

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГОРНАЯ АКАДЕМИЯ УКРАИНЫ**

На правах рукописи

ГАВРИЛЕНКО ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СДВИЖЕНИЙ
ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ
РАЗРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ В УСЛОВИЯХ
НАРУШЕННОГО ЗАЛЕГАНИЯ ПОРОД**

Специальность 05.15.01 "Маркшейдерия"

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

доктора технических наук

ДНЕПРОПЕТРОВСК

1997

Аб. 38 248

Диссертация является рукописью

Работа выполнена в Донецком государственном техническом университете

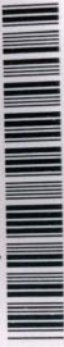
Официальные оппоненты: Доктор технических наук, профессор
Мякенький Валентин Иванович

Доктор технических наук, профессор
Назимко Виктор Викторович

Доктор технических наук, профессор
Парчевский Леонид Яковлевич

Ведущая организация - Донецкий физико-технический институт
им. А.А.Галкина НАН Украины:

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00737933 (W)

Защита состоится "10" июля 1997 года в 10⁰⁰ часов на заседании специализированного совета Д 03.06.03 при Государственной горной академии Украины.

Адрес: 320027, г. Днепропетровск, пр. К.Маркса, 19.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственной горной академии Украины.

Автореферат разослан "10" июня 1997 года.

Ученый секретарь
специализированного совета
доктор технических наук,
профессор

И.А.Садовенко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В Донецком бассейне за последние почти три десятилетия все наиболее значительные (аварийные) повреждения зданий и сооружений произошли при ведении горных работ в массивах с нарушенным залеганием пород. Хотя число таких поврежденных зданий невелико по отношению к общему количеству подрабатываемых объектов, но эти случаи оказывают большое психологическое воздействие. На их основании у общественности создается ошибочное представление о разрушительности горных работ. При проектировании застройки строители опасаются практически всех нарушений. В случаях любых серьезных повреждений объектов исследователи пытаются связать их с влиянием геологической нарушенности толщи.

Под нарушенным залеганием пород в работе подразумеваются следующие условия: массивы с разрывными тектоническими нарушениями, складчатые структуры, отдельные крутые пласты и свиты крутопадающих пластов, которые отрабатываются на крыльях различных типов складок.

В теории сдвижения установление особенностей и закономерностей влияния геологических нарушений на деформации земной поверхности является одной из наиболее трудных проблем. Это обусловлено очень сложным залеганием пород и большим количеством влияющих факторов, которые в конечном итоге определяют сдвижение земной поверхности, как интегральной характеристики деформирования всего массива горных пород. Для условий нарушенного залегания пород в настоящее время нет достаточно обоснованной модели процесса сдвижения подрабатываемой толщи и земной поверхности.

Повысить достоверность прогнозов, а также управлять процессом, снижая вредное влияние горных работ, можно только на основе установления схем сдвижения, объясняющих условия, причины и механизм влияния нарушений. Поэтому научное обоснование методов прогноза деформаций земной поверхности в условиях нарушенного залегания горных пород для охраны поверхностных объектов при их подработке представляет собой важную научную и народнохозяйственную проблему.

Целью работы является научное обобщение и установление причин, закономерностей и зависимостей деформирования подрабатываемых нарушенных массивов горных пород для прогнозирования сдвижений и деформаций земной поверхности и повышения надежности охраны застроенных территорий.

Идея работы заключается в представлении подрабатываемой толщи горных пород как тонкослоистой анизотропной среды и создании моделей, описывающих соотношения основных структурных элементов нарушенных массивов.

Методы исследований. Поставленная в диссертационной работе цель достигнута путем применения комплексного подхода к выполнению исследований,

включающего целенаправленный анализ литературных данных, анализ и обобщение маркшейдерских наблюдений на долговременных и специальных наблюдательных станциях, геологические исследования на экспериментальных участках, численное моделирование процессов сдвижения методом конечных элементов, аналитические исследования методами математической статистики, теории случайных процессов, методами наименьших квадратов и наименьших модулей.

Основные научные положения, выносимые на защиту, и их новизна:

1) При расчетах сдвижений в широком диапазоне горно-геологических условий весь массив вмещающих пород можно рассматривать как анизотропную (трансверсально изотропную) среду, модуль сдвига которой составляет 5-10% от модуля сдвига изотропного массива, что позволяет получить в условиях моноклинального залегания высокую сходимость (до 10%) расчетных и фактических сдвижений земной поверхности. Значение модуля сдвига существенным образом влияет на направление векторов сдвижения подрабатываемой толщи: с его уменьшением векторы сдвижения в основной части зоны влияния выработки стремятся к направлению нормалей к напластованиям.

2) Основной причиной аномального проявления сдвижения в складчатых слоистых массивах является анизотропия, определяемая изменением углов падения пород.

3) Влияние разрывных тектонических нарушений на сдвижение подрабатываемой толщи и земной поверхности заключается в передаче меньшей нагрузки на краевые опорные зоны вследствие разрыва породных слоев. Асимметричное распределение напряжений в массиве обуславливает аномальный характер распределения сдвижений и деформаций. Степень влияния нарушения на сдвижения и деформации земной поверхности зависит главным образом от положения разрыва в зоне влияния очистной выработки. При наличии в массиве разрывной и пликативной нарушенности основное влияние на процесс сдвижения оказывает складчатость.

4) При разработке свиты крутопадающих пластов распределение сдвижений и деформаций характеризуется общей мульдой сдвижения с одним максимумом оседаний, которая подобна мульде сдвижения от одиночной лавы. При нисходящем порядке отработки горизонтов размеры общей мульды и ее перемещение зависят от горизонтальной мощности отрабатываемой свиты.

