжений позволяют установить границу зависящей породной консоли, которая находится в месте перегиба слоев.

Концентрация сжимающих напряжений повышается и в породном массиве, разделяющем угольный пласт и контур выработки. Наиболее интенсивно распределение напряжений происходит на пересечении анкерами границ литологических разниц, что обуславливается сдвижением породных слоев относительно друг друга и защемлением анкерной арматуры. Исходя из анализа эпюр, можно сделать вывод, что максимальное влияние сжимающих напряжений происходит при глубине $h = 6$ м, где практически все анкера кровли попадают в зону влияния повышенных напряжений. С увеличением глубины происходит постепенное снижение концентрации и размеров области сжимающих напряжений вокруг анкерного крепления выработки. Однако полное исключение анкеров из области влияния напряжений происходит только на последнем этапе расчета $h = 16$ м.

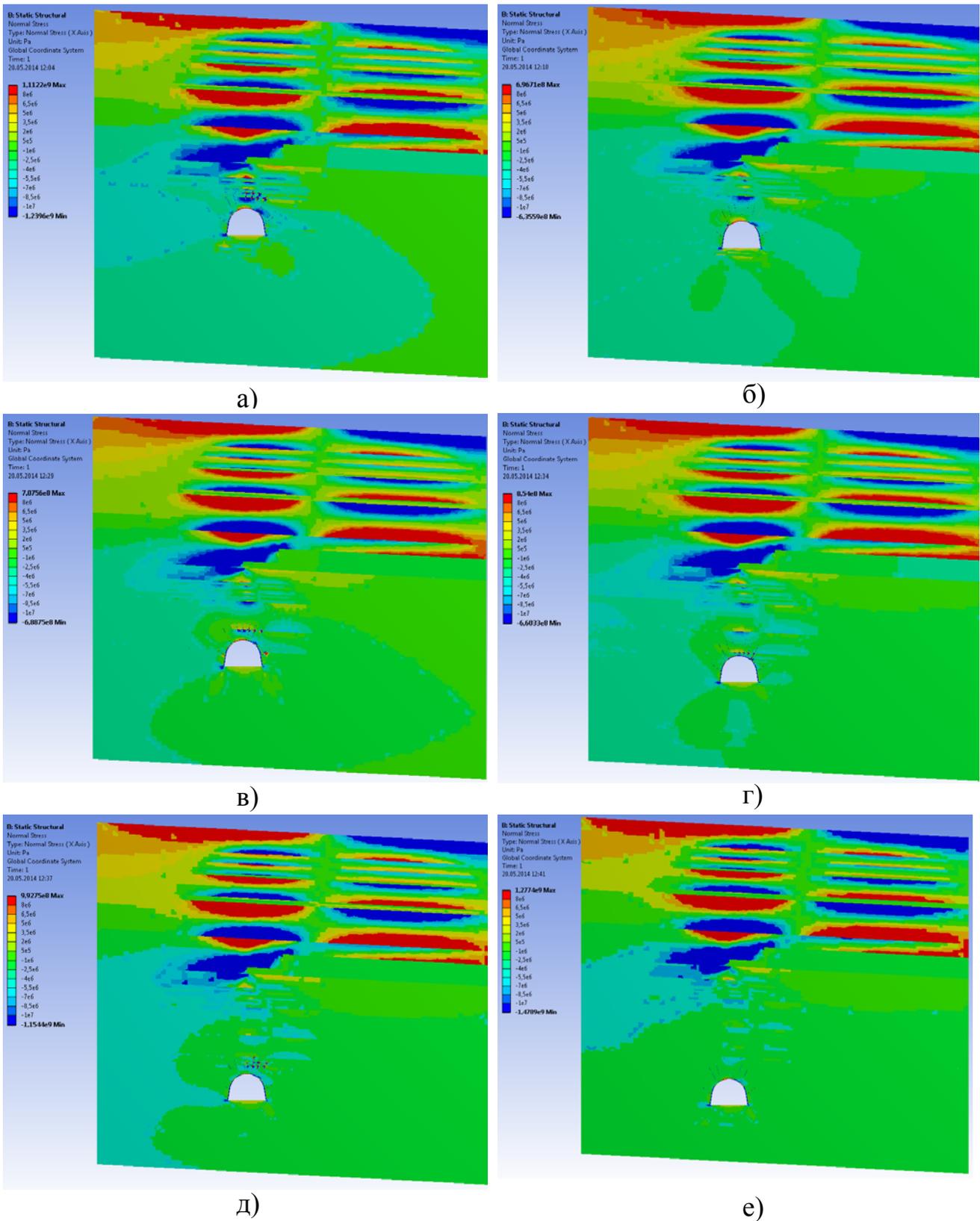
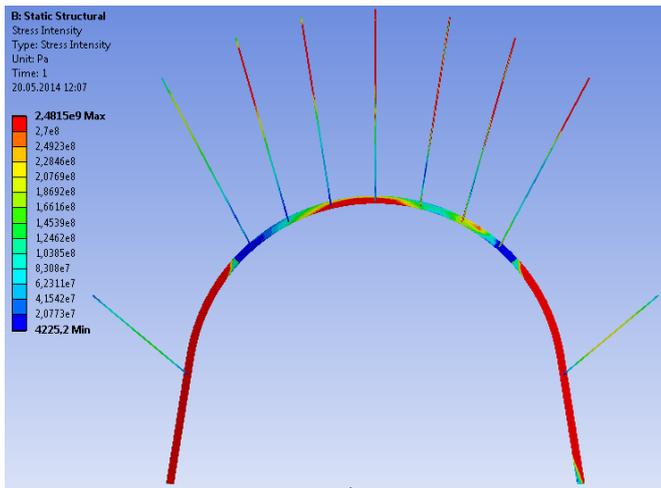
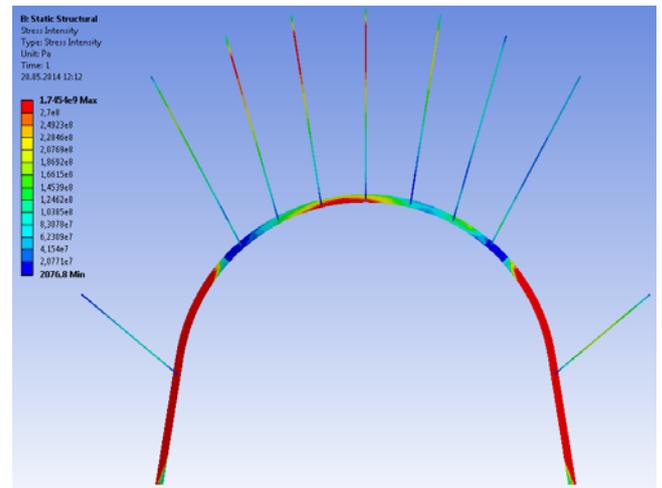


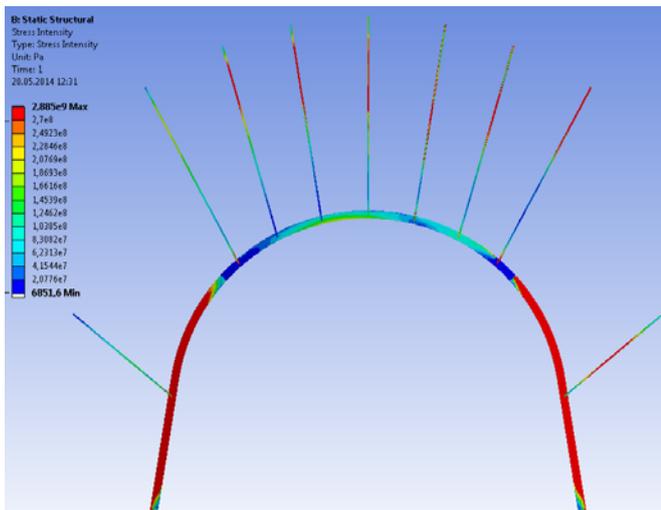
Рис. 3.31. Эпюры горизонтальных σ_x напряжений породного массива при разной глубине проведения выработки относительного угольного пласта: а – 6 м; б – 8 м; в – 10 м; г – 12 м; д – 14 м; е – 16 м



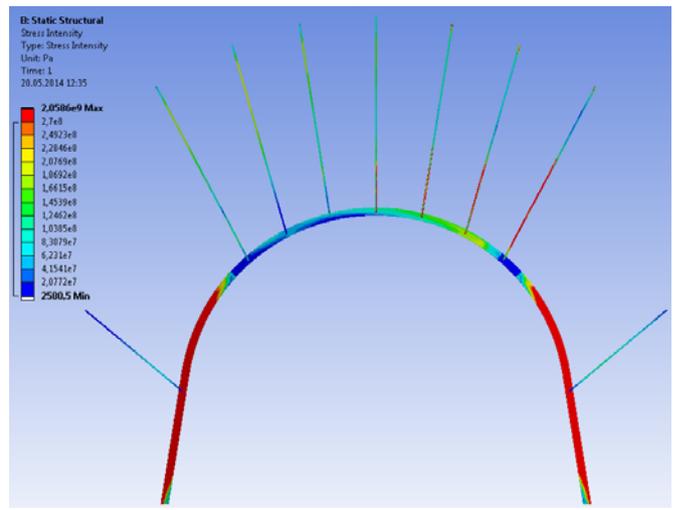
а)



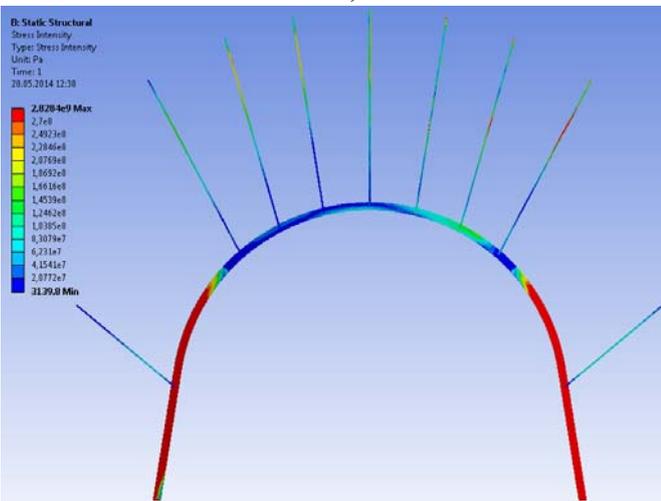
б)



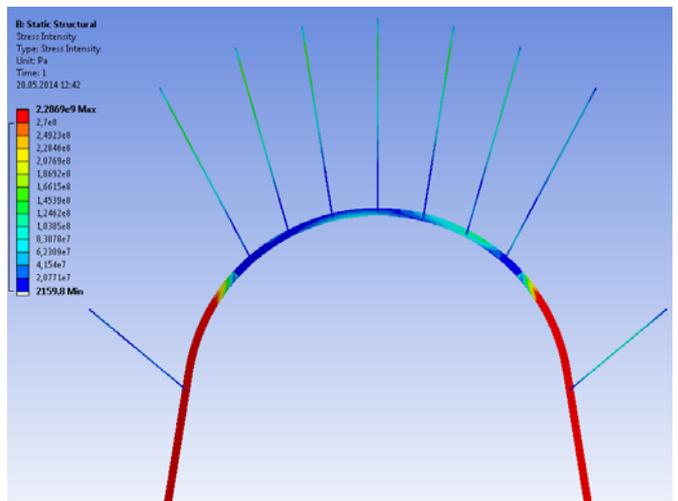
в)



г)



д)



е)

Рис. 3.32. Эпюры интенсивности напряжений σ рамного и анкерного крепления при разной глубине проведения выработки относительного угольного пласта: а – 6 м; б – 8 м; в – 10 м; г – 12 м; д – 14 м; е – 16 м

Наиболее важным критерием оценки влияния очистных работ на надрабатываемую выработку при разной величине h является состояние системы крепления. В исследуемом дренажном штреке применяется комбинация рамной и анкерной крепей, которые устанавливаются с постоянным шагом 1 м. Построенная модель полностью соответствует паспорту крепления выработки. На рис. 3.32 представлены эпюры интенсивности σ рамного и анкерного креплений при разной глубине проведения выработки. В связи с тем, что в данной конфигурации отсутствует прямое взаимодействие между элементами анкерного и рамного креплений, рассмотрим каждый из типов крепления отдельно.

Для анализа влияния очистных работ на НДС анкерного крепления учитывались размеры области максимально допустимых напряжений, достигающие предела текучести используемой стали $\sigma_{\max} = 270$ МПа по каждому анкеру для всех этапов эксперимента. Для удобства построена гистограмма (рис. 3.33), отображающая размеры данных областей.

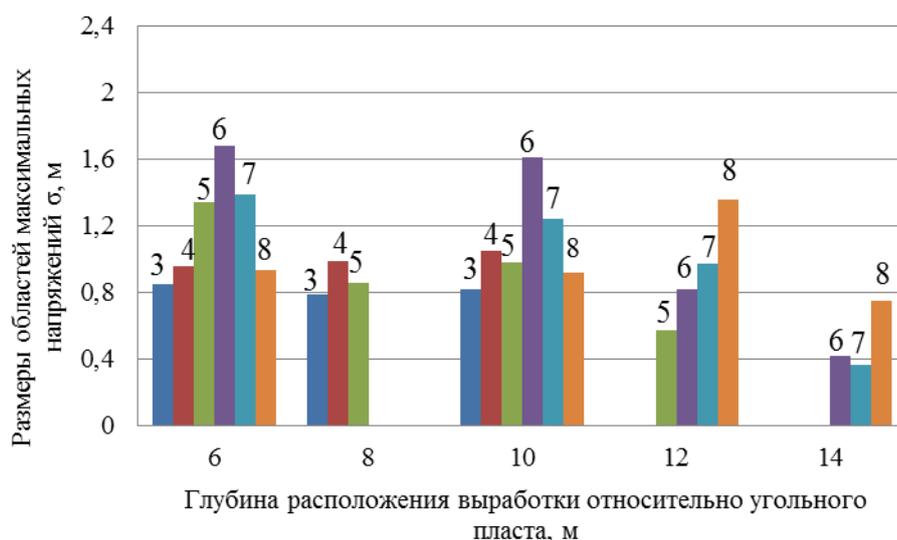


Рис. 3.33. Влияние изменения h на размеры области σ_{\max} в анкерах 3 – 8.

На графике представлены анкера 3 – 8 для глубин $h = 6 – 14$ м. Это связано с тем, что в анкерах 1,2,9 отсутствуют области с напряжениями, достигающими значение σ_{\max} . Также при глубине $h = 16$ м напряжения в анкерах значительно снижаются, и подобные зоны отсутствуют вовсе. Следует отметить, что зачастую области σ_{\max} образуются в местах контактов литологических разностей, что свидетельствует о сопротивлении анкеров сдвигению породных слоев относительно друг друга.

В результате анализа эпюр анкерного крепления установлено, что наибольшее распространение областей σ_{\max} отмечено при глубине проведения выработки $h = 6$ м, при этом максимальная длина распределения приходится на три центральных анкера, достигая 1,7 м.