5) Основным условием образования уступов при разработке свиты крутопадающих пластов является наличие в толще мощных прочных породных слоев. Уступы максимальной высоты возникают в полумульде по восстанию и приурочены к почве мощных слоев песчаников. В развитии уступа выделяются три стадии: рост, стабильное состояние и закрытие, которые связаны с его положением

в общей мульде сдвижения от всех предыдущих выработок, а продолжительности стадий определяются скоростью смещения центра мульды.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается:

- использованием фундаментальных положений теории сдвижения горных пород и земной поверхности, механики горных пород, метода конечных элементов, структурной геологии, теории вероятностей и математической статистики, теории ошибок и способа наименьших квадратов;

- большим объемом многолетних маркшейдерских наблюдений в различных горно-геологических условиях, который использован для обобщения и установления основных закономерностей: 25 наблюдательных станций в складках, 23 наблюдательные станции на выходах разрывных нарушений, 7 наблюдательных станций при разработке свиты крутопадающих пластов;

- исследованиями на 30 аналитических моделях, включающих более 500 расчетов;

- удовлетворительной сходимостью прогнозных сдвижений и деформаций земной поверхности в условиях нарушенного залегания пород с измеренными значениями на наблюдательных станциях (отклонения в оседаниях не более 20%, в горизонтальных деформациях и наклонах до 40%).

Научное значение работы состоит в установлении причин, условий и закономерностей деформирования массивов с нарушенным залеганием пород и создании принципиально нового подхода к расчету сдвижений земной поверхности, который позволяет учесть тектоническую структуру подрабатываемой толщи.

Практическое значение работы:

- разработана технология прогноза сдвижений и деформаций земной поверхности, учитывающая геологическое строение подрабатываемой толщи, что позволяет более оптимально выбирать конструктивные и горные меры защиты зданий и сооружений;

- разработана компьютерная технология обработки и анализа наблюдений за деформациями земной поверхности и математического моделирования процессов сдвижения методом конечных элементов;

- установлены основные параметры процесса сдвижения при разработке свиты крутопадающих пластов в Центральном районе Донбасса, которые обеспечивают точность прогнозных сдвижений 6-12% при участии в расчете до 40 выработок.

Реализация выводов и рекомендаций работы. Результаты исследований использованы как составная часть при подготовке следующих нормативно-методических документов.

1. Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород, земной поверхности и подрабатываемыми сооружениями на угольных и сланцевых месторождениях (Утверждена Минуглепромом СССР 30.12.1987 г.);

2. Методические указания по наблюдениям за сдвижением горных пород и за подрабатываемыми сооружениями. (ВНИМИ, 1987 г.);

3. Методические указания по прогнозу сдвижений и деформаций земной поверхности и определению нагрузок на здания при многократных подработках. (ВНИМИ, 1987 г.);

4. Временные технические условия по охране сооружений и природных объектов от влияния горных разработок (УкрНИМИ, 1995 г. Утверждены Минуглепромом Украины 11.01.1996, КД-12.00159226.013-95)

Комплексы программ по обработке, анализу наблюдений и прогнозированию сдвижений и деформаций в течении более 10 лет используются в БСМР ПО "Донецкуголь", " Торезантрацит", УкрНИМИ, в проектных институтах и на ряде шахт Донбасса.

Апробация работы. Основные научные и прикладные положения работы докладывались и получили одобрение: на научно-технических конференциях вузов Украины "Маркшейдерское обеспечение горных работ " (Донецк, 1991-1997); на IV республиканской конференции " Молодые ученые прогрессу в угольной промышленности"(Донецк, 1984); на совместных заседаниях секции маркшейдерской службы и геологии НТС Минуглепрома УССР и республиканского правления НТО горное (Ворошиловград, 1981, Краснодар, 1982); на научно-практической конференции "Повышение эффективности определения осадок инженерных сооружений и геодинамических исследований" (Воронеж, 1988); на XV рабочем заседании 4-ой комиссии Всемирного общества маркшейдеров ISM (Бохум, Германия, 1992); на заседаниях секции сдвижения горных пород ВНИМИ (Ленинград, 1981-1991); на научно-технической конференции "Современные пути развития маркшейдерско-геодезических работ на базе передового отечественного и зарубежного опыта" (Днепропетровск, 1997).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 32 работы, в том числе 3 авторских свидетельства на изобретения и 4 нормативно-методических документа.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы из 222 наименований. Изложена на 261 страницах машинописного текста, содержит 114 рисунков и 26 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Результаты исследований сдвижения земной поверхности и опыт выемки запасов под застроенными территориями показывает, что геологические наруше-

ния при их подработке достаточно часто приводят к аномальному развитию процесса сдвижения в массиве горных пород и на земной поверхности. В настоящее время их учет становится определяющим при выборе мер охраны поверхностных объектов, т.к. ожидаемые сдвигения и деформации в условиях моноклинального залегания либо небольшие по величине, либо предрасчитываются с удовлетворительной для инженерных целей точностью. Исторически сложилось, что исследования процессов сдвижения и обобщение результатов при подработке разрывных нарушений, в складках и при разработке свиты крутопадающих пластов проводились отдельно, хотя указанные условия в большинстве случаев взаимосвязаны геологически и геомеханически.

Исследованиями процессов сдвижения в складках занимались Земисев В.Н., Файнштейн Ю.Б., Иофис М.А., Панин Ю.Г., Петухов И.А., Стрельникова К.В., Ягунов А.С. В современных представлениях причиной аномального сдвижения в складках считается влияние осевой поверхности, как зоны нарушенных и ослабленных пород, из-за чего по ней возможны смещения пород. Попытки получить условия предельного равновесия вдоль осевой поверхности не привели к положительным результатам.