С каждым последующим этапом расчета области σ_{\max} уменьшаются, вплоть до снижения напряжений ниже данного уровня. При этом снижение происходит асимметрично. Если на первых этапах наиболее нагружены были центральные анкера, то на глубинах $h = 12$ м и $h = 14$ м произошло смещение на анкера, находящиеся правее от оси. В частности, наибольшие нагрузки стал принимать анкер 8, причем, если при глубине $h = 10$ м, область σ_{\max} для данного анкера составляла 0,9 м, то на следующем этапе выросла до 1,3 м. Это связано с перераспределением НДС в боках выработок и изменением влияния зоны опорного давления очистного забоя, что при различной величине параметра h дает разную картину напряжений.

В результате можно отметить, что наиболее благоприятным по данному параметру является расположение выработки на глубине $h = 16$ м, так как на такой глубине в анкерах полностью отсутствуют области σ_{\max} . Однако напряжения в анкерах на пятом этапе при $h = 14$ м, также не слишком высоки и область σ_{\max} присутствует только в трех анкерах, суммарно не превышая 1,9 м, что является удовлетворительным результатом.

Исходя из данных представленных на эпюрах рис. 3.32, был построен график (рис. 3.34), где для каждого этапа расчета показаны размеры областей распределения напряжений в верхняке рамы.

При анализе полученного графика можно условно выделить три группы с похожим уровнем напряжений. Наиболее высокая концентрация напряжений наблюдается при глубинах $h = 6$ м и $h = 8$ м. Область σ_{\max} распространяется на 1,2 м и 1 м соответственно, после чего начинается равномерное снижение напряжений. Область с максимальными напряжениями образуется в центральной части верхняка с небольшим уклоном в левую сторону.

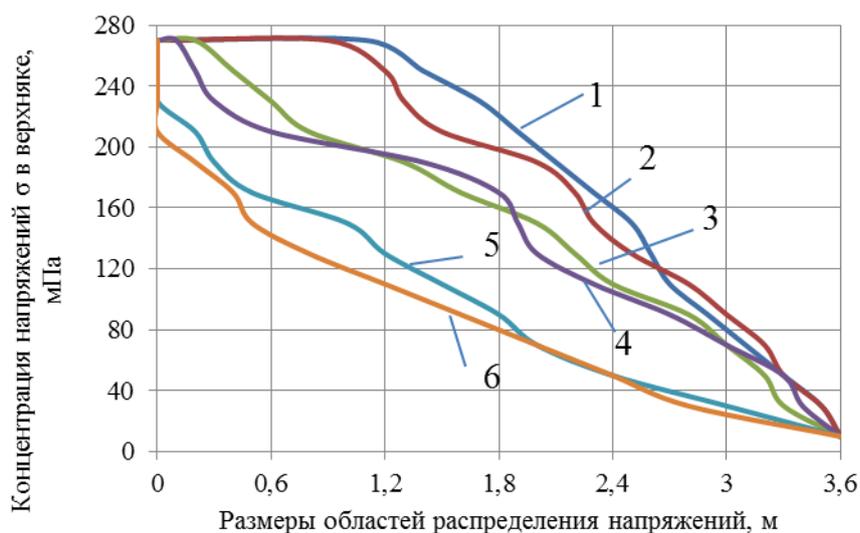


Рис.3.34. Концентрация напряжений σ в верхняке рамы при разной величине h соответственно: 1 – 6 м; 2 – 8 м; 3 – 10 м; 4 – 12 м; 5 – 14 м и 6 – 16 м.

При расположении выработки на глубине $h = 10$ м и $h = 12$ м произошло определенное снижение уровня напряжений в раме. Область σ_{\max} в обоих случаях не превышает 0,3 м и носит скорее очаговый характер. В результате дальнейшее снижение напряжений происходит не так интенсивно, как в первой группе. Происходит переход области с более высокими напряжениями на глубине $h = 12$ м в правую часть верхняка, что подтверждается анализом состояния анкерного крепления.

Начиная с глубины $h = 14$ м напряжения в верхняке рамы не превышают 230 МПа, что существенно ниже уровня σ_{\max} . Причем такой уровень напряжений концентрируется на участке незначительного размера. В целом, при глубинах расположения выработки $h = 14$ м и $h = 16$ м отмечается достаточно невысокий уровень напряжений, что способствует эффективной эксплуатации рамного крепления в данных условиях.

При выполнении серии экспериментов по определению рациональной глубины проведения надрабатываемой выработки относительно вышележащего угольного пласта получены эпюры интенсивности σ , горизонтальных σ_x и вертикальных σ_y напряжений. При анализе полученных результатов установлены закономерности распределения зон опорного давления впереди очистного забоя и в боках выработки, а также зависимость изменения размеров данных зон при изменении параметра h . Проанализированы размеры области σ_{\max} для рамного и анкерного крепления при различной глубине расположения выработки. На основании полученных зависимостей установлено, что рациональным является проведение дренажного вентиляционного штрека, начиная с глубины $h = 14$ м от почвы угольного пласта. При таком удалении от зоны ведения очистных работ происходит значительное снижение воздействия зоны опорного давления впереди забоя на выработку, что позволяет обеспечить длительную и эффективную эксплуатацию выработки.

Помимо анализа конкретного случая проведения дренажного вентиляционного штрека на шахте «Самарская» были проведены дополнительные исследования для различных глубин и свойств горных пород в условиях Западного Донбасса.

По совокупности результатов проведенного анализа состояния углевмещающего массива в окрестности надрабатываемой подготовительной выработки и элементов ее крепежной системы построено семейство графиков (рис. 3.35), отражающих закономерности влияния геомеханических факторов на минимально достаточное расстояние h от угольного пласта до штрека, размещенного в его почве. Четко прослеживается нелинейная прямо пропорциональная связь расстояния h с глубиной H размещения выработки и нелинейная обратно пропорциональная связь с ее средним расчетным сопротивлением сжатию R близлежащего массива. Последний параметр наиболее полно отражает прочностные свойства надугольной толщи между выработкой и угольным пластом, а влияние очистных работ при расчете R целесообразно учитывать по методике [188].

Наиболее тесная корреляция имеет место между параметром h и отношением H/R , что позволило сформулировать один из основных научных

выводов диссертации следующим образом: минимально достаточное заглубление дренажного штрека в почву обрабатываемого пласта для условий Западного Донбасса изменяется в диапазоне 8 – 24 м и находится в степенной зависимости от соотношения глубины размещения выработки и среднего расчетного сопротивления сжатию близлежащих пород.

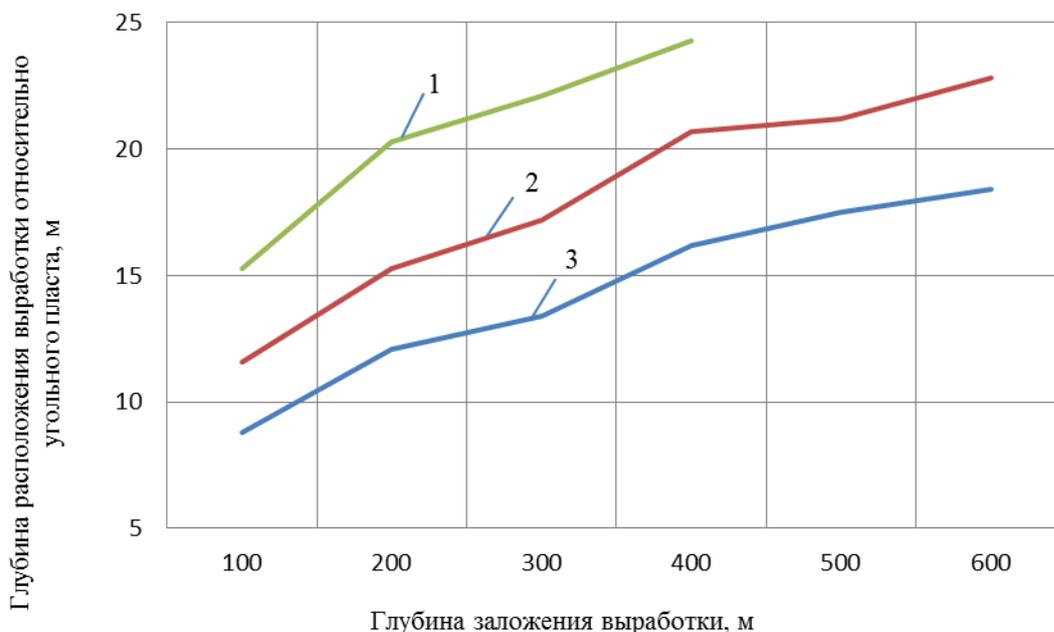


Рис. 3.35. Зависимость рационального расстояния h штрека до надрабатываемого угольного пласта от глубины H размещения выработки при среднем расчетном сопротивлении сжатию вмещающего массива: 1 – $R = 8,3$ МПа; 2 – $R = 13,8$ МПа; 3 – $R = 23,0$ МПа.

Выводы к главе 3

В результате проведения серии вычислительных экспериментов в упругой постановке был выявлен ряд недостатков линейного анализа для исследования напряженно-деформированного состояния породного массива. В связи с этим, для увеличения степени сходимости результатов расчета с реальными условиями необходим переход к использованию расчета в упруго-пластической постановке. Максимально детализирована геометрия модели. Разработана полноценная пространственная модель исследуемого участка с учетом шарнирно-блокового сдвижения пород в окрестности выемочных выработок в связи с завершившейся отработкой двух соседних лав.

По результатам серии расчетов была подтверждена адекватность модели реальным условиям, а также более высокая эффективность нелинейного расчета по сравнению с линейным.

В связи с особенностью горно-геологических условий данного участка возникла необходимость учитывать обводненность горного массива в окрестности надрабатываемой выработки. Для этих целей была разработана модель с соответствующими физико-механическими свойствами пород. Полученные результаты позволили получить максимально полную картину НДС массива и крепления выработки в условиях надработки на данном участке. На основании проведенных экспериментов определены недостатки применяемой системы крепления, что положено в основу для разработки методики определения рациональных средств крепления надрабатываемых выработок с учетом всех доступных параметров.

В ходе шахтных наблюдений за состоянием дренажного вентиляционного штрека было установлено, что применялись абсолютно разные типы крепей КШПУ, а также схемы крепления. На данный момент происходит перекрепление «старого» участка выработки, при этом схема перекрепления не соответствует схеме крепления «нового» участка выработки, более того на разных перекрепляемых участках применяют разные крепежные схемы. Таким образом можно сделать вывод, что технические решения для выбора средств и схемы крепления данной выработки принимаются при отсутствии нормативных документов для крепления выработок в таких случаях. В результате становится актуальной задача разработки унифицированного подхода к выбору рациональных параметров средств крепления надрабатываемых выработок, находящихся в условиях обводненности.

Анализ существующих подходов к проведению выработок в условиях надработки показал, что полностью отсутствует регламент по выбору рационального расположения выработки относительно вышележащего угольного пласта.

Для определения рациональных параметров расположения выработок, над которыми будут проводиться очистные работы, выполнен ряд исследований. Установлено, что рациональным является проведение подготовительной выработки, начиная с глубины $h = 14$ м от почвы угольного пласта для условий шахты «Самарская». При таком удалении от зоны ведения очистных работ происходит значительное снижение негативного воздействия зоны опорного давления впереди забоя на выработку, что позволяет обеспечить длительную и эффективную эксплуатацию выработки.

Помимо анализа конкретного случая проведения дренажного вентиляционного штрека на шахте «Самарская», были проведены дополнительные исследования для различных глубин и свойств горных пород в условиях Западного Донбасса.

Наиболее тесная корреляция имеет место между параметром h и отношением H/R , что позволило сформулировать первый научный вывод диссертации следующим образом: минимально достаточное заглубление дренажного штрека в почву отрабатываемого пласта для условий Западного Донбасса изменяется в диапазоне 8 – 24 м и находится в степенной зависимости от соотношения глубины размещения выработки и среднего расчетного сопротивления сжатию близлежащих пород.

ГЛАВА 4

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КРЕПЕЖНОЙ СИСТЕМЫ НАДРАБАТЫВАЕМЫХ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК, ПОДДЕРЖИВАЕМЫХ В МАССИВЕ СЛАБЫХ ПОРОД

4.1. Обобщение особенностей проявлений горного давления при надработке выработок

В результате проведенного комплексного исследования с использованием современных вычислительных технологий установлен ряд особенностей проявления горного давления при надработке выработок, а также ее влияние на крепежную систему самой выработки.

Главной особенностью поддержания надрабатываемых выработок является прохождение очистных работ непосредственно над выработкой. Для исследований в качестве примера использовались параметры проведения дренажного вентиляционного штрека шахты «Самарская», где при отработке вышележащего пласта C_5 очистные работы велись непосредственно над выработкой. Проведены две серии вычислительных экспериментов, позволяющие проследить характер изменения НДС породного массива в окрестности выработки по мере приближения очистного забоя, а также при изменении глубины проведения выработки относительно отработываемого угольного пласта.

При значительном удалении очистного забоя от выработки (14 м и более) происходит типичное распределение напряжений для каждого элемента. Влияние фронтальной зоны опорного давления впереди забоя распространяется на высоту до 10 м и ширину 5 – 7 м с характерным уклоном в кровле в сторону выработанного пространства. Концентрация напряжений возрастает от 10 до 20 МПа. В боках выработки образуются зоны опорного давления высотой до 4 м и шириной до 1,5 м каждая, при этом напряжения не превышают 15 МПа. В кровле и почве выработки образуются зоны разгрузки с растягивающими напряжениями 1 – 2 МПа.

Приближение очистного забоя к надрабатываемой выработке провоцирует не только количественное, но и качественное изменение НДС массива. Происходит объединение фронтальной зоны опорного давления впереди забоя и в боках выработки. В результате весь массив, находящийся между угольным пластом и выработкой, подвергается влиянию повышенных напряжений.

Данная особенность взаимовлияния выработки и очистного забоя отражается и на НДС крепления выработки. Происходит поступательный рост напряжений в крепи с приближением забоя к выработке. Распределение напряжений в креплении происходит асимметрично, что вполне закономерно в связи с попаданием под влияние приближающейся фронтальной зоны опорного давления.

Максимальной нагрузке крепление подвергается при расположении забоя непосредственно над выработкой, что полностью соответствует принципу распределения напряжений в массиве. Согласно результатам вычислительных экспериментов установлено, что стойки крепи выработки значительно нагружены даже на некотором удалении забоя от выработки. Это связано с передачей нагрузки от верхняка, а также с боковым давлением горной породы. Напряжения в верхняке возрастают при приближении механизированного комплекса более интенсивно. Если при значительном удалении забоя верхняк в значительной мере разгружен, в конструкции полностью отсутствуют участки с напряжениями, близкими либо превышающими предел текучести используемой стали, то в наиболее сложных условиях порядка 80% несущего элемента подвергаются напряжениям 270 МПа, после чего происходит переход в пластическое состояние материала.

Анкерное крепление нагружено неравномерно, распределение напряжений аналогично изменяется при приближении очистного забоя. В частности, боковые анкера, стоящие обособлено, слабо подвержены нагрузкам и практически не участвуют в поддержании выработки. Только на последнем этапе эксперимента происходит повышение напряжений в правом боковом анкере, но не более чем до 50% от несущей способности. Степень нагружения анкеров, установленных в кровле выработки, меняется в зависимости от расположения забоя, при этом происходит асимметричное распределение напряжений, когда анкера, попадающие под непосредственное влияние фронтальной зоны опорного давления, нагружены сильнее, чем остальные. В целом анкерное крепление нагружено достаточно слабо, напряжения, превышающие предел текучести стали локализованы на относительно небольших участках. В результате значительная часть длины анкеров недостаточно активно участвует в поддержании выработки. Сложившаяся ситуация подтверждает неэффективность применяемой схемы установки анкеров.

Во время шахтных наблюдений было проанализировано текущее состояние контура выработки на разных участках. В целом состояние выработки можно оценить как неудовлетворительное. Существует целый ряд факторов постоянно оказывающих негативное влияние. Помимо естественного проявления горного давления, которое влияет на выработку по всей протяженности, даже невооруженным взглядом можно определить участки выработки, над которыми прошел очистной забой. На этих участках происходит уменьшение сечения выработки, а также частичная деформация крепи, дальнейшее развитие которой пытались предотвратить установкой деревянных стоек крепи усиления. Очевидно, что такой ситуативный подход способен только локализовать проблему, но не решить. Также, учитывая назначение выработки, острой является проблема обводненности. Мощный водоприток по дренажным скважинам с вышележащего горизонта приводит к частичному затоплению выработки даже при условии откачки воды насосами. Это приводит к размоканию глинистых пород, типичных для условий

Западного Донбасса, и является дополнительным негативным фактором для эффективной работы крепежной системы.

В ходе исследований была поставлена задача установления рациональной глубины проведения надрабатываемой выработки в случае возникновения такой необходимости. На основании полученных зависимостей установлено, что рациональным является проведение подготовительной выработки, начиная с глубины $h = 14$ м от почвы угольного пласта. При таком удалении от зоны ведения очистных работ происходит значительное снижение негативного воздействия зоны опорного давления впереди забоя, что позволяет обеспечить длительную и эффективную эксплуатацию выработки.

При проведении вычислительных экспериментов удалось учесть максимальное количество негативных факторов, которые прямо либо косвенно влияют на сохранность сечения выработки и работу крепи. Получены и проанализированы обширные данные о состоянии горного массива вокруг выработки, очистного забоя и крепежной системы надрабатываемого штрека. На основании полученных результатов разработан алгоритм поиска рациональных параметров крепежной системы для данных условий (рис. 4.1).

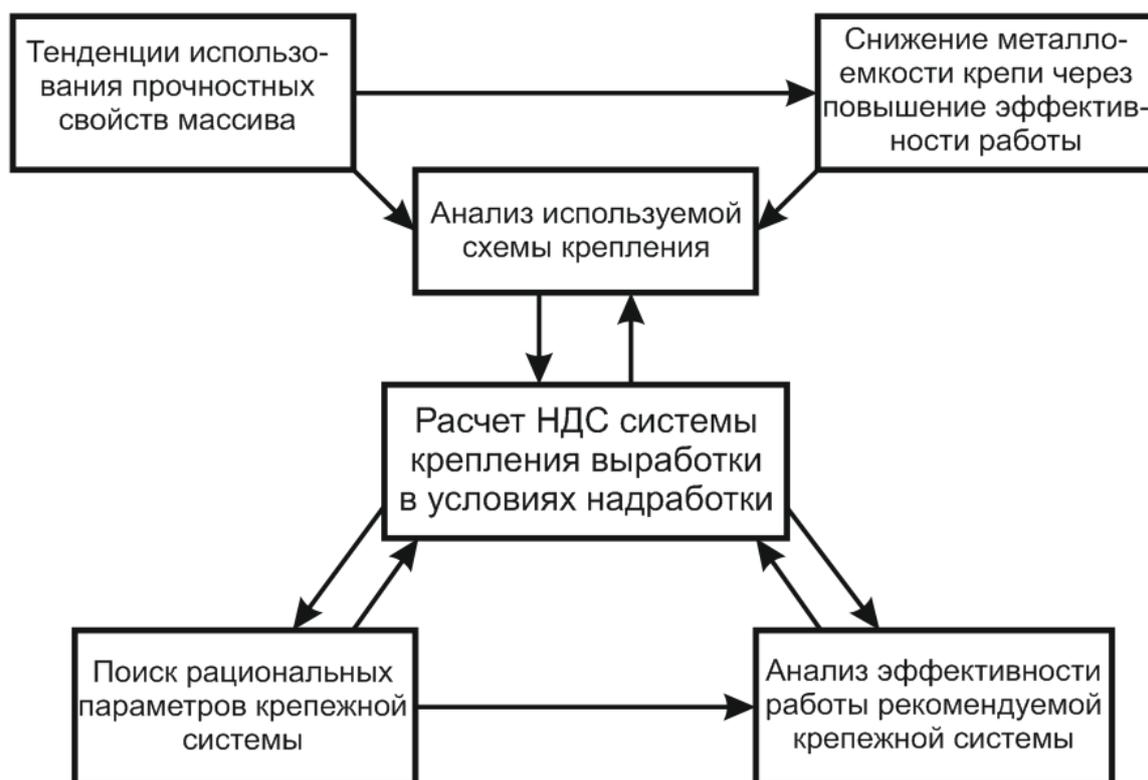


Рис. 4.1. Алгоритм поиска рациональных параметров крепежной системы выработки

4.2. Алгоритм поиска рациональных параметров крепежной системы

Последние тенденции развития геомеханических исследований, направленных на поддержание выработок, находящихся в зоне влияния очистных работ, направлены на учет всех факторов, влияющих на устойчивость

выработки. Однозначно установлено, что такой подход к поддержанию выработок, когда массив рассматривается отдельно, а элементы крепления отдельно, не имеет права на серьезное рассмотрение. Фактор взаимовлияния является катализатором повышения эффективности системы крепления, и на этом должен строиться поиск рациональных параметров крепежной системы любой выработки.

Целый ряд теоретических работ и шахтных экспериментов подтвердили, что рамная крепь не выполняет своих прямых функций до тех пор, пока контур выработки не начнет оказывать давление на раму. В результате поддержание выработки начинается только после начала активного процесса сдвижения породы в выработку, что снижает эффективность работы самой крепи, которая могла бы сдержать данный процесс еще в момент его развития. Этот недостаток частично снижается путем повышения культуры производства, качества установки крепи, использования деревянных расклинов. Тем не менее, это скорее полумеры, которые не дают необходимого результата.

Использование анкерного крепления в основном и направлено на исправление недостатка рамной крепи и ее дополнение. Бурение шпуров непосредственно в окружающем массиве с установкой в них стальных арматур, а также использование сталеполлимерных материалов показало свою эффективность на практике. Создание с помощью анкеров так называемой «опорной плиты» в кровле выработки позволяет частично снизить давление на рамную крепь, а также препятствует беспорядочному обрушению пород в выработку. Популярность анкерной технологии способствовало появлению широкого перечня различных технологий установки, использования вспомогательных материалов, типов и размеров анкеров.

В условиях слабых обводненных пород Западного Донбасса оптимальным является использование комбинации двух основных видов крепления. При этом отлично зарекомендовала себя методика, которая позволяет объединить анкерную и рамную крепи в единую грузонесущую систему с помощью канатных связей [144]. В результате анкера, закрепленные в массиве, используются для повышения эффекта сопротивления рамы давлению пород, опираясь на прочностные свойства самого массива. Получается полностью замкнутая структура, максимально эффективно поддерживающая контур выработки.

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

В работе был проведен анализ системы крепления, которая используется в дренажном вентиляционном штреке на шахте «Самарская» при надработке выработки очистным забоем, отрабатывающим угольный пласт С₅. По результатам серии вычислительных экспериментов проведен анализ НДС

используемой системы крепления. Установлены недостатки работы данной системы, на основании которых и будет произведен поиск рациональных параметров для условий данной выработки.

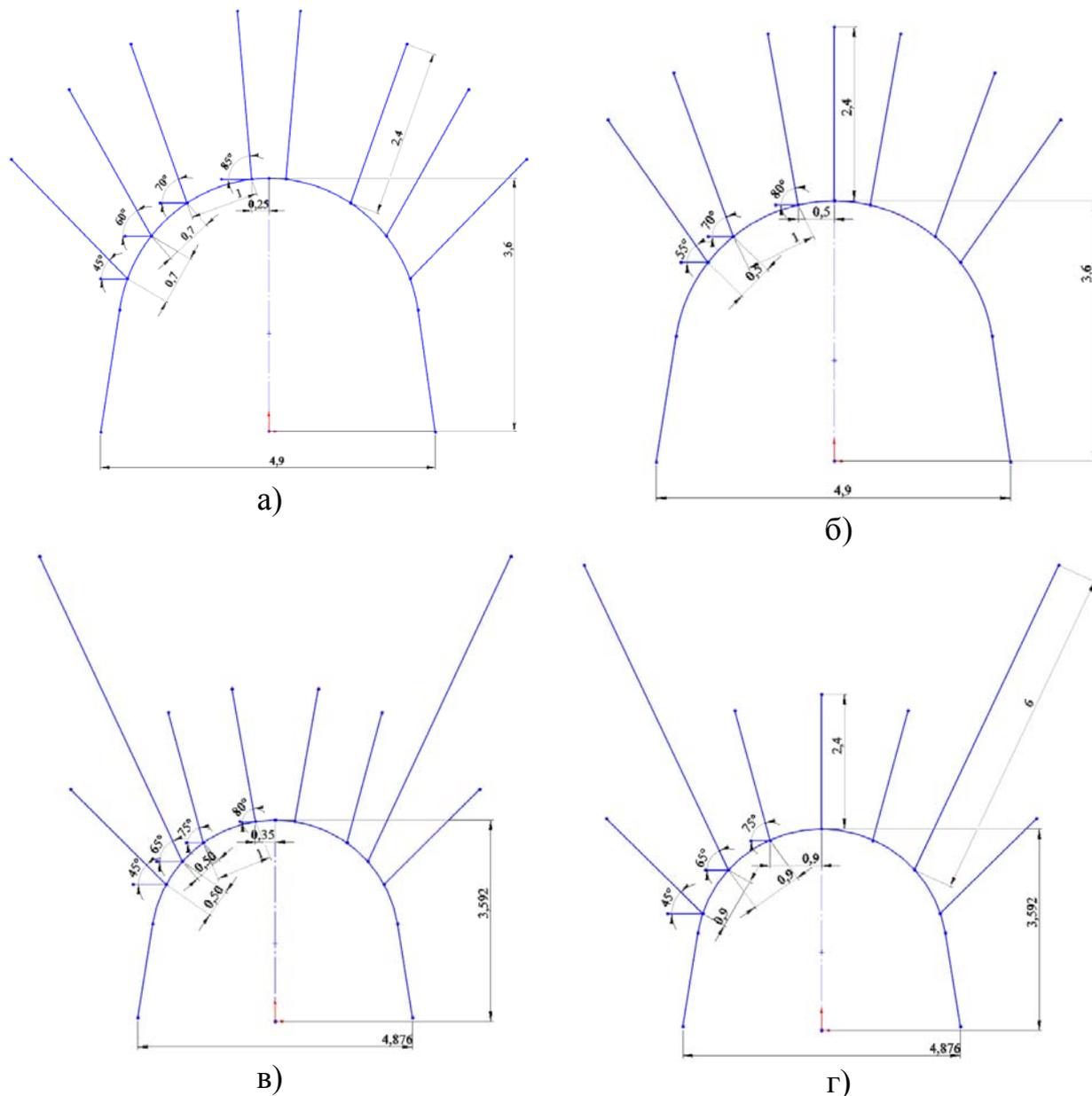


Рис. 4.2. Экспериментальные схемы расположения анкеров для дренажного вентиляционного штрека.

Целью данного исследования является определение параметров крепи, которые максимально эффективно участвуют в поддержании выработки. Таким образом, необходимо на основании проведенного анализа НДС массива и системы крепления установить элементы, которые максимально нагружены, и рассмотреть возможность усиления этих участков, а также рассмотреть целесообразность использования элементов, нагруженных слабо.

Каждое изменение в системе крепления проходило проверку путем проведения вычислительного эксперимента, по результатам которого можно было дать соответствующую оценку эффективности его работы. В зависимости

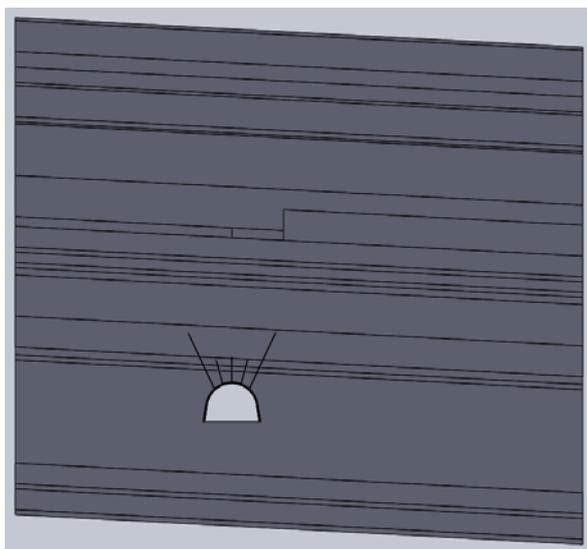
от результата расчет повторялся с учетом поправок, либо происходил переход к рассмотрению следующего элемента в случае положительного результата.

Для поиска оптимальных параметров установки анкерного крепления были разработаны несколько схем расположения анкеров (рис. 4.2). При разработке схем учитывались не только результаты расчета НДС используемой системы, но и особенности эксплуатации надрабатываемой выработки, которая подвергается нетипичному для подготовительных выработок влиянию прохождения очистного забоя в кровле. По данным расчета НДС для данных схем был проведен сравнительный анализ, по результатам которого установлено, что наиболее эффективным является использование схемы на рис. 4.2, *г*. Использование комбинации сталеполимерных и канатных анкеров позволяет более эффективно поддерживать породы основной кровли для снижения влияния на верхняк рамы. Появилась возможность отказаться от боковых анкеров, которые были слабо нагружены, путем установки сталеполимерных анкеров под канатными, так как основная нагрузка на крепление происходит в момент прохождения очистного забоя, что провоцирует интенсивное давление в кровле выработки, при этом бока нагружены меньше.

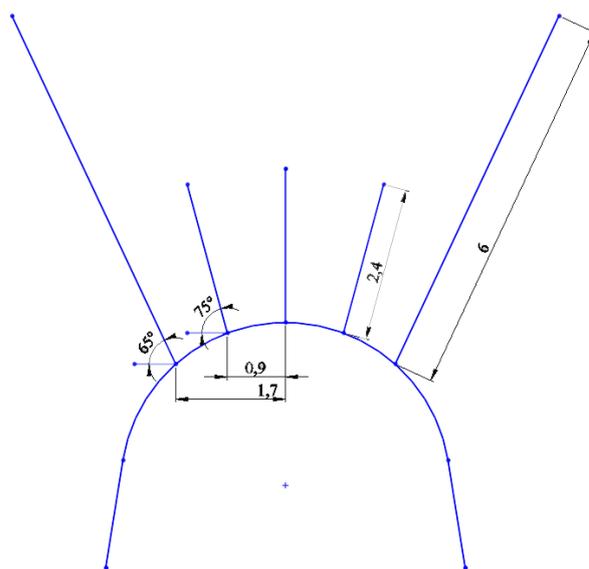
4.3. Расчет и анализ НДС усовершенствованной крепежной системы надрабатываемой выработки

Используя разработанный алгоритм поиска рациональных параметров системы крепления, который был успешно опробован на примере дренажного вентиляционного штрека, разработана система крепления надрабатываемой выработки проведенной на оптимальной глубине относительно разрабатываемого угольного пласта для аналогичных горно-геологических условий. За основу была взята схема, обоснованная для дренажного вентиляционного штрека в целях унификации полученных результатов. На базе имеющейся схемы, пользуясь алгоритмом поиска, основанном на подтверждающих вычислительных расчетах, было установлено, что необходимо провести ряд изменений. В частности, в результате дополнительных экспериментов на глубине проведения выработки $h = 14$ м относительно угольного пласта, возник вопрос целесообразности использования двух анкеров, расположенных ниже канатных. В рамках использования разработанного алгоритма был проведен расчет НДС породного массива с использованием предлагаемой системы крепления в условиях надработки.