Наиболее полным отображением процессов происходящих с синклинальных складках отвечает схема Земисева В.Н., и Файнштейна Ю.Б., в которой выделяются сдвигения связанные с изгибом слоев по нормали к напластованию и сдвигения по напластованиям в отработываемом и противоположном крыле. Однако факторы, определяющие указанные виды сдвижения недостаточно обоснованы. Существующая методика расчета привязана к анализу положения в зоне влияния выработки осевой поверхности, сдвигения рассчитываются в отдельных точках земной поверхности, а между ними предполагается линейное изменение сдвижений и, следовательно, постоянные деформации.

Исследованиям сдвижений земной поверхности при наличии в массиве разрывных тектонических нарушений посвящены работы Коваленко В.И., Земисева В.Н., Файнштейна Ю.Б., Егоровой Г.П., Ягунова А.С., Дягилева И.А. Основным методом оценки влияния разрывов было сравнение наблюдаемых (измеренных) деформаций с ожидаемыми в обычных условиях подработки. При этом в учет принимались только ограниченные участки в районе выхода нарушения под наносы без анализа влияния нарушений на распределение сдвижений и деформаций в пределах всей мульды сдвижения. В качестве критериев, характеризующих степень влияния нарушения были приняты коэффициенты концентрации деформаций, представляющие собой отношение максимальных наблюдаемых деформаций в местах выходов разрывов под наносы к максимальным ожидаемым в мульде сдвижения.

На основании ограниченного объема натуральных наблюдений и достаточно общих представлениях о возможном влиянии нарушений на процесс сдвижения разработана методика расчета, в основе которой лежит принцип, предложенный Д.А.Казаковским, а именно: вначале производится расчет сдвижений и деформаций земной поверхности как для обычных условий, а затем учитывается влияние нарушения путем введения соответствующих поправок, которые последующие исследователи именуют коэффициентами концентрации. Такой подход имеет ряд существенных недостатков, основные из которых состоят в следующем. Коэффициенты концентрации могут быть получены только экспериментальным путем. Поэтому для их надежного определения необходим очень большой объем натуральных наблюдений при различных параметрах выработок и нарушений, а также при различных их взаимных положениях. При таком подходе теряется смысл расчета ожидаемых сдвижений и деформаций, невозможно учесть влияние нескольких выработок или нескольких нарушений. Существующая методика прогноза недостаточно обоснована, характеризуется низкой точностью и надежностью. Так, анализ 30 случаев подработки показал, что прогнозные деформации в большинстве случаев значительно превышают наблюдаемые величины. Разности между ними для наклонов достигают 1350%, составляя в среднем 350%, а для горизонтальных деформаций соответственно 780 и 250%.

Крутопадающие пласты также можно отнести к условиям нарушенного залегания, т.к. они приурочены к крыльям различных типов складок. Если в условиях разработки одиночных пластов нет особых проблем с расчетом ожидаемых деформаций, хотя и здесь точность гораздо ниже чем при пологом залегании, то при разработке свиты крутопадающих пластов в Центральном районе Донбасса данный вопрос сильно усложняется. Это связано с большим количеством разрабатываемых пластов и практически непрерывным процессом сдвижения. Основное внимание исследователей, среди которых необходимо выделить Иофиса М.А., Земисева В.Н., Черняева В.И., Сирика А.Г. и др., было направлено на прогнозирование величин сосредоточенных деформаций в виде уступов, как правило, в полумульде по падению. Разработке методов расчета плавных сдвижений и деформаций практически не уделялось внимания. Вместе с тем, как показала выполненная оценка точности, максимальные ожидаемые оседания и горизонтальные сдвижения в 1.5-2 раза превышают фактические величины. Это является следствием слабой надежности и обоснованности принятых параметров.

Маркшейдерские наблюдения являются в настоящее время основным методом исследований. Однако по ним получают только картину деформирования земной поверхности, по которой невозможно однозначно объяснить процессы,

происходящие в толще и установить причины аномального деформирования. В связи с этим важное значение приобретает моделирование процессов сдвижения, особенно математическое, при котором в отличие от физического возможна повторяемость и сопоставимость с ненарушенным массивом.

Имеющиеся в мировой практике исследования методами математического моделирования посвящены, в основном, оценке напряжений в различных зонах, прилегающих к очистной выработке. Вопросы определения перемещений, тем более на земной поверхности, удаленной на несколько сот метров, практически не рассматривались. Поэтому необходимо разработать основные принципы, методику и программные средства, позволяющие изучать влияние как пликативных, так и разрывных нарушений на сдвижение толщи и земной поверхности.

В существующих подходах к объяснению причин аномального развития сдвижений и разработке методик расчета заложены упрощенные представления о нарушенных массивах. Так, осевая поверхность складки считается ослабленной зоной, а разрывное нарушение - это трещина, по которой возможен сдвиг пород или зона перемятых до глинистого состояния пород. Кроме того до настоящего времени не рассматривались случаи подработки массивов с одновременным проявлением разрывной и пликативной тектоники.

Обобщая вышесказанное были сформулированы следующие задачи исследований:

1. Выявление особенностей строения угленосной толщи в зонах разрывных и пликативных нарушений с точки зрения их влияния на деформации массива горных пород и земной поверхности.

2. Разработка основных принципов, методики и программных средств для моделирования сдвижения методом конечных элементов.

3. Установление причин и закономерностей деформирования земной поверхности в складчатых структурах.

4. Выявление особенностей деформирования земной поверхности при подработке разрывных нарушений.

5. Обобщение закономерностей деформирования нарушенных массивов горных пород и разработка технологии прогноза сдвижений земной поверхности с учетом геологической структуры массива.

6. Определение параметров процесса сдвижения и совершенствование методики прогноза деформаций земной поверхности при разработке свиты крутопадающих пластов.

Глава 2 посвящена методам выполнения исследований и их совершенствованию.

Для решения поставленных задач принят комплекс методов, включающий выполнение маркшейдерских наблюдений за деформациями земной поверхности

сти, их обобщение и научный анализ, геологические исследования на экспериментальных участках, математическое моделирование методом конечных элементов (МКЭ).

Для изучения процессов сдвижения в природных условиях были заложены 15 специальных наблюдательных станций, где вместе с маркшейдерскими наблюдениями выполнялись широкомасштабные геологические и геофизические исследования. Кроме того для анализа и обобщения использованы практически все, имеющиеся в Донбассе, результаты наблюдений в условиях нарушенного залегания пород. Всего при выполнении исследований проанализированы 25 наблюдательных станций с общим числом подработок 49 в складчатых структурах, 23 наблюдательные станции с общим числом подработок 41 на выходах разрывных нарушений, 7 наблюдательных станций с периодом наблюдений от 10 до 30 лет при разработке свиты крутопадающих пластов.

При изучении процессов сдвижения в условиях нарушенного залегания пород кроме сдвижений и деформаций важно получить надежное направление векторов смещений. Для этого точность определения вертикальных и горизонтальных составляющих должны быть примерно одинаковы. Исследованиями установлено, что в измерениях длин интервалов профильных линий рулетками часто присутствуют систематические ошибки, которые, как правило, пропорциональны длинам интервалов и могут достигать до 0.2 мм/м. Случайные ошибки измерений составляют в среднем 1:5000-1:7000. Это приводит к значительным искажениям картины распределения горизонтальных сдвижений. Для обнаружения и исключения систематических, а также некоторого уменьшения случайных ошибок измерений разработана методика наблюдений и обработки, предусматривающая измерения секций профильных линий высокоточным светодальномером. В этом случае точность определения горизонтальных сдвижений составляет 1:20000-1:50000, что сопоставимо с точностью определения вертикальных составляющих.

В связи со сложностью горно-геологических условий участков наблюдательных станций важное значение имеет достоверность и надежность геологических материалов. Поэтому для большинства экспериментальных участков проводился анализ геолого-структурных построений, сделанных в процессе геолого-разведочных и эксплуатационных работ и при необходимости выполнялось уточнение геологической информации.

Для повышения эффективности научного анализа наблюдений разработана автоматизированная система, позволяющая осуществлять сбор и систематизацию материалов, анализ данных по разным направлениям, сопоставление фактических и прогнозных величин, вычисленных различными методами, и представлять результаты в виде разнообразных графиков, таблиц и выходных фай-

лов. Основу системы составляет база данных, в которой по каждой наблюдательной станции содержатся описания горно-геологических условий, цифровые геологические разрезы, модели очистных выработок и земной поверхности, результаты наблюдений в виде каталогов и описательная информация. Данная система позволила осуществить анализ результатов наблюдений на новом качественном уровне, применяя различные методы обработки, анализа и графическое представление их результатов. В базе данных сконцентрированы результаты наблюдений более чем по 80-ти наблюдательным станциям, что обеспечивает их надежное хранение и быстрый доступ для различных приложений. Она может служить основой для национальной системы.

Для математического моделирования процессов сдвижения разработан комплекс, включающий программы генерации расчетных схем, программы, реализующие расчеты МКЭ, базу данных моделей и программы анализа результатов моделирования отдельно по сдвигениям и напряжениям. В программах МКЭ реализована плоская упругая задача для изотропных и анизотропных материалов с пошаговым удалением элементов, имитирующих очистную выработку.

В главе 3 выполнен анализ структурных особенностей нарушенных массивов горных пород и разработаны модели необходимые для обобщения результатов наблюдений, выполнения моделирования и обоснования схем сдвижения.

Толща горных пород большинства угольных месторождений на 70-85% состоит из слоев мощностью до 2-х метров. Поэтому моноклиальный массив можно рассматривать как анизотропную (трансверсально изотропную) среду с постоянным направлением оси анизотропии, совпадающим с напластованием.

Подавляющее большинство складок Донбасса являются концентрическими, с достаточно постоянной мощностью отдельных слоев по всему разрезу через складку. Для всех складок характерным является наличие межслоевых и внутрислоевых смещений, а также сохранение нормальносекущих трещин относительно напластований. Имеющиеся геологические материалы, результаты тектонофизического моделирования не дают оснований говорить о том, что осевая поверхность синклинальных складок, представляет собой ослабленную зону или зону повышенной трещиноватости. Поэтому складчатые массивы можно описывать анизотропной средой с изменяющимися направлениями осей анизотропии согласно с изменением угла падения слоев горных пород.

Разрывные нарушения в большинстве случаев представлены серией сближенных субпараллельных или кулисообразных отдельных разрывов, формирующих тектоническую зону, которая не имеет линейности как по падению, так и по простиранию. Тектоническую зону целесообразно представлять в виде анизотропной среды с пониженными характеристиками, а направление осей анизотропии соответствует углам падения этой зоны. Мощность нарушенной зоны по

направлению напластования (B) в зависимости от нормальной амплитуды нарушения (N) описывается зависимостью

$$B = 72,456 \cdot \ln N - 143,93. \quad (1)$$

У нарушений надвигового типа возможно наличие складчатости двух видов. Первый вид приразрывной складчатости обусловлен подворотами слоев горных пород в результате смещений по разрывам. Такая складчатость имеет небольшие подвороты, которые могут быть в обоих крыльях или в одном из них. Закономерной связи между амплитудами разрывов и интенсивностью этих подворотов не установлено. Второй вид складчатости у нарушений проявляется в том случае, когда разрывное нарушение образовалось в результате развития складки, т.е. при одновременном проявлении разрывной и пликативной нарушенности. Разрывные нарушения в этом случае не совпадают с осевой поверхностью, а смещены в сторону крыльев, хотя падают согласно с осевой поверхностью.