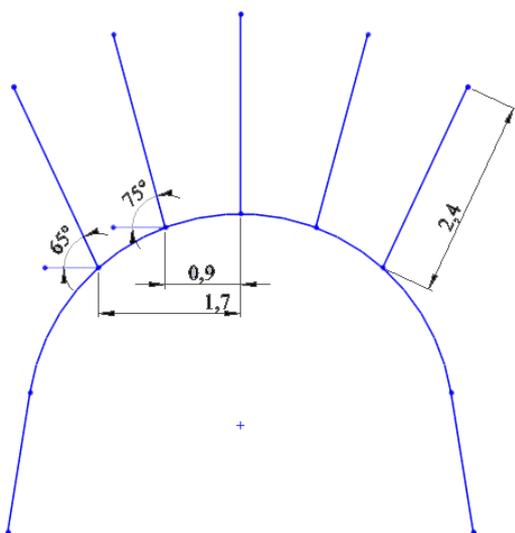
Породный массив в разработанной модели (рис. 4.3, *а*) полностью идентичен модели, использованной для исследования дренажного вентиляционного штрека. При этом выработка проведена на обоснованной ранее рациональной глубине разработки $h = 14$ м. Сечение выработки соответствует типоразмеру КШПУ-11,7, шаг установки рамной крепи – 1 м, спецпрофиль СВП-22.



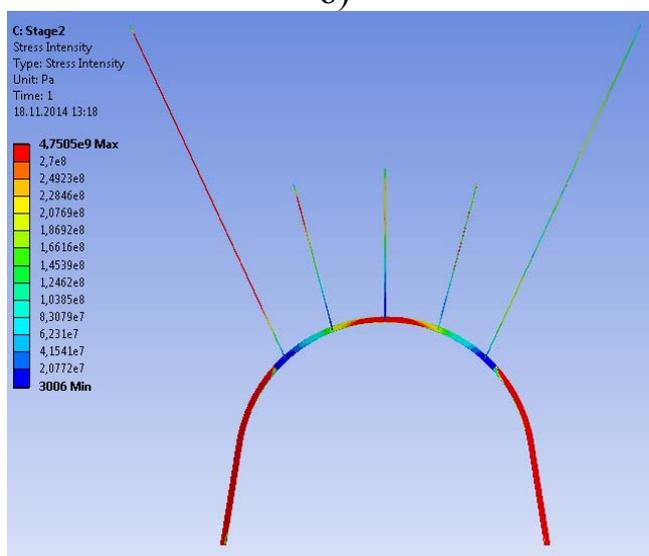
а)



б)



в)



г)

Рис. 4.3. Расчет НДС для полученной системы крепления надрабатываемой выработки: а – общий вид модели; б – схема установки с использованием канатных анкеров; в – схема установки без использования канатных анкеров; г – эпюра интенсивности σ напряжений системы крепления

Разработано две системы анкерного крепления с канатными анкерами и без них, причем схема расстановки анкеров не изменяется. Анкера установлены также с шагом 1 м, причем схема установки (рис. 4.3, б) с канатными анкерами устанавливается с чередованием через каждые два шага установки схемы без канатных анкеров (рис. 4.3, в). Такой подход вызван особенностью действия канатных анкеров на массив. Учитывалось, что канатные анкера длиной 6 м распространяют свое влияние не только глубоко в массив по оси Y, но также их влияние распространяется значительно дальше, чем у обычных сталеполлимерных анкеров длиной 2,4 м, и по оси Z, т.е. вдоль выработки.

В связи с этим отпадает необходимость устанавливать канатные анкера в каждом шаге установки крепления в целях снижения себестоимости работ.

Для анализа результатов вычислительного эксперимента использована эпюра интенсивности σ напряжений системы крепления.

Рамная крепь испытывает значительные нагрузки на обе стойки, что вызвано рядом факторов, включая давление боковых пород, а также принятием части нагрузки, оказываемой на верхняк через податливые элементы. В целом, по всей длине стоек происходит распределение напряжений, превышающих модуль упругости используемой стали, что провоцирует переход материала в нелинейное состояние. Верхняк рамы нагружен не так интенсивно и неравномерно. Образуется область с высокими напряжениями, превышающими $\sigma_{\max} = 270$ МПа, по центру верхняка и распространяется на 0,9 – 1,2 м. После чего происходит постепенное снижение напряжений, симметричное с обеих сторон, вплоть до 100 МПа. Очевидно, что такое резкое снижение напряжений в верхняке связано с действием узлов податливости, которые эффективно разгружают верхняк, передавая нагрузку стойкам.

Распределение напряжений в анкерном креплении также происходит неравномерно. Напряжения в левом канатном анкере на 90% его длины превышают $\sigma_{\max} = 270$ МПа, что связано с влиянием фронтальной зоны опорного давления впереди забоя. Также около 20% длины соседнего сталеполимерного анкера подвержены напряжением 270 МПа и выше, после чего происходит переход в неупругое состояние. Причем такие напряжения преобладают на участках анкеров, удаленных от выработки, что подтверждает адекватность выбранной рациональной глубины проведения выработки. В остальных анкерах происходит достаточно равномерное распределение напряжений в диапазоне 100 – 160 МПа, за редким исключением появления каких-то очаговых возмущений, связанных со сдвижением породных слоев по горизонтали относительно друг друга.

Для качественной оценки эффективности работы системы крепления необходимо учитывать фактор подвигания очистного забоя. На данном этапе грудь очистного забоя находится по центру вертикальной оси симметрии выработки, поэтому отображаемое распределение напряжений в креплении актуально для конкретного случая. Именно с данным фактором связана, в частности, асимметрия распределения максимальных напряжений в анкерах с креном в левую сторону. Предыдущие детальные исследования НДС массива в условиях наработки подтвердили, что при подходе очистного забоя к выработке сначала повышались напряжения в ближайших анкерах, а затем и в остальных по мере движения механизированного комплекса. В этой связи необходимо отметить, что вся предложенная система крепления активно участвует в процессе поддержания выработки и подвергается достаточно высоким нагрузкам, но в разный момент времени.

4.4. Обоснование параметров расположения и средств крепления надрабатываемых подготовительных выработок

Выполненные исследования позволили разработать систему рекомендаций по надежному и маломатериалоемкому поддержанию надрабатываемых подготовительных выработок в условиях шахт Западного Донбасса. Они включают:

– обоснование минимально достаточного заглубления h выработки (по отношению к отрабатываемому угольному пласту) в зависимости от глубины ее размещения H и усредненных прочностных свойств R вмещающих пород; рекомендуемое значение h обеспечивает исключение негативного влияния аномалий горного давления вокруг очистного забоя при его прохождении над выработкой;

– определение параметров крепежной системы в зависимости от условий поддержания надрабатываемой подготовительной выработки: шаг установки L и номер спецпрофиля СВП рамной крепи; схема размещения анкеров и их шаг установки.

Обоснование минимально достаточного расстояния размещения выработки в почве отрабатываемого пласта выполнено на основе анализа действия комплекса факторов:

– распространения зоны опорного давления от очистного забоя в почву пласта и ее взаимодействия с возмущениями напряжений в приконтурных породах, вызванными проведением самой выработки;

– градиента изменения состояния крепежных элементов штрека.

После обработки результатов серии вычислительных экспериментов методами корреляционно-дисперсионного анализа [189, 190], установлено, что наиболее тесная связь прослеживается с величиной отношения глубины H размещения выработки и средним расчетным сопротивлением сжатию R близлежащего массива пород вокруг выработки. Уравнение регрессии имеет вид

$$h = 4,7 \left(\frac{H}{R} \right)^{0,43}, \text{ м} \quad (4.1)$$

и позволяет спрогнозировать рациональную величину заглубления штрека в почву отрабатываемого пласта для широкого круга горнотехнических условий шахт Западного Донбасса. Параметр R определяется по руководящему нормативному документу [188] с учетом влияния прочностных характеристик литологических разностей, залегающих на расстоянии по вертикали между подготовительной выработкой и отрабатываемым угольным пластом.

Определение рациональных параметров крепежной системы осуществлено по двум взаимосвязанным направлениям:

– поиск связи параметров установки рамной крепи (как базовой составляющей крепежной системы) с геомеханическими факторами $\frac{H}{R}$ и h поддержания выработки;

– выявление наиболее эффективных схем установки анкеров с учетом параметров рамной крепи.

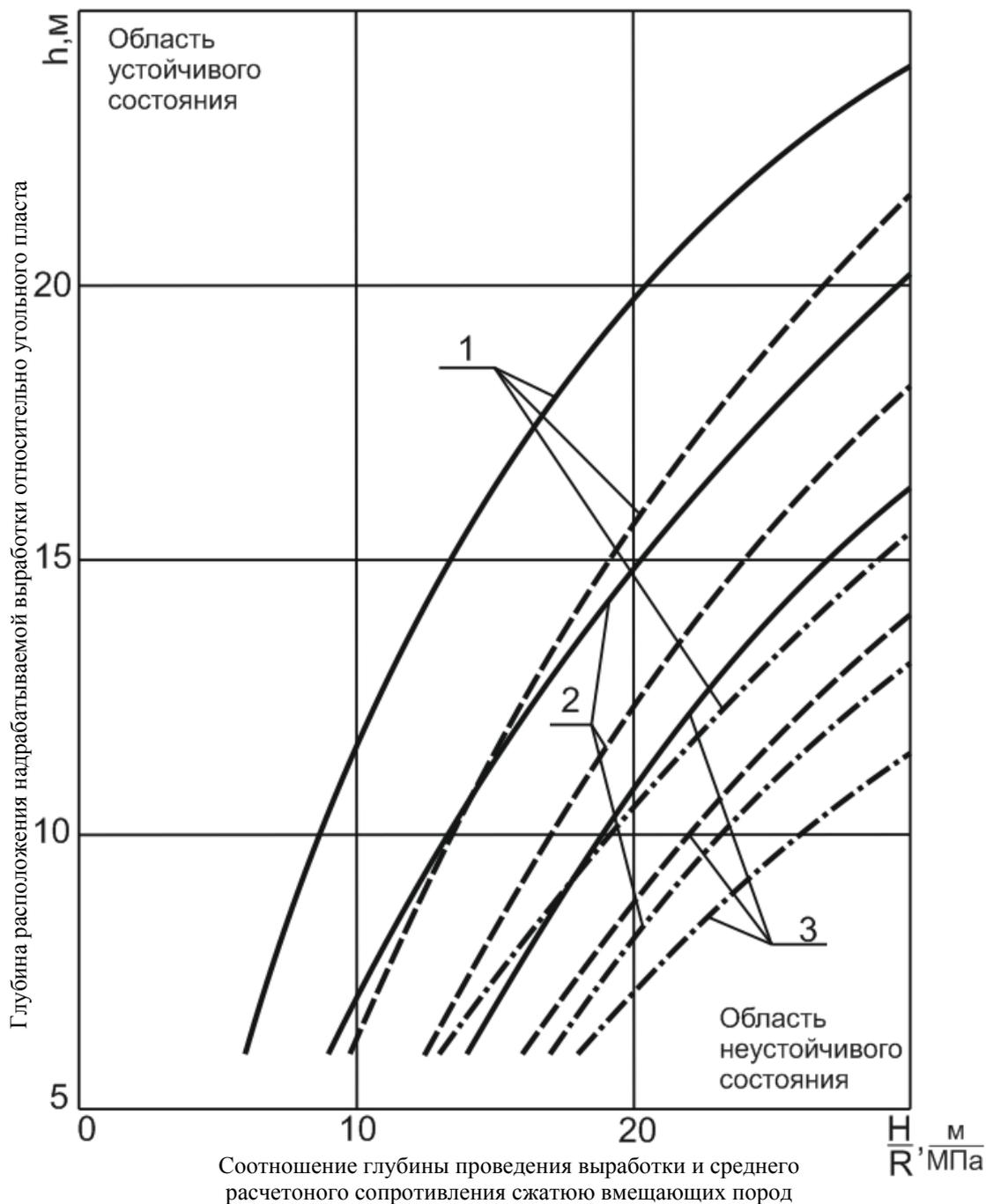


Рис. 4.4. Графики к выбору шага установки L рамной крепи и номера ее СВП в зависимости от параметров $\frac{H}{R}$ и h поддержания наработываемой подготовительной выработки: — $L = 1,0$ м; — — $L = 0,8$ м; — · — $L = 0,5$ м; 1 – СВП-22; 2 – СВП-27; 3 – СВП-33.

В результате разработан следующий алгоритм выбора рациональных параметров крепежной системы наработываемой подготовительной выработки:

1. Определяется минимально достаточное расстояние h по формуле (4.1).

2. При горнотехнической возможности проведения выработки на расстоянии не менее величины h рекомендуется схема установки анкеров, приведенная на рис. 4.3, б, в; если выработку в силу иных горнотехнических обстоятельств необходимо проводить ближе к отрабатываемому пласту, то рекомендуется схема установки анкеров, показанная на рис. 4.2, з.

3. Шаг установки L рамной крепи серии КШПУ и номер ее спецпрофиля выбирается по графикам на рис. 4.4 в зависимости от параметров h и $\frac{H}{R}$. Эти графики построены на базе обработки результатов исследований методами корреляционно-дисперсионного анализа. Область условий, лежащая выше соответствующей линии, определяет устойчивое состояние выработки.

4. Шаг установки сталеполимерных анкеров равен шагу установки L рамной крепи, так как эта группа анкеров располагается посередине каждого межрамного пространства.

5. Шаг установки L_k канатных анкеров в три раза больше, чем рамной крепи ($L_k = 3L$), так как они располагаются посередине межрамного пространства каждого третьего рамокомплекта.

Выбранные таким образом параметры крепежной системы позволяют снизить ее материалоемкость при сохранении необходимой устойчивости надрабатываемой подготовительной выработки.

Предыдущие исследования выявили две основные тенденции изменения уровня напряженности близлежащего массива и элементов крепежной системы надрабатываемой выработки:

интенсивность напряжений σ в крепежной системе возрастает с увеличением отношения $\frac{H}{R}$, что тождественно увеличению на неё нагрузки со стороны породного массива;

интенсивность напряжений σ снижается по мере удаления h выработки в почву отрабатываемого пласта, нагружение элементов крепи снижается.

Обе тенденции (рис. 4.5) имеют нелинейный характер: градиент изменения σ снижается по мере роста параметров $\frac{H}{R}$ и h ; более того, на некотором удалении h дальнейший рост этого параметра практически не влияет на состояние элементов крепежной системы.

Данные тенденции легли в основу перебора вариантов параметров крепежной системы и выбора из них наиболее целесообразных с точки зрения выполнения условий устойчивости выработки при минимальной материалоемкости средств ее крепления.