Для развития процесса сдвижения важное значение имеет характер соотношения углов падения структурных элементов подрабатываемой толщи. По этому принципу выделены основные геометрические модели нарушенных массивов горных пород (рис.1).

В главе 4 выполнен анализ и обобщение результатов маркшейдерских наблюдений за деформациями земной поверхности в условиях складчатого залегания и при подработке разрывных нарушений. В отличие от предыдущих исследований анализировались распределения сдвижений и деформаций в пределах всей мульды сдвижения, а не только их величины на участке сосредоточенных деформаций. Особое внимание уделялось получению векторов сдвижения и изучению закономерностей их изменения.

Научный анализ и обобщение наблюдений в условиях складчатых структур позволили выявить следующие особенности в деформировании земной поверхности.

1) В складках Донбасса, при подработке выделяются три основных формы сдвижения:

- сдвижения по нормали к напластованию обрабатываемого крыла, вызванные изгибом слоев в сторону выработанного пространства;
- сдвижения пород со стороны восстания, вызванные перемещениями по напластованиям крыла;
- сдвижения пород со стороны падения, обусловленные перемещениями пород по напластованиям обрабатываемого и противоположного крыльев.

2) Сдвижения по напластованиям обрабатываемого крыла присутствуют всегда, если угол наклона слоев превышает 30° . Причем это условие выполняется даже в том случае, если угол падения с глубиной выполаживается.

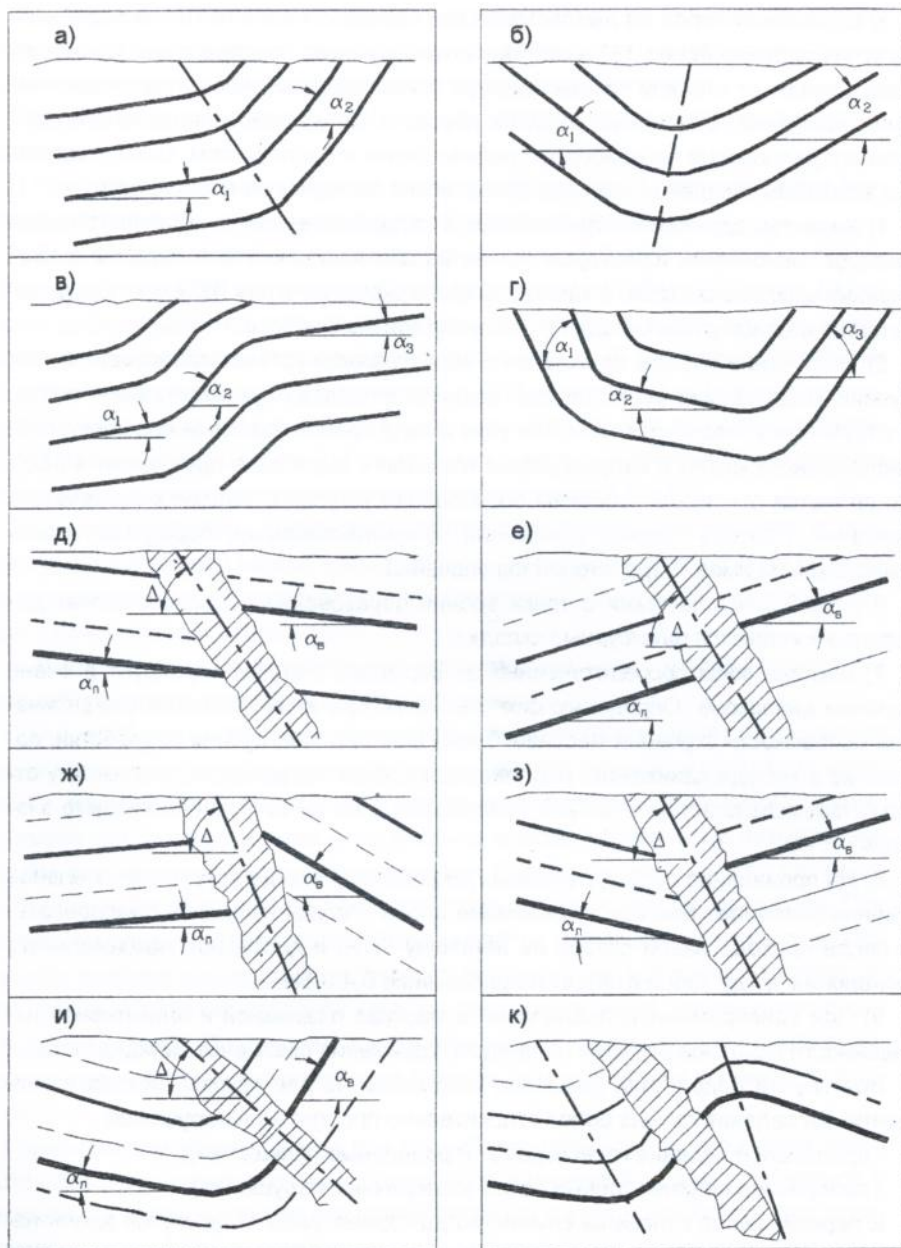


Рис.1 - Характер соотношения углов падения основных структурных элементов нарушенных массивов

3) Сдвигения пород по напластованиям противоположного крыла возможны при углах падения более 15° в сторону выработанного пространства. Их реализация зависит от степени потери подпора снизу, который определяется величинами сдвижений, вызванных изгибом пород, и от условий специального предельного равновесия по наиболее слабым слоям и пропласткам. Слои, по которым возможны смещения, должны обязательно выходить на поверхность.