С другой стороны, согласно существующим теориям горного давления в окрестности выработки [166 – 170] уровень напряжений в элементах крепи прямо пропорционален действующей на нее нагрузке. Поэтому суммировав (по контуру выработки) нагрузку, можно вполне обоснованно предположить, что ее общая величина Q имеет одинаковые закономерности связи с параметрами $\frac{H}{R}$ и h (см. рис. 4.5); это есть взаимосвязанные и неразрывные составляющие

единого геомеханического процесса деформирования массива в окрестности горной выработки.

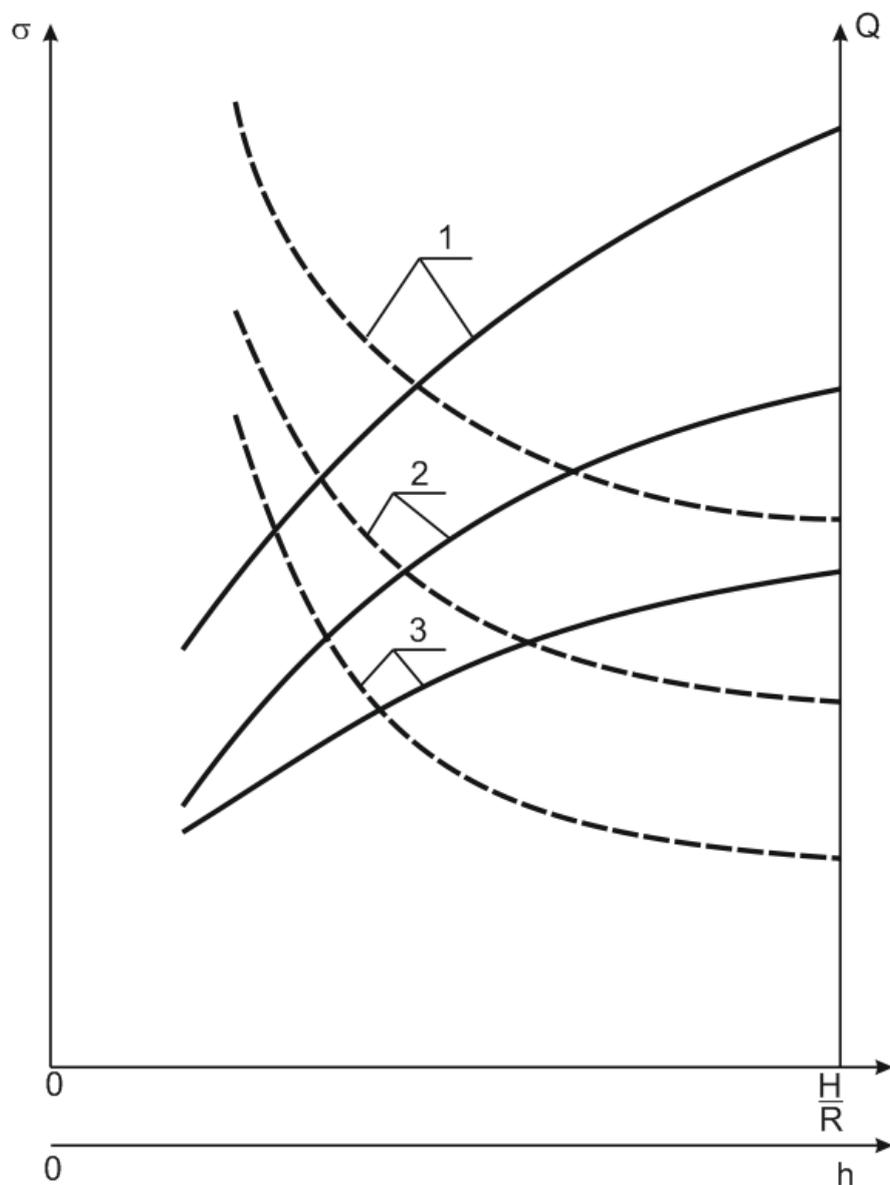


Рис. 4.5. Качественные закономерности влияния параметров $\frac{H}{R}$ (—) и h (---) на формирование нагрузки Q и интенсивность напряжений σ в элементы крепежной системы: 1 – рамная крепь; 2 – канатные анкера; 3 – сталеполимерные анкера

Таким образом, комплекс многовариантных вычислительных экспериментов позволил сформулировать второй научный вывод, способствующий достижению минимально возможной материалоемкости крепежной системы в зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий поддержания выработки: нагрузка на крепежную систему подготовительной выработки находится в прямо пропорциональной нелинейной зависимости от параметра $\frac{H}{R}$ и обратно пропорциональной

нелинейной связи с расстоянием h до обрабатываемого угольного пласта. Конкретизация закономерностей связи позволила их оценить и обосновать как степенную зависимость от параметра $\frac{H}{h}$ и экспоненциальную от параметра h .

Выводы к главе 4

Получены и проанализированы обширные данные о состоянии горного массива вокруг выработки, очистного забоя и системы крепления надрабатываемой выработки. На основании полученных результатов разработан алгоритм поиска рациональных параметров крепежной системы, который с помощью вычислительного эксперимента позволяет учитывать все наиболее значимые параметры, влияющие на эксплуатационные характеристики крепи.

Используя разработанный алгоритм, получена система крепления надрабатываемой выработки, проведенной на рациональной глубине относительно разрабатываемого угольного пласта для условий шахты «Самарская». Проведен вычислительный эксперимент для исследования НДС новой системы крепления, установленной в надрабатываемую выработку. Анализ результатов показал высокую эффективность усовершенствованной системы крепления.

Выполненные исследования позволили разработать систему рекомендаций по надежному и маломатериалоемкому поддержанию надрабатываемых подготовительных выработок в условиях шахт Западного Донбасса, которые включают:

- обоснование минимально достаточного расстояния размещения выработки в почве обрабатываемого пласта, выполненного на основе анализа действия комплекса факторов;
- алгоритм выбора рациональных параметров крепежной системы надрабатываемой подготовительной выработки.

По итогам исследований разработана методика определения рациональных параметров расположения и средств крепления надрабатываемых выработок в тонкослоистом массиве слабых пород, которая позволяет выработать технические решения по обеспечению надлежащих эксплуатационных параметров выработки. Предлагаемый метод рекомендуется использовать как дополнение к действующим нормативным документам по поддержанию горных выработок в условиях надработки и на его основе осуществлять выбор параметров крепления и проведения подобных выработок для условий шахт Западного Донбасса.

ГЛАВА 5

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА НАДРАБОТКИ ВЫРАБОТОК ПРИ ВЕДЕНИИ ОЧИСТНЫХ РАБОТ

5.1. Рекомендации по креплению ДВШ при отработке пласта С₅ на шахте «Самарская». Экономическая эффективность рекомендаций.

Углевмещающий породный массив шахты «Самарская» отличается низкой прочностью и представлен в основном тонкослоистыми алевролитами и аргиллитами и реже песчаниками, средние значения предела прочности которых колеблются от 10,5 до 28 МПа. Поэтому имеются определенные трудности в поддержании в удовлетворительном состоянии горных выработок в течение всего срока их эксплуатации, особенно в зоне влияния очистных работ. При отработке угольного пласта С₅ в блоке №3 происходит периодическая надработка нижележащего дренажного вентиляционного штрека пласта С₄². Состояние выработки также осложняется значительным водопритокком, который поступает по дренажным скважинам с вышележащего добычного участка. Применяемая крепёжная система выработки не обеспечила эксплуатационного состояния штрека, что привело к необходимости проводить работы по перекреплению. В таких условиях приобретает особую актуальность выбор рациональной глубины заложения и средств крепления надрабатываемых подготовительных выработок на основе установленных выше закономерностей. Это позволило заблаговременно предусмотреть комплекс мероприятий по борьбе с влиянием опорного давления впереди очистного забоя обрабатываемого вышележащих угольный пласт.

Дренажный вентиляционный штрек пройден в блоке №3 шахтного поля по породам кровли угольного пласта С₄², крепь КШПУ сечением в свету 11,7 м². Плотность установки рам из СВП-27 – 1 р/м. Паспортом проведения и крепления выработок предусмотрено анкерное упрочнение пород кровли (7 анкеров по 2,4м) и боков (по одному анкеру длиной 1,5м в каждом боку выработки). Таким образом, в поперечном сечении выработок устанавливалось между рамами по 9 анкеров. Непосредственная кровля выработки представлена обводненным угольным пластом С₄³ мощностью от 0,38 до 0,56м и обводненным песчаником мощностью до 1,8м. Непосредственная почва представлена обводненным алевролитом мощностью до 0,5м и аргиллитом до 8м.

При расчете экономического эффекта сравнивались два варианта крепления дренажного вентиляционного штрека пласта С₄² шахты «Самарская».

Первый вариант (базовый) – крепление выработок по утвержденному на шахте паспорту: рамная крепь из спецпрофиля СВП-27 в сочетании с опорно-анкерной крепью (9 анкеров в поперечном сечении), затяжка боков и кровли выработок – металлическая сетка, шаг установки рам и анкеров – 1 м. Дополнительно применялись рудничные стойки и металлические подхваты.

Второй вариант (предложенный) – рамная крепь выработок на экспериментальных участках существенно изменена в части замены спецпрофиля СВП-27 на СВП-22, а также изменена схема расположения и количество устанавливаемых анкеров. Предлагаемая схема включает использование 5 анкеров в кровле выработки с чередованием применения канатных и сталеполимерных анкеров. Таким образом, во втором варианте крепления выработок сохранены все параметры рамной крепи, за исключением: спецпрофиль рамной крепи СВП-27 заменен на СВП-22, изменено количество анкеров с 9шт до 5шт на метр, а также не используются рудничные стойки и металлические подхваты.

Исследованиями установлено, что в условиях надработки подготовительной выработки в ходе очистных работ по вышележащему угольному пласту С₅ значительно возрастает нагрузка на крепежную систему. В ходе эксплуатации используемая на шахте, согласно паспорта крепления, система крепления не обеспечила необходимую устойчивость выработки на протяжении срока службы.

Выявленные недостатки в работе рамной и анкерной крепей устраняются, на основании разработанной методики, путем изменения глубины расположения выработки относительно отрабатываемого угольного пласта, а также изменением схемы расположения анкеров. При этом получен следующий технический эффект: отсутствуют зоны пластического состояния стали по длине верхняка, рама относительно равномерно нагружена по всему контуру, примерно, на 70% от несущей способности, выявлена возможность замены спецпрофиля рам СВП-27 на СВП-22.

Исходные данные для расчета экономического эффекта и затраты на крепление выработок приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Наименование показателей	Норма на 1 п.м		Стоимость, грн
	Вариант 1	Вариант 2	
1	2	3	4
Крепль КШПУ-11,7, СВП-27	1		2413,71
Крепль КШПУ-11,7, СВП-22		1	2062,44
Анкеры:			
- длина 1,5 м	2		61,60
- длина 2,4 м	7	4,32	75,41
- длина 6 м		0,68	210,00
Ампула хим. Полимер.3,0 SF28/300, шт	9	5	4,95
Ампула хим. Полимер.3,0 SF28/500, шт	9	5	7,20
Ампула хим. Полимер.3,0 SF28/600, шт	7	5	7,80
Подхват металлический, м	0,5		548,00
Рудничная стойка L=L=3,8м, м3	2		789,22
Фонд оплаты труда, грн	5578,00	4882,26	
Итого, грн	10297,34	7513,02	

Годовой экономический эффект за 2014 год при креплении выработки составил: 2 454 509 грн.

5.2. Рекомендации по креплению Восточного промежуточного штрека гор. 400 м при отработке пласта С₆ на шахте «Степная». Экономическая эффективность рекомендаций.

Восточный промежуточный штрек гор. 400 м пройден в восточном крыле шахтного поля блока №3 по породам почвы угольного пласта С₆. Крепь КШПУ сечением в свету 11,7 м². Плотность установки рам из СВП-27 – 1,25 р/м. Паспортом проведения и крепления выработок предусмотрено анкерное упрочнение пород кровли (3 анкера по 2,4 м). Породы в выработке представлены аргиллитами и алевролитами темно-серыми горизонтально-слоистыми, в начале слоя комковатой текстуры, в нижней части – горизонтально-слоистые. Породы трещиноваты с частотой 3-5тр/м и разбиты двумя системами трещин. Выработка будет продолжаться по угольному пласту С₅², мощность которого 0,08 – 0,14м.

При расчете экономического эффекта сравнивались два варианта крепления восточного промежуточного штрека гор. 400 м шахты «Степная».

Первый вариант (базовый) – крепление выработок по утвержденному на шахте паспорту: включает в себя использование крепи типа КШПУ-11,7 со спецпрофилем СВП-27. Плотность установки трехзвенной рамной крепи – 1,25 рама/м. В кровли выработки устанавливаются три сталеполимерных анкера длиной 2,4 м.

Второй вариант (предложенный). В связи с особенностями влияния горного давления на кровлю выработки в условиях надработки, целесообразно будет увеличить количество анкеров в кровле до 4 штук, с расстоянием между ними 0,75 м. Это упрочнит породы кровли и снизить нагрузку на рамную крепь. Такой эффект позволит увеличить частоту установки рам с 1,25 рамы/м до 1 рамы/м и перейти на использование спецпрофиля СВП-22.

Ряд ранее выполненных исследований по учету факторов, влияющих на устойчивость выработки в ходе периодической надработки лавами, отрабатывающими вышележащий угольный пласт позволили выявить особенности влияния горного давления при переезде очистного забоя. Сложностью данной горнотехнической ситуации является нехарактерное влияние опорного давления на кровлю выработки. Причем интенсивность проявления горного давления не постоянна, а имеет три фазы: постепенный рост напряжений при подходе забоя – максимальный пик влияния на выработку при расположении забоя над штреком – постепенное снижение уровня напряжений при отходе очистных работ до уровня ниже исходного.

Данную особенность была учтена при разработке рекомендаций крепления ВПШ гор. 400м, где отрабатываемый пласт находится на расстоянии 7 м по вертикали от кровли выработки.

Были проведены дополнительные исследования с помощью серий вычислительных экспериментов для двух вариантов крепления. При сравнительном анализе влияния на крепь выработки необходимо обратить внимание на верхняк рамной крепи, где в рекомендуемом варианте происходит снижение напряжений примерно на 20%. Такой эффект является прямым результатом действия усиленного анкерного крепления, которое частично приняло на себя нагрузку и позволило немного разгрузить раму, даже несмотря на увеличения шага установки крепи.

Исходные данные для расчета экономического эффекта и затраты на крепление выработок приведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Наименование показателей	Норма на 1 п.м		Стоимость, грн
	Вариант 1	Вариант 2	
1	2	3	4
Крепь КШПУ-11,7, СВП-27	1,25		2413,71
Крепь КШПУ-11,7, СВП-22		1	2062,44
Анкеры:			
- длина 2,4 м	3,75	4	75,41
Ампула хим. Полимер.3,0 SF25/300, шт	3,75	4	4,95
Ампула хим. Полимер.3,0 SF25/600, шт	3,75	4	7,20
Ампула хим. Полимер.3,0 SF25/700, шт	3,75	4	7,80
Фонд оплаты труда, грн	5578,00	5382,26	
Итого, грн	8952,74	7826,14	

Годовой экономический эффект при отработке 171 лавы с использованием рекомендуемой системы крепления выработки составил: 337 980 грн.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной монографии дано новое решение актуальной научно-технической задачи повышения эффективности поддержания надрабатываемых подготовительных выработок с учетом изменения напряженно-деформированного состояния тонкослоистого массива в момент прохода очистного забоя по вышележащему угольному пласту.