4) Характер сдвижения горных пород в складках зависит от большого числа факторов, основными из которых являются соотношение углов падения и простираения крыльев складки, а также степень изменения углов падения пород, характеризующаяся углом складки и радиусом кривизны слоев.

5) Укорочение мульды сдвижения с образованием уступов происходит в тех случаях, когда сдвигения по напластованиям в породах противоположного крыла отсутствуют, незначительны или угол между преобладающим падением противоположного крыла и направлением нормали к выработке превышает $45-50^\circ$. Это является основным условием образования уступов в условиях складчатого залегания. Поэтому прогноз сдвижений по напластованиям пород противоположного крыла имеет первостепенное значение.

6) Наиболее опасными с точки зрения образования сосредоточенных деформаций являются флексурные складки.

7) Ширина зоны сосредоточенных деформаций (уступа) варьирует в очень широком диапазоне. Определяющим фактором при этом являются специфические особенности строения массива. Такие факторы как глубина разработки, положение в мульде сдвижения, угол падения осевой поверхности, угол между отработываемым пластом и осевой поверхностью не имеют определяющего значения.

8) На проявление сосредоточенных деформаций в виде уступа значительное влияние оказывает боковое защемление слоев. Уступы начинают фиксироваться после прохода лавой створа на величину $0,1H$, и достигают максимального проявления, когда забой отойдет на расстояние $0,4-0,5H$.

9) При одновременном проявлении в массиве разрывной и пликативной нарушенности основное влияние на процесс сдвижения оказывает складчатость.

Все случаи подработки разрывов разделены на две группы, исходя из направления ведения горных работ относительно простираения нарушения:

- продольное ведение горных работ (продольные нарушения);
- поперечное ведение горных работ (поперечные нарушения).

К первой группе отнесены случаи, когда горные работы движутся вдоль нарушения или под небольшим углом к нему. Тектоническая зона сохраняет свое положение в мульде сдвижения весь период подработки, а по мере продвижения горных работ изменяется степень ее подработанности вдоль простираения.

Характерной особенностью второй группы является то, что горные работы движутся перпендикулярно к простиранию нарушения, а само нарушение постепенно меняет свое положение в динамической мульде сдвижения.

Общий анализ результатов наблюдений для всех типов нарушений показал следующее:

1) При подработке нарушений пологими пластами из 37 анализируемых случаев не зафиксировано ни одного факта образования уступа.

2) Если рассматривать влияние нарушений по коэффициентам концентрации деформаций, то в 33% они меньше 1, т.е. нарушение не оказало влияние на величины деформаций или оказало положительное влияние; в 39% случаев коэффициенты концентрации находятся в диапазоне от 1 до 2, т.е. в пределах точности вычисления ожидаемых деформаций; в 22% значения фактических деформаций больше ожидаемых в 2-3 раза, и только в 6% случаев получены коэффициенты концентрации больше 3. При этом максимальные значения по наклонам и горизонтальным деформациям соответственно равны 4.0 и 5.0.

3) При рассмотрении имеющихся наблюдений с позиций изменений в распределении сдвижений можно констатировать, что практически во всех случаях имеются отклонения от стандартных распределений, однако они не всегда приводят к концентрации деформаций.

4) Имеет место и "положительное" влияние нарушений, которое приводит к уменьшению одного или обоих видов деформаций.

При подработке поперечных нарушений важное значение имеет направление ведения горных работ, т.е. движутся горные работы к линии пересечения нарушения с пластом или в обратном направлении. В первом случае важное значение имеет место нарезки лавы относительно выхода нарушения и размеры выработки, а во втором - место остановки лавы. В целом можно считать, что ведение горных работ к нарушению является более опасным, чем от нарушения. При поперечном ведении работ, когда обеспечивается невысокая степень подработанности разрыва вдоль его простирания, увеличенные деформации наблюдаются только в главных сечениях мульды ориентированных перпендикулярно к выходу нарушения. По линиям, расположенным на краях мульды сдвижения, фактические оседания и деформации меньше чем в обычных условиях подработки.

Горно-геологические условия при подработке продольных нарушений отличаются большим разнообразием. Проявление нарушений может выражаться в увеличенных сдвижениях над породами висячего крыла и, наоборот, над отработываемым крылом; в укорочении мульды сдвижения со стороны висячего крыла; в асимметричной картине распределения сдвижений в различных полумульдах; концентрации деформаций и, в первую очередь, горизонтальных де-

формаций сжатия на участке выхода нарушенной зоны. Формы проявления разрывов зависят от большого числа факторов, основными из которых являются: мощность тектонической зоны, угол ее падения, соотношение углов падения крыльев и нарушения, положение нарушения в общей области влияния выработки. Влияние на деформации земной поверхности оказывают и нарушения с небольшими углами падения (25-30°).

При подработке разрывных нарушений крутыми пластами зафиксированы случаи образования прямых и обратных уступов, а также образование дополнительной микромульды в районе выходов пластов.

Зона влияния (проявления) нарушения считается участок, где величины деформаций существенно превышают значения, рассчитанные для обычных условий подработки. Выполненные исследования показали, что размер зоны проявления нарушений по горизонтальным деформациям достаточно хорошо поддерживается на всех наблюдательных станциях и не превышает 120-150м, а его среднее значение составляет 80 м. Иная картина наблюдается с зонами влияния по наклонам. Здесь диапазон значений более широкий - от 50 до 250 м. Среднее значение ширины зоны проявления по наклонам составило 115 м, т.е. в 1.5 раза шире чем по горизонтальным деформациям. В зависимости от положения нарушения в зоне влияния выработки размеры зон в одних и тех же условиях могут отличаться.

При анализе отклонений зон проявления нарушений от их выходов на геологических картах установлено, что они могут достигать 240 м при среднем значении - 95 м, при этом отклонения в сторону лежачего (отрабатываемого) крыла встречаются чаще.

Глава 5 посвящена установлению основных параметров процесса сдвижения при разработке свиты крутопадающих пластов в ЦРД.

Анализ наблюдений при разработке крутых пластов показал, что неоднородность массива, выражающаяся в чередовании слоев различной прочности и мощности оказывает существенное влияние на распределение сдвижений и деформаций земной поверхности, особенно в краевых частях мульды сдвижения. Это вызывает сложности в определении граничных углов, которые являются в настоящее время основными параметрами при расчете ожидаемых деформаций земной поверхности. Поэтому имеет смысл отказаться от существующего понятия граничных углов, определяемых по условным неоднозначным критериям, а находить расчетные углы, соответствующие принятой функции распределения оседаний, которая наилучшим способом описывает фактический профиль мульды сдвижения.

Если обозначить через β_p и γ_p расчетные углы (рис.2) и принять для описания оседаний в различных полумульдах подобные кривые с различными коэффици-

ентами, то расчетные оседания для точек 1 (полумульда по падению) и 2 (полумульда по восстанию) определяются следующими формулами:

$$\eta_p^1 = q_0 \cdot m \cdot \cos \alpha \cdot \sqrt{n_1 n_2} \cdot \exp \left(-b_p \frac{y_c - y_1 - H_{cp} \operatorname{ctg} \theta}{H_{cp} (\operatorname{ctg} \theta - \operatorname{ctg} \beta_p) - \frac{D_1}{2} \sin \alpha \cdot \operatorname{ctg} \beta_p} \right)^2, \quad (2)$$

$$\eta_p^2 = q_0 \cdot m \cdot \cos \alpha \cdot \sqrt{n_1 n_2} \cdot \exp \left(-b_v \frac{y_2 - y_c + H_{cp} \operatorname{ctg} \theta}{H_{cp} (\operatorname{ctg} \gamma_p - \operatorname{ctg} \theta) - \frac{D_1}{2} \sin \alpha \cdot \operatorname{ctg} \gamma_p} \right)^2, \quad (3)$$

где b_p, b_v – коэффициенты, характеризующие форму единичной кривой оседания соответственно в полумульде по падению и по восстанию.

Задача сводится к нахождению коэффициентов q_0, b_p, b_v и углов $\beta_p, \gamma_p, \theta$, дающих наилучшее приближение к фактической кривой оседания, которое может быть оценено либо минимумом суммы квадратов отклонений, либо минимумом суммы модулей отклонений, т.е.

$$\sum_1^k v^2 = \sum_1^k (\eta_u^i - \eta_p^i)^2 = \min \quad (4);$$

$$\sum_1^k |v| = \sum_1^k |\eta_u^i - \eta_p^i| = \min, \quad (5)$$

где η_u^i – измеренное оседание в точке i ;

k – число точек с измеренными оседаниями.

Преимущество данного способа состоит в том, что неизвестные параметры можно определять даже при наличии наблюдений только на некоторой части мульды сдвижения, например на участке ab (рис.2). Если предположить, что каждая выработка дает подобную мульду, то можно определить основные параметры при суммарном влиянии нескольких выработок. Нахождение неизвестных в уравнениях (2) и (3), удовлетво-

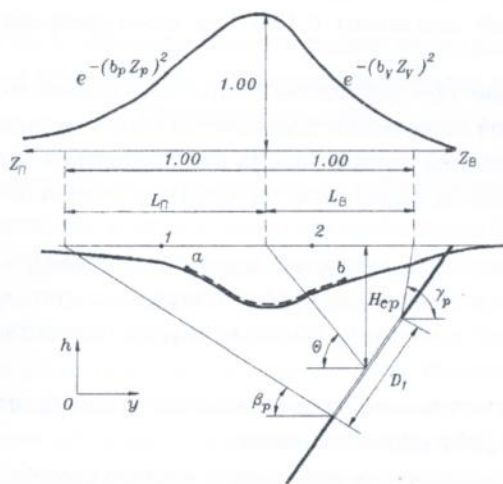


Рис.2 - Схема к определению основных параметров процесса сдвижения

ряющих условиям (4) и (5), осуществляется методом случайного поиска решений (метод Монте-Карло).

Данный способ использован при анализе долговременных наблюдений при разработке свиты крутопадающих пластов. На основании 8 кривых оседаний, представляющих суммарное воздействие от 9 до 26 очистных выработок при 10000 расчетов в каждом варианте получены следующие усредненные параметры:

$$\begin{cases} q_0 = 0,65; b_p = 1,6; b_v = 2,5; \\ \gamma_p = \alpha_{cp}; \beta_p = 70^\circ - 0,7\alpha_{cp}; \theta = 90^\circ - 0,9\alpha_{cp}; \end{cases} \quad (6)$$

где α_{cp} – средний угол падения пород на горизонте горных работ и у выходов на земную поверхность.

Оценка точности расчетов с использованием данных параметров показала, что относительная ошибка оседаний составляет 6-12% при одновременном влиянии 26-39 выработок.

Анализ распределения сдвижений при разработке свиты крутопадающих пластов в ЦРД показал, что на земной поверхности формируется общая мульда сдвижения с одним максимумом оседаний, которая, кроме ее определения как суммы воздействий отдельных выработок, может характеризоваться своими параметрами.

Выявленные тенденции во взаимосвязи скоростей сдвижения земной поверхности с периодами интенсивного влияния горных работ позволяют считать в качестве влияющей единицы горизонт и находить общую мульду от горизонта. Основными точками этой мульды являются:

- граница по падению определяемая линией, проведенной под углом β_p от нижней границы самого верхнего разрабатываемого пласта;
- граница по восстанию связана с выходом на поверхность нижнего разрабатываемого пласта;
- точка максимального оседания определяется линией проведенной из центра влияния горизонта под углом $\theta_{ос}$.