Основные научные и практические результаты заключаются в следующем:

1. Выполненный анализ современных представлений и степени изученности вопроса о влиянии геомеханических процессов в массиве при ведении очистных работ на подготовительные выработки позволил разработать комплексный подход к определению рациональных параметров расположения и крепления надрабатываемых выработок.

2. Разработана методика проведения вычислительного эксперимента по изучению поведения надрабатываемого массива, использование которой позволило получить наиболее достоверные результаты расчета НДС вмещающего массива и системы крепления выработки.

3. Обоснована пространственная геомеханическая модель нагружения окружающего массива и крепления надрабатываемой выработки в период прохождения над ней очистного забоя. Проведена серия вычислительных экспериментов на базе МКЭ в упруго-пластической постановке. Проанализирован характер и размеры зон опорного давления, а также установлена степень влияния очистных работ на крепление надрабатываемой выработки. Исследовано влияние обводнения массива на изменение НДС системы крепления. Установлено, что наиболее интенсивное влияние на систему крепления происходит при расположении очистного забоя непосредственно над выработкой.

4. Установлены закономерности поведения геомеханической системы и конструкций элементов крепления надрабатываемой выработки при изменении глубины ее расположения и расстояния до очистного забоя. Выявлена зависимость рационального расстояния h штрека до угольного пласта от глубины H размещения выработки и среднего расчетного сопротивления сжатию вмещающего массива. Это позволило установить, что минимально достаточная глубина расположения дренажного штрека в почве угольного пласта для условий Западного Донбасса изменяется в диапазоне 8 – 24 м. Предложено выражение для расчета h в конкретной горно-геологической ситуации.

5. Разработан алгоритм поиска рациональных параметров системы крепления, который с помощью вычислительного эксперимента позволяет учитывать все значимые параметры, влияющие на состояние основных несущих элементов. Создана система рекомендаций по определению параметров средств крепления, обеспечивающих надежное и маломатериалоемкое поддержание надрабатываемых подготовительных выработок в условиях шахт Западного Донбасса.

6. Разработана методика расчета параметров расположения и крепления надрабатываемых подготовительных выработок в тонкослоистом массиве слабых пород, которая позволяет выработать технические решения по обеспечению надлежащих эксплуатационных параметров выработок для шахт ПАО «ДТЭК Павлоградуголь». Экономический эффект ожидается получить за счет снижения материалоемкости системы крепления и исключения внеплановых операций по восстановлению эксплуатационного состояния выработок. Ожидаемый экономический эффект составит 2454509 грн для шахты «Самарская» и 337 980 грн для шахты «Степная».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Назарбаев Е.Ж. Современное состояние и тенденции развития мирового топливно-энергетического комплекса // Журнал «Analytic»: [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.kisi.kz>.
2. Годовой отчет ДТЭК 2013г. «Эффективность. Устойчивость». – Донецк. – 237с. [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://dtek.com/library/file/dtek-ar2013-ru-ua.pdf>
3. ДТЭК: Взгляд в будущее. Роль энергетических корпораций в современном обществе: [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.dtek.com/library/file/dtek-strategy-20-rus-1.pdf>
4. Вивчаренко А.В. Стратегия развития угольной отрасли Украины / Вивчаренко А.В. // Розробка родовищ: щорічн. наук.-техн. зб. – Д.: ТОВ «ЛізуновПрес», 2011. – С.3 – 9.
5. Коровяка Е.А. Перспективы извлечения шахтного метана и его утилизация в условиях шахты «Западно-Донбасская» ОАО «Павлоградуголь» / Е.А. Коровяка, Э.С. Манукян, Е.А. Василенко // Науковий вісник НГУ. – 2011 – №4. – С. 39 – 44.
6. Безазьян А.В. Особенности водопроявлений в очистных выработках шахт / А.В. Безазьян, И.А. Садовенко // Безопасность труда в промышленности. – 1980. №3. – С. 29 – 31.
7. Сергиенко А.И. Компьютерное моделирование протекания процесса выброса угля в подготовительных выработках / А.И. Сергиенко // Вісті Донецького гірничого інституту №1, 2012. – Донецк. С. 231 – 235.
8. Колоколов О.В. Определение зоны водопроводящих трещин над очистными выработками. / О.В. Колоколов, И.А. Садовенко // Известия вузов. Горный журнал. – 1983. – №1. – С. 11 – 14.
9. Новикова Л.В. Определение допустимого расстояния между очистными забоями сближенных угольных пластов / Л.В. Новикова, Я.М. Наливайко, В.П. Сердюк // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. тр. – Д.: ИГТМ НАН Украины, 2000. – №33. – С.45 – 48.
10. Новикова Л.В. Оценка степени влияния очистных работ на подготовительные выработки при отработке сближенных пластов / Л.В. Новикова, В.И. Бузило, Я.М. Наливайко // Сб. науч. тр. НГА Украины: Д.: НГУ, 2000. – №10. – С.35 – 38.
11. Новикова Л.В. Напряженно-деформированное состояние массива при разработке свиты пластов / Л.В. Новикова, Я.М. Наливайко, Л.И. Заславская // Геотехническая механика. Межвед. сб. научн. трудов, НАН Украины, ИГТМ. – 2001. – №25. – С.85-88.
12. Новикова Л.В. Определение зон повышенного горного давления и оценка их влияния на отработке сближенных пологих пластов / Новикова Л.В., Наливайко Я.М., Кошка А.Г. // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. тр. – Д.: ИГТМ НАН Украины, 2001. – №26. – С. 87 – 91.

13. Новикова Л.В. Проявления горного давления при надработке и подработке пластовой подготовительной выработки / Л.В. Новикова, Я.М. Наливайко, Л.И. Заславская // Науковий вісник НГА України. – 2001. – №4. – С.34 – 35.
14. Новикова Л.В. Прогнозирование проявлений горного давления при подработке и надработке угольного пласта / Л.В. Новикова, В.И. Бузило, Я.М. Наливайко // Вестник ХГТУ. – 2001. – №12. – С.193 – 196.
15. Иванов А.А. Исследование влияния зон опорного горного давления при отработке свит угольных пластов / А.А. Иванов // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2004: материалы X междунар. научно-практич. конф. – Кемерово: ГУ КузГТУ, 2004. – С.133 – 136.
16. Иванов А.А. Разработка технологических способов доработки запасов угля свиты угольных пластов в сложных техногенных условиях / А.А. Иванов // Нетрадиционные и интенсивные технологии разработки месторождений полезных ископаемых: труды X междунар. конф. – Новокузнецк: СибГИУ, 2005. – С.34 – 35.
17. Иванов А.А. Обоснование технологических требований к комплексу проведения разгрузочных камер / А.А. Иванов, А.В. Чубриков // Горное оборудование и электромеханика. – 2007. – №3. – С.6 – 8.
18. Иванов А.А. Обоснование актуальности создания технологии и технических средств отработки угольных пластов в сложных горно-геологических условиях / А.А. Иванов // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: материалы междунар. научно-практич. конф. – Новокузнецк: СибГИУ, 2004. – С.69 – 71.
19. Пальцев А.И. Особенности формирования зон повышенного горного давления при интенсивной разработке сближенных пластов на шахтах ОАО «СУЭК-Кузбасс» / А.И. Пальцев, В.В. Зубков, Н.В. Кротов // Записки Горного института «Современные проблемы геодинамической безопасности при освоении месторождений полезных ископаемых». – СПб. – 2010. – Т.188. – С. 54 – 57.
20. Зуев Б.Ю. Научно-методические основы физического моделирования нелинейных геомеханических процессов при подземной разработке полезных ископаемых / Б.Ю. Зуев, А.И. Пальцев // Горный информационно-аналитический бюллетень. М.: Изд-во «Горная книга». – 2010. – №5. – С.18-28.
21. Зуев Б.Ю. Физическое моделирование как составная часть геомеханического мониторинга в сложных горно-геологических условиях / Б.Ю. Зуев, Г.И. Коршунов, А.И. Пальцев // Горный информационно-аналитический бюллетень (ГИАБ). – 2010. – №5. – С.29 – 36.
22. Павлова Л.Д. Моделирование пространственного распределения смещений пород кровли при взаимном влиянии горных выработок на сближенных пластах / Л.Д. Павлова, В.Н. Фрянов // ГИАБ. Тематич. прил. Физика горных пород. – 2006. – С. 245 – 251.
23. Павлова Л.Д. Модель блочного обрушения пород кровли при отработке свиты угольных пластов / Л.Д. Павлова, В.Н. Фрянов // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли: труды междунар. конф. – Новосибирск: ИГД СО РАН, 2004. – С. 428 – 432.

24. Павлова Л.Д. Оценка влияния угольных целиков на распределение параметров НДС углепородного массива при отработке свиты пластов / Л.Д. Павлова // ГИАБ. – 2005. – № 11. – С. 40 – 44.
25. Павлова Л.Д. Моделирование геомеханических процессов в разрушаемом углепородном массиве / Л.Д. Павлова // – Новокузнецк: СибГИУ, 2005. – 239 с.
26. Павлова Л.Д. Расчет параметров опорного давления в угольном пласте / Л.Д. Павлова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – №4. – С. 57 – 60.
27. Рогачков А.В. Исследование эффективности мероприятий по снижению влияния горного давления лавы 1827 пласта Толмачевского на вентиляционный штрек ниже подготавливаемой лавы 1829 / В.М. Ануфриев, Л.М. Коновалов, А.В. Ремезов, А.В. Рогачков // Вестник Кузбасского Государственного технического университета. – 2007.– № 4. – С. 17 – 21.
28. Патент 2332588 Российская Федерация, Способ разработки свит сближенных пластов / Зубов В.П., Рогачков А.В., Осминин Д.В.; опубл. 11.06.09.
29. Рогачков А.В. Обоснование способов обеспечения устойчивости подготовительных выработок в зонах повышенного горного давления при разработке сближенных пластов: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 25.00.22 – «Геотехнология (подземная, открытая и строительная)» / А.В. Рогачков. – Санкт-Петербург, 2010 – 20 с.
30. Рогачков А.В. Обоснование требований к тросовым анкерам, используемым для поддержания подготовительных выработок в зонах повышенного горного давления / А.В. Рогачков // Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения: труды 6-й научно-практической конференции. – Воркута: филиал СПГИ (ТУ) ВГИ, 2008. – С.34 – 38.
31. Временное руководство по подработке выбросоопасных и газоносных пластов угля и повышению эффективности дегазационных работ в условиях интенсивной их разгрузки на шахтах Карагандинского бассейна / [Петухов И.М., Баймухаметов С. К., Герцен А. И. и др.]— Ленинград: ВНИМИ, 1988. – 47 с.
32. Временные требования к проектированию и ведению горных работ при отработке свиты газоносных и выбросоопасных пластов / [Атыгаев К.О., Баймухаметов С.К., Герцен А. И. и др.] — Караганда: КНИУИ, 1992. – 40 с.
33. Герцен А.И. Проведение газодренажного штрека по подработанному угольному пласту /А.И. Герцен// Региональная подготовка угольных месторождений к эффективной и безопасной разработке. – М.: МГИ, 1991. – С. 32 – 35.
34. Чирков О. Е. Метод оценки прочности криволинейных обнажений массива горных пород / О.Е. Чирков, Е.Г. Лезгина, А.И. Герцен // Комплексное использование минерального сырья. – 1992. – № 1. – С. 15 – 16.
35. Титов Ю.Н. Рациональное планирование горных работ под городом Горловкой / Ю.Н. Титов, Т.П. Смородина // Управление горным давлением и прогноз безопасных условий освоения угольных месторождений: тр. ВНИМИ. ч.2. – 1990 – С. 147 – 148.

36. Титов Ю.Н. Оценка взаимного влияния горных выработок на параметры процесса сдвижения. / Ю.Н. Титов // Горное давление, горные удары и сдвижение массива: Труды ВНИМИ. 1996. – №172.

37. Титов Ю.Н. Планирование горных работ под застроенными территориями при отработке свит пологих и наклонных пластов. / Ю.Н. Титов // Молодые ученые ВНИМИ горному производству. Л. – 1989. – С. 11 – 12.

38. Зборщик И.П. Охрана выработок в зонах разгрузки при отработке сближенных пластов на больших глубинах / И.П. Зборщик, В.В. Назимко, В.И. Мордасов // Пути улучшения состояния горных выработок: тезисы докладов всесоюз. науч.-техн. совещания. – 1989. – С.18 – 19.

39. Зборщик И.П. О подготовке и очередности выемки запасов при разработке сближенных пластов / И.П. Зборщик, В.В. Назимко, В.И. Мордасов // Уголь Украины. – 1990. – №3. – С.9 – 12.

40. Мордасов В.И. О допустимой мощности междупластья при подработке весьма сближенных антрацитовых пластов / В.И. Мордасов // Уголь Украины. – 1992. – №12. – С. 13 – 16.

41. Зборщик И.П. Расположение и охрана выработок при отдельной отработке сближенных пластов / И.П. Зборщик, В.И. Мордасов // Уголь Украины. – 1993. – №5. – С.8 – 10.

42. Ковалевская И.А. Опорная плита для крепи из спецпрофиля / И.А. Ковалевская, В.И. Мордасов // Уголь Украины. – 1993. – №9. – С.29 – 30.

43. Нефедов А.П. К вопросу устойчивости боковых пород в лаве и штреках очистного участка при выемке свиты угольных пластов Карагандинского бассейна с повторным использованием выработок / А.П. Нефедов // Вопросы подготовки специалистов и исследования в области горного дела. – М.: РУДН. – 1991. – С.35 – 38.

44. Нефедов А.П. Анализ условий одновременной разработки сближенных пологих пластов средней мощности на шахте им. Костенко в Караганде / А.П. Нефедов // Научные исследования в горном деле и языковая подготовка специалистов. – М.: РУДН. – 1992. – С.23 – 26.

45. Нефедов А.П. Требования к технологии одновременной отработки двух сближенных пологих газоносных пластов / А.П. Нефедов // Наука в подготовке горных инженеров из разных стран. – М.: РУДН, – 1993. – С.11 – 15.

46. Халимендик Ю.М. Опыт работы шахты в особо сложных горно-геологических условиях / Ю.М. Халимендик // Уголь Украины. – 1995. – №6. – С. 12 – 14.

47. Усаченко Б.М. Свойства пород и устойчивость горных выработок. / Б.М. Усаченко – Киев: Наукова думка, 1979. – 133 с.

48. Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах: метод. Указания. – Донецк: Мин-во угольной промышленности, 1998. – 149 с.

49. Зборщик М.П. Выбор способов охраны и места расположения подготовительных выработок: монография / М.П. Зборщик, А.С. Братишко, В.П. Прокофьев – К.: Техника, 1970. – 228 с.

50. Суганов В.А. Способы охраны подготовительных выработок при развитии горных работ в свите пластов / В.А. Суганов // Уголь Украины. – 1995. – №8. – С. 6 – 8.
51. Якоби О. Практика управления горным давлением: монография / О. Якоби; пер. с нем. Ф.Ф. Эйнера / под ред. проф. Г.А. Краткова. – М.: Недра, 1987. – 556 с.
52. Зборщик М.П. Механизм сдвижения пород и перераспределения напряжений вокруг выработок, поддерживаемых в обрушенной и утопленной толще / М.П. Зборщик, В.В. Назимко // Разработка месторождений полезных ископаемых: науч.-техн. сб. – 1986. – Вып. 73. – С. 52 – 78.
53. Зборщик М.П. Механизм сдвижения пород надрабатываемой толщи при отработке пологих пластов на глубоких горизонтах / М.П. Зборщик // Разработка месторождений полезных ископаемых. науч.-техн. сб. – 1984. – Вып. 67. – С.89 – 94.
54. Протодьяконов М.М. Давление горных пород и рудничное крепление: монография / М.М. Протодьяконов – М.: ГОНТИ, 1931. – 104 с.
55. Слесарев В.Д. Механика горных пород: монография / В.Д. Слесарев – М.: Углетехиздат, 1948. – 303 с.
56. Динник А.Н. Статьи по горному делу: монография / А.Н. Динник – М.: Углетехиздат, 1957. – 195 с.
57. Христианович С.А. Об обрушении кровли в горных выработках / С.А. Христианович, Г.И. Баренблат // Изв. АН СССР. – 1955. – №11. – С. 73 – 86.
58. Айзаксон Э. Давление горных пород в шахтах: монография / Э. Айзаксон – М.: Изд. Иностр. лит., 1961. – 176 с.
59. Черняев В.И. Прогнозирование напряженного состояния толщи горных пород при подземной разработке угольных пластов / В.И. Черняев, Н.Н. Грищенко // Известия Донецкого горного института. – 1995. – №1. – С. 50 – 54.
60. Зборщик М.П. Компьютерное моделирование геомеханических параметров отработки свит угольных пластов / М.П. Зборщик, Н.Н. Грищенко // Сб. научн. трудов НГА Украины. – Д.: НГАУ, – 1999. – №7. – Т.2. – С. 3 – 7.
61. Колоколов О.В. О порядке отработки весьма сближенных пластов в слабых вмещающих породах / О.В. Колоколов, Н.А. Лубенец, Ю.М. Халимендик // Уголь Украины. – 1994. – N 1. – С. 10 – 13.
62. Колоколов О.В. Эффективная технология разработки весьма сближенных пластов в Западном Донбассе / О.В. Колоколов, Н.А. Лубенец // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 1997. – С. 168 – 171.
63. Колоколов О.В. О сдвижении подработанной толщи при отработке весьма сближенных пластов на шахтах Западного Донбасса / О.В. Колоколов, Н.А. Лубенец // Современные пути развития маркшейдерско-геодезических работ на базе передового отечественного и зарубежного опыта: сб. научн. труд. Днепропетровск, – 1997. – С. 67 – 72.
64. Колоколов О.В. Ресурсо- и энергосберегающая технология разработки сближенных пластов в Западном Донбассе / Колоколов О.В., Лубенец Н.А // Ресурсосбережение и экология промышленного региона. Донецк: Донбасская ГАСА, 1995. – С. 87.

65. Колоколов О.В. Эколого-экономические проблемы разработки сближенных пластов в Западном Донбассе / О.В. Колоколов, Н.А. Лубенец // Эколого-экономические проблемы разведки, разработки и обогащения полезных ископаемых Украины. – Донецк, 1997. – С. 102 – 103.
66. Бузило В.И. Исследование состояния выемочных штреков при отработке сближенных пластов Западного Донбасса / [В.И. Бузило, В.Е. Васильев, А.Г. Кошка и др.] // Разработка рудных месторождений: научн.-техн. сб. – Кривой Рог. – 2004. – Вып. 87. – С.32 – 34.
67. Васильев В.Е. Анализ условий разработки пластов Западного Донбасса / В.Е. Васильев // Науковий вісник НГУ. – 2004. – №9. – С. 6 – 11.
68. Бузило В.И. Особенности проявлений горного давления в лавах при отработке сближенных угольных пластов в условиях шахт Западного Донбасса / [В.И. Бузило, В.Е. Васильев, В.П. Расстрига и др.] // Науковий вісник НГУ. – 2004. – №11. – С. 24 – 28.
69. Новикова Л.В. Определение смещений в окрестности очистных забоев на сближенных пластах в условиях надработки / Л.В. Новикова, Л.И. Заславская, В.Е. Васильев // Сб. науч. тр. НГУ. – Д.: РИК НГУ, 2004. – №20. – С. 37 – 43.
70. Новикова Л.В. Определение рационального местоположения подготовительных выработок на сближенных пластах / Л.В. Новикова, Л.И. Заславская, В.Е. Васильев // Науковий вісник НГУ. – Д.: 2005. – №3. – С. 22 – 25.
71. Борисов А.А. Взаимодействие выработок при разработке свит пластов: монография / А.А. Борисов – М.: МГИ, 1980. – 96 с.
72. Борисов А.А. Расчет опорного давления вариационным методом / А.А. Борисов, Н.Н. Кайдалов, В.Г. Лабазин // Физические процессы горного производства. – 1976. – №3. – С. 17 – 23.
73. Борисов А.А. Расчеты горного давления в лавах пологих пластов: монография / Борисов А.А. – М.: Недра, 1964. – 278 с.
74. Борисов А.А. Новые методы исследований и расчетов горного давления в лавах пологих пластов: дис. д-ра техн. наук / Борисов А.А. – Л.: ЛГИ, 1960 – 276 с.
75. Годунов С.К. Разностные схемы: монография / С.К. Годунов, В.С. Рябенький – М.: Наука, 1973. – 632 с.
76. Самарский А.А. Численные методы: монография / А.А. Самарский – М.: Наука, 1989. – 429 с.
77. Бахвалов Н.С. Численные методы: монография / Н.С. Бахвалов – М.: Наука, 1973. – 632 с.
78. Калиткин Н.Н. Численные методы: монография / Н.Н. Калиткин – М.: Наука, 1978. – 197 с.
79. Дэннис Д. Численные методы безусловной оптимизации и решения нелинейных уравнений: монография / Д. Дэннис – М.: Мир, 1988. – 440 с.
80. Зенкевич О. Конечные элементы и аппроксимация: монография / О. Зенкевич, К. Морган – М.: Мир, 1986.
81. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике: монография / О. Зенкевич – М.: Мир, 1975.

82. Зенкевич О. Метод конечных элементов в теории сооружений и в механике сплошных сред: монография / О. Зенкевич, И. Чанг – М.: Недра, 1974.
83. Амусин Б.З. Метод конечных элементов при решении задач геомеханики: монография / Б.З. Амусин, А.Б. Фадеев – М.: Недра, 1975. – 144 с.
84. Якоби О. Практика управления горным давлением: монография / О. Якоби – М.: Недра, 1987. – 566 с.
85. Ержанов Ж.С. Метод конечных элементов в задачах механики горных пород: монография / Ж.С. Ержанов, Т.Д. Каримбаев – Алма-Ата: Наука, 1975. – 237 с.
86. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике: монография / А. Б. Фадеев – М.: Недра, 1987. – 236 с.
87. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов при решении геотехнических задач и программа «Геомеханика»: – учеб. пособие / А.Б. Фадеев, П.И. Репина, Э.К. Абдылдаев – Л.: ЛИСИ, 1982. – 48 с.
88. Морозов Е.М. Метод конечных элементов в механике разрушения: монография / Е.М. Морозов, Г.П. Никшиков – М.: Наука, 1980. – 256 с.
89. Черданцев Н.В. Устойчивость сопряжения двух горных выработок сводчатой формы / Н.В. Черданцев, В.Ю. Изаксон // ФТПРПИ. – 2004. – №2. – С. 48 – 51.
90. Норри Д. Введение в метод конечных элементов: монография / Д. Норри, Де Фриз Ж. – М.: Мир, 1981. – 304 с.
91. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы: монография / Галлагер Р. – М.: Мир, 1984.
92. Деклу Ж. Метод конечных элементов: монография / Ж. Деклу – М.: Мир, 1976.
93. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов: монография / Л. Сегерлинд – М.: Мир, 1979. – 392 с.
94. Белоцерковский О.М. Численное моделирование в механике сплошных сред: монография / О.М. Белоцерковский – М.: Физ.-мат. лит., 1994.
95. Walaszczyk J. Model niszczenia skal stropowych gorotworu bedacego zrodlem intensywnych zjawisk dynamicznych: монография / J. Walaszczyk, J. Drzewiecki, G. Mutke. – Krakow – PATRIA, 2002. – 99 p.
96. Протосеня А.Г. Пространственное напряженно-деформированное состояние призабойной зоны массива пород при сооружении тоннелей в нелинейно-деформируемых грунтах / А.Г. Протосеня, Д.А. Потемкин // Изв. вузов. Горный журнал. – 2002. – №6. – С. 45 – 48.
97. Назимко И.В. Обоснование параметров интенсивной технологии выемки угольных пластов на больших глубинах: дис. канд. техн. наук / И.В. Назимко. – Д., 2009. – 158 с.
98. Назимко И.В. Исследование влияния скорости подвигания очистного забоя на характер деформирования покрывающих пород / И.В. Назимко // Вісник КТУ. – 2006. – № 5 (15). – С. 41 – 45.
99. Назимко И.В. Особенности структуры обрушения и уплотнения пород при высоких скоростях подвигания очистного забоя / И.В. Назимко // Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические

явления в горных породах и выработках: сб. науч. тр. XVII междунар. школы. – Симферополь: ТНУ, 2007. – С. 215 – 217.

100. Назимко И.В. Параметры зоны максимальных прогибов при разных скоростях подвигания очистного забоя / И.В. Назимко // Проблемы гірського тиску: зб. наук. пр. ДонНТУ. – 2007. – С. 56 – 68.

101. Хозяйкина Н.В. Закономерности генерального обрушения кровли лавы в условиях шахт ГК "Добропольеуголь" / Н.В. Хозяйкина // Изв. Тульского гос. ун-та. Серия "Геомеханика. Механика подземных сооружений". – 2003. – Вып. 1. – С. 318 – 322.

102. Хозяйкина Н.В. Закономерности изменения напряженно-деформированного состояния породного массива на первом этапе отработки угольного пласта / Н.В. Хозяйкина, Е.А. Сдвижкова // Зб. наук. пр. НГУ. – Д.: РВК НГУ, 2003. – Т. 1, № 17. – С. 312 – 317.

103. Хозяйкина Н.В. Закономерности обрушения пород кровли лав, вмещающих пласт прочных горных пород / Н.В. Хозяйкина // Информ. бюл. Московского гос. горного ун-та. – 2004. – № 1. – С. 174 – 177.

104. Хозяйкина Н.В. Обрушение пород кровли в лавах пологозалегающих пластов / Н.В. Хозяйкина // Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений: тезисы докл. междунар. науч.-техн. конф. – Донецк: Норд-пресс, 2004. – С. 70 – 72.

105. Хозяйкина Н.В. Закономірності зміни граничного напруженого стану у складноструктурній покрівлі лав положистих вугільних пластів: дис. ... канд. техн. наук / Н.В. Хозяйкина. – Д., 2004. – 144 с.

106. Cao C. Advanced numerical modeling methods of rock bolt performance in underground mines. / C. Cao, J. Nemcik N. Aziz // 10th Underground Coal Operators' Conference, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy. – 2010. – P. 326 – 329.

107. Aziz N. Optimisation of the Bolt Profile Configuration for Load Transfer Enhancement / Aziz N., Jalalifar. H. Remennikov A., Sinclair S., Green, A. // Coal 2008: Coal Operators' Conference, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy. – 2008. – P. 125 – 131.

108. Aziz N. Experimental and numerical methodology assessment of load transfer capacity of bolts. / N. Aziz, H. Jalalifar // Proc. 24th International Conference on Ground Control in Mining, August, 2-4, Morgantown, WV, USA. – 2005. – P. 285 – 293.

109. Aziz N. The role of Profile configuration on load transfer mechanism of bolt for effective support. / N. Aziz, H. Jalalifar // Journal of Mines Metals and Fuels, Dec. – 2007. – P. 539 – 545.

110. Oraee K. Estimation of Coal Pillar Strength by Finite Difference Model. / Oraee K., Hosseini N., Gholinejad M. // Coal 2009: Coal Operators' Conference, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2009. P. 54-61.

111. Hosseini N. Modeling of pillars in longwall method using advanced numerical techniques, M.Sc. Thesis / N. Hosseini – Islamic Azad University, South of Tehran branch. – 2007.

112. Oraee K. Estimating coal pillar strength using finite element model / K. Oraee, N. Hosseini // Proceedings of First International conference on mining and mining consequence, Mashhad, Iran. – 2007. – P. 13 – 21.
113. Oraee K. Logical design of yield pillar base in longwall mining / K. Oraee, N. Hosseini, M. Qolinejad // Proceedings of MPES08 conference. – Beijing, China. – 2008. – P. 706 – 713.
114. Oraee K. 3D strain softening modelling of coal pillars in a deep longwall mine. / K. Oraee, N. Hosseini, M. Qolinejad // In: proceedings of MPES08 conference. – Beijing, China. – 2008.
115. Виноградов В.В. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок: монография / В.В. Виноградов. – К. : Наук. думка, 1989. – 192 с.
116. Булат А.Ф. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт: монография / А.Ф. Булат, В.В. Виноградов – Днепропетровск: Вільпо, 2002. – 372 с.
117. Круковский А.П. Влияние опорной шайбы на напряженно-деформированное состояние приконтурного массива вокруг одиночного анкера. / А.П. Круковский // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. тр. – Д.: ИГТМ НАН Украины. – 2007. – №68. – С. 123 – 128.
118. Слащев И. Н. Шахтные исследования устойчивости систем поддержания штреков в условиях легкообрушаемых пород западного донбасса / И.Н. Слащев // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2012. – Вып. 97. – С. 177 – 185.
119. Булат А.Ф. Разработка компьютерных систем математического моделирования геомеханических процессов / А.Ф. Булат, И.Н. Слащев // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. тр. – Д.: ИГТМ НАН Украины. – 2012. – Вып. 99. – С. 16 – 27.
120. Виноградов В.В. Породо-анкерные элементы конструкций силового опорно-анкерного крепления / В.В. Виноградов, А.П. Круковский // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. тр. – Д.: ИГТМ НАН Украины. – 2011. – №93. – С. 3 – 18.
121. Солодянкин А.В. Оценка напряженно-деформированного состояния породного массива вокруг очистных выработок комплексом численных методов / А.В. Солодянкин, И.Ю. Старотиторов // Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений: сб. науч. тр. – Донецк: Норд-пресс, 2004. – С. 73 – 74.
122. Солодянкин А.В. Оценка напряженно-деформированного состояния разупрочняющегося породного массива комплексом численных методов / А.В. Солодянкин // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2003. – №4(21). – С. 145 – 149.
123. Шашенко А.Н. Геомеханические процессы в породных массивах: монография / Шашенко А.Н., Майхерчик Т., Сдвижкова Е.А. – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2005. – 319 с.