Максимальное оседание в общей мульде сдвижения от горизонта определяется формулой

$$\eta_{m_c} = q_0 \cdot \cos \alpha \cdot V_c \cdot \sqrt{n_1} \cdot \sum m, \quad (7)$$

где V_c – коэффициент влияния свиты, зависящий от горизонтальной мощности разрабатываемой свиты и глубины разработки $V_c = 1 - 0,2L/H_{cp}$. Точность расчета максимальных оседаний по формуле (7) составляет 6-25%.

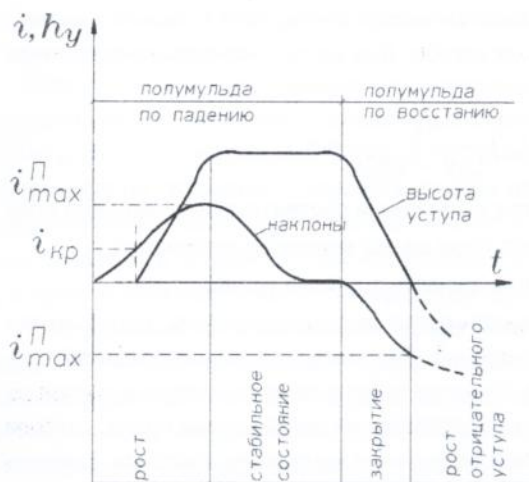


Рис.3 - Закономерность развития уступов во времени при нисходящем порядке отработки запасов

Погоризонтная схема отработки запасов с постепенным понижением горных работ определяет характер и закономерности развития уступов (рис.3).

Вначале участок попадает в полумульду по падению, которая характеризуется наклонами в сторону выработанного пространства и деформациями растяжения. При достижении некоторого критического значения наклона $i_{кр}$ (примерно 0.5-1.0 мм/м) возникает взаимное смещение слоев по слабому контакту или пропластку, т.е. начинает образовываться уступ. Его

высота растет в соответствии с увеличением плавных наклонов земной поверхности, достигая максимума при наибольшем сглаженном наклоне $i_{max}^П$.

Затем в связи с увеличением горных работ граница зоны влияния смещается в сторону падения, что вызывает постепенное уменьшение плавного наклона вплоть до нулевого значения, когда участок будет находиться в точке максимальных оседаний. Характерным и важным является то, что несмотря на уменьшение сглаженного наклона высота уступа не изменяется, оставаясь в течение длительного времени достаточно стабильной. Именно это обстоятельство объясняет наличие уступов большой высоты на участках с малыми наклонами в центре наблюдаемой мульды.

Уменьшение высоты уступа, т.е. его закрытие, начинается только при изменении знака наклона, когда участок переходит в полумульду по восстанию. Здесь происходит как бы выравнивание ранее изогнутых слоев. С увеличением отрицательного наклона уступ может полностью закрыться и получить другой знак в связи с тем, что отрицательный наклон будет постоянно расти при понижении горных работ. Таким образом, для прогнозирования уступов необходимо учитывать всю предысторию деформирования участка земной поверхности с самого начала влияния горных работ. Продолжительность отдельных стадий развития уступов зависит от скорости смещения центра мульды, которая будет тем выше, чем меньше мощность разрабатываемой свиты.

Уступы в пределах всей мульды образуются вследствие взаимного смещения слоев по напластованиям при их изгибе. Для их прогнозирования получена формула

$$h = (l_B + l_H) \frac{i_z}{1,69 - 0,02\alpha} \sin^2 \alpha, \quad (8)$$

где l_B, l_H - расстояние от нейтральной линии соответственно верхнего слоя до его нижней поверхности и нижнего слоя до его верхней поверхности;

i_z - сглаженный наклон земной поверхности в районе уступа.

Положение нейтральной линии совместно деформирующихся слоев может быть найдено по результатам наблюдений. Для этого на графике оседаний проводится сглаженная кривая (рис.4). Точки ее пересечения с наклонными поверхностями торцов слоев показывают местоположение нейтральной линии, которое остается постоянным при увеличении оседаний и изменении наклонов. Найденные таким образом положения нейтральных линий позволяют достичь точности определения высоты уступа до 10-12%.



Рис.4- Определение положения нейтральных линий в слоях:1- кривая фактических оседаний; 2- сглаженная кривая оседаний

Механизм образования уступов в полумульде по восстанию осложнен еще и тем, что кроме изгиба слоев в сторону падения появляется возможность смещения слоев по напластованию вследствие потери бокового распора снизу. По-

этому уступы максимальной высоты располагаются в полумульде по восстанию и приурочены к почве мощных несущих слоев песчаников.

Выполненные исследования позволили установить, что основным условием образования больших уступов являются не слабые пропластки, которые присутствуют во всех угленосных толщах, а наличие мощных прочных слоев. Именно чередование слоев, сильно отличающихся по мощности и прочности, определяет неоднородность массива. С увеличением степени метаморфизма неоднородность массива уменьшается, что ведет к уменьшению высот уступов.

В главе 6 описаны принципы и результаты моделирования сдвижения горных пород и земной поверхности МКЭ.

Учитывая, что моделирование МКЭ сдвижения всего массива горных пород и земной поверхности в отечественных исследованиях практически не выполнялось, вначале показаны возможности моделирования в ненарушенных монокли-

нальных массивах, которые являются основой для получения степени влияния нарушенности массива.

Исследования, выполненные для изотропной упругой среды, показали, что распределения сдвижений и деформаций земной поверхности не зависят от упругих характеристик массива. Мульда на земной поверхности получается очень растянутая