124. Шашенко А.Н. Геомеханические процессы в породных массивах: монография / Шашенко А.Н., Майхерчик Т., Сдвижкова Е.А. – Д.: НГУ, 2005. – 319 с.
125. Шашенко А.Н. Деформируемость и прочность массивов горных пород: монография / Шашенко А.Н., Сдвижкова Е.А., Гапеев С.Н. – Д.: НГУ, 2008. – 224 с.
126. Шашенко А.Н. Механика горных пород: учебник для вузов / А.Н. Шашенко, В.П. Пустовойтенко. – К.: Новий друк, 2004. – 400 с.
127. Гапеев С.Н. Численное моделирование процесса потери упругопластической устойчивости породного массива в окрестности одиночной выработки / С.Н. Гапеев, А.Н. Шашенко, В.И. Янко // Сб. науч. тр. НГУ.– Днепропетровск: РИК НГУ, 2002.– №15.– т.1.– С.29 – 34.
128. Гапеев С.Н. Моделирование процесса пучения пород почвы выработок, расположенных в сложноструктурном массиве / С.Н. Гапеев, С.В. Борщевский, Е.В. Масленников // Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Гірничо-геологічна».– Донецьк: ДонНТУ, 2003.– Вип. 63.– С.97 – 102.
129. Гапеев С.Н. Исследование процесса потери упругопластической устойчивости массива в окрестности одиночной выработки численными методами / С.Н. Гапеев // Изв. Тульского государственного университета. Серия: “Геомеханика. Механика подземных сооружений”.– Тула: Изд-во ТГУ, 2003.– Вып. 1.– С.65 – 69.
130. Гапеев С.Н. Компьютерное моделирование процесса пучения пород почвы в подготовительных выработках / С.Н. Гапеев, А.П. Рязанцев, С.П. Лозовский // ГИАБ. – М: Изд-во МГГУ, 2003.– №10.– С.99 – 101.
131. Власов С.Ф. Исследование механизма обрушения пород кровли на объемной модели слоистого трансверсально-изотропного массива при подвигании очистного забоя / С.Ф. Власов, А.А. Сидельников // Науковий вісник НГУ. – 2010. – № 2. – С. 14 – 17.
132. Власов С.Ф. Объемное моделирование напряженно-деформированного состояния трансверсально-изотропного массива горных пород вокруг очистной выработки / С.Ф. Власов, А.А. Сидельников // Проблемы недропользования: сб. науч. тр. – СПб.: СПГТИ, 2010. – Ч.1. – С. 174 – 177.
133. Власов С.Ф. Результаты исследования конвергенции горных пород в лаве в зависимости от положения очистного забоя вдоль выемочного столба на объемной модели / С.Ф. Власов, А.А. Сидельников // Науковий вісник НГУ. – 2010. – № 3. – С. 39 – 41.
134. Власов С.Ф. Результаты объемного моделирования напряженного состояния трансверсально-изотропного массива горных пород вокруг очистной выработки / С.Ф. Власов, А.А. Сидельников // Науковий вісник НГУ. – 2010. – № 4. – С. 22 – 26.
135. Vlasov S. Results of the 3-D simulation of the transversely isotropic rock mass stress state around a longwall / S. Vlasov, A. Sidelnikov // New techniques and technologies in mining: CRC Press is an imprint of the Taylor & Francis Group. – Dnepropetrovs'k: LizunovPress Ltd, 2010. – P. 145 – 150.

136. Системные технологии, 2007. – Ч. I. – 198 с.
137. Бондаренко В.И. Прогноз перемещений контура пластовой выработки в слоистом массиве слабых пород: монография / [Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А. и др.] – Д.: Системные технологии, 2008. – 194 с.
138. Бондаренко В.И. Геомеханика взаимодействия рамной и анкерной крепей в единой грузон Сидельников А.А. Обоснование параметров объемного моделирования массива горных пород вокруг очистной и подготовительных выработок / А.А. Сидельников // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. тр. ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины. – 2009. – Вып. 82. – С. 77 – 85.
139. Sidelnikov O.A. Results of the Experimental Researches of the Rock Mass Mode of Deformation in the Conditions of the Mine "Zapadnodonbaskay" / O.A. Sidelnikov // Widening Our Horizons. The 3rd International Forum for Students. – Dnipropetrovsk: NMU, 2008. – P. 182 – 185.
140. Фомичев В.В. Эволюция математического эксперимента в решениях прикладных задач геомеханики / В.В. Фомичев // Науковий вісник НГУ. – 2007. – № 9. – С. 8 – 12.
141. Фомичев В.В. Особенности применения метода конечных элементов в геомеханике / В.В. Фомичев // Науковий вісник НГУ. – 2007. – № 10. – С. 56 – 61.
142. Фомичев, В.В. Обґрунтування параметрів управління шаруватим масивом навколо виїмкових виробок: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.15.02 / В.В. Фомичев. – Д., 2008. – 18 с.
143. Бондаренко В.И. Компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния мелкослоистого породного массива вокруг пластовой выработки. Допредельная стадия деформирования системы «порода - крепь»: монография / [Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А., Фомичев В.В.] – Д.: Системные технологии, 2006. – Ч.1. – 172 с.
144. Бондаренко В.И. Компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния мелкослоистого породного массива вокруг пластовой выработки. Книга II. Предельное и запредельное состояние системы «порода - крепь»: монография / [Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А., Фомичев В.В.] – Д.: есущей системе: монография / [Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А., и др.] – Д.: ЛізуновПрес, 2010. – 174 с.
145. Бондаренко В.И. Развитие научных основ повышения устойчивости горных выработок шахт Западного Донбасса: монография / [Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Мартовицкий А.В., Фомичев В.В.] – Д.: ЛізуновПрес, 2010. – 340 с.
146. Бондаренко В.И. Методы расчета перемещений и упрочнения приконтурных пород горных выработок шахт Западного Донбасса: монография / [Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А. и др.] – Д.: ТОВ «Підприємство «Дріант», 2010. – 328 с.
147. Экспериментальные исследования устойчивости повторно используемых выемочных выработок на пологих пластах Донбасса: монография / [Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А., и др.] – Д.: ЛізуновПрес, 2012. – 426 с.

148. Аналитико-экспериментальные исследования устойчивости выемочных выработок и расчет параметров крепежной системы: монография / [Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А., и др.] – Д.: ЛізуновПрес, 2013. – 178 с.
149. Ковалевская И.А. Анализ подходов к разработке методов расчета параметров упрочнения вмещающих горную выработку слабых пород анкерами: монография / И.А. Ковалевская, В.В. Поротников, В.В. Фомичев // Науковий вісник НГУ. – 2005. – №8. – С. 7 – 8.
150. Kovalevska I. Optimization of frame-bolt support in the development workings, using computer modeling method / I. Kovalevska, O. Vivcharenko and V. Fomyuchov // Proceedings of XXII World mining congress & Expo, Vol.1, September 11 – 16, 2011, Istanbul, – P. 267 – 278.
151. Фомичев В.В. Предпосылки построения расчетных моделей рамно-анкерной крепи с учетом нелинейных характеристик поведения физических сред / В.В. Фомичев // Науковий вісник НГУ. – 2012. – № 4. – С. 54 – 58.
152. Чигарев А.В. ANSYS для инженеров: справочное пособие / А.В. Чигарев, А.С. Кравчук, А.Ф. Смалюк. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 512 с.
153. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах / К.А. Басов. – М.: КомпьютерПресс, 2002. – 224 с.
154. Морозов Е.М. ANSYS в руках инженера: механика разрушений / Морозов Е.М., Музеймек А.Ю., Шадский А.С. – М.: ЛЕНАНД, 2010. – 456 с.
155. Каплун А.Б. ANSYS в руках инженера: практическое руководство / Морозов Е.М., Каплун А.Б., Олферьева М.А. – М.: ЛИБРОКОМ, 2009. – 272 с.
156. Огородникова О.М. Введение в компьютерный конструкционный анализ: Методические указания по курсу "Компьютерная диагностика" / О.М. Огородникова. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, – 2001. – 47 с.
157. Баклашов И.В. Механика подземных сооружений и конструкции крепей / И.В. Баклашов, Б.А. Картозия. – М.: Недра, 1984. – 415 с.
158. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений / Н.С. Булычев. – М.: Недра, 1982. – 272 с.
159. Баклашов И.В. Механические процессы в породных массивах / И.В. Баклашов, Б.А. Картозия. – М.: Недра, 1986. – 415 с.
160. Руппенейт, К.В. Некоторые вопросы механики горных пород / К.В. Руппенейт. – М.: Углетехиздат, 1954. – 384 с.
161. Соппротивление материалов / под ред. Г.С. Писаренко. – К.: Вища школа, 1979. – 696 с.
162. Sotskov V. Investigation of the rock massif stress strain state in conditions of the drainage drift overworking. / V. Sotskov, I. Saleev // Mining of mineral deposits– Netherlands: CRC Press /Balkema, 2013. – P. 197 – 201.
163. Соцков В.А. Исследование влияния надработки дренажного штрека на напряженно-деформированное состояние крепежной конструкции. / В.А. Соцков // Розробка родовищ: щорічн. Зб. – ТОВ «ЛізуновПрес», 2013. – С. 317 – 322.

164. Бондаренко В.И. Геомеханика нагружения крепи очистных и подготовительных выработок в слоистом массиве слабых пород: монография / [В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, Г.А. Симанович, В.Г. Черватюк]. – Д: ТОВ «ЛізуновПрес», 2012. – 236 с.
165. Слесарев В.Д. Механика горных пород : учебник / В.Д. Слесарев. – М.: Углетехиздат, 1948. – 236 с.
166. Руппенейт К.В. Давление и смещение горных пород в лавах пологопадающих пластов: монография / К.В. Руппенейт – М.: Углетехиздат, 1957. – 228 с.
167. Ильштейн А.М. Закономерности проявления горного давления в лавах пологопадающих пластов каменноугольных месторождений: монография / А.М. Ильштейн. – М.: Углетехиздат, 1958. – 217 с.
168. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов: учебник / А.А. Борисов. – М.: Недра, 1980. – 380 с.
169. Кузнецов Г.Н. Взаимодействие боковых пород и крепи в очистных выработках пологопадающих пластов каменного угля / Г.Н. Кузнецов // Исследования по вопросам маркшейдерского дела. – М.: Углетехиздат, 1953. – С. 28 – 36.
170. Кузнецов Г.Н. О механизме взаимодействия боковых пород и крепи в очистных выработках пологопадающих угольных пластов / Г.Н. Кузнецов // Исследования горного давления применительно к механизированным крепям. – М.: Углетехиздат, 1954. – С. 31 – 38.
171. Зборщик М.П. Охрана выработок глубоких шахт в зонах разгрузки: монография / М.П. Зборщик, В.В. Назимко. – К.: Техніка, 1991. – 248 с.
172. . Савостьянов А.В. Управление состоянием массива горных пород: учеб. пособие / А.В. Савостьянов, В.Г. Клочков. – К.: УМК ВО, 1992. – 276 с.
173. Бондаренко В.И. Теория управления состоянием массива горных пород: учебник / В.И. Бондаренко, М.А. Ильяшов, Н.К. Руденко. – Днепропетровск: ТОВ «ЛізуновПрес», 2012. – 320 с.
174. Акимов А.Г. Сдвигение горных пород при подземной разработке угольных и сланцевых месторождений: монография / [А.Г. Акимов, В.Н. Земисев, Н.Н. Канцельсон и др.]. – М.: Недра, 1970. – 224 с.
175. Заря Н.М. Схема механизма сдвижения толщи пород при выемке пологих пластов угля одиночной лавой / Н.М. Заря, Ф.И. Музафаров // Уголь Украины. – 1966. – № 12. – С. 9 – 12.
176. Четверик М.С. Теория сдвижения массива горных пород и управления деформационными процессами при подземной выемке угля: монография / М.С. Четверик, Е.В. Андрощук – Д.: РИА «Днепр – VAL», 2004. – 148 с.
177. Ван-Итерсон Ф.К.Т. Давление кровли на угольный пласт впереди забоя при разработке лавами по простиранию / Ф.К.Т. Ван-Итерсон // Вопросы теории горного давления. – М.: Госгортехиздат, 1961. – С. 182 – 199.
178. Лабасс А. Давление и движение пород / А. Лабасс // Международная конференция по горному давлению. – М.: Госгортехиздат, 1961. – С. 59 – 164.
179. Sotskov V. Analysis of stress-strain state of the cable bolts installed in the face exit while the longwall face approaches / V. Bondarenko, V. Fomichov,

V. Sotskov // Geotechnika I budownictwo specjalne 2014 – XXXVII Zimowa Szkola Mechaniky Gorotworu, Wisla-Jawornik,. – Krakow: AGH, 2014. – P. 89 – 94.

180. Соцков В.А. Определение и анализ изменения допустимых показателей напряженно-деформированного состояния элементов рамно-анкерной крепи демонтажного штрека при подходе очистного забоя / В.В. Фомичев., В.А. Соцков, А.В. Малыхин // Науковий вісник НГУ – 2014. – № 1. – С. 22 – 26.

181. Соцков В.А. Исследование модели изменения состояния дренажного штрека в условиях надработки в шахтах Западного Донбасса / В.В. Фомичев, В.А. Соцков / Вісник НТУУ „КПІ”. Серія «Гірництво»: зб. наук. праць. – К.: НТУУ „КПІ”.–2014. – Вип.24. – С. 71 – 77.

182. Sotskov V. Using spatial modeling to determine the rational parameters of workings fastening in Western Donbass conditions / V. Bondarenko, V. Sotskov // 15 Geokinematischer Tag – Freiberg, Deutschland, 2014. – P. 301 – 305.

183. Соцков В.А. Геомеханические исследования влияния очистных работ на устойчивость магистральных выработок / В.А. Соцков // Наукові праці УкрНДМІ НАН України : – Донецьк, 2014. – № 14. – С. 229 – 240.

184. Соцков В.А. Особенности использования вычислительного эксперимента в упругопластической постановке для условий Западного Донбасса / В.И. Бондаренко, В.В. Фомичев, В.А. Соцков // Збірник наукових праць ДонДТУ – Алчевськ, 2014. – №42. – С. 15 – 21.

185. Соцков В.А. Определение зон повышенных напряжений, влияющих на устойчивость демонтажной камеры в зоне очистных работ / Г.А. Симанович, В.В. Фомичев, В.А. Соцков // Геотехническая механика. межвед. сб. научн. трудов, НАН Украины, ИГТМ, 2014. – Вып.114. – С. 113 – 124.

186. Соцков В.А.Определение изменения несущих характеристик элементов крепи штрека при его надработке в условиях мелкослоистого породного массива / В.В. Фомичев, В.А. Соцков, А.С. Гусев // Розробка родовищ: щорічн. Зб. – Днепропетровск: ТОВ «ЛізуновПрес», 2014. – С. 399 – 407.

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

188. СОУ 10.1.00185790.011:2007. Підготовчі виробки на пологих пластах. Вибір кріплення, способів і засобів охорони. К.: Мінвуглепром України, 2007. – 113 с.

189. Дренер Н. Прикладной регрессионный анализ: монография / Н. Дренер, Т. Смит. – М.: Финансы и статистика. 1987. – 355 с.

190. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул: монография / Е.Н. Львовский. – М.: Высшая школа, 1988. – 230 с.

Наукове видання

Соцков Вадим Олександрович

**РОЗТАШУВАННЯ І КРІПЛЕННЯ ВИРОБОК,
ЩО НАДПРАЦЬОВУЮТЬСЯ ПРИ ВЕДЕННІ ОЧИСНИХ РОБІТ**

Монографія

Друкується в авторській редакції

Підписано до друку 01.02.2017. Формат 30x42/4.
Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк. 6,9.
Обл.-вид. арк. 6,9. Тираж 35 пр. Зам. №

Підготовлено до друку та видруковано
у Державному ВНЗ «Національний гірничий університет».
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842 від 11.06.2004.

49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19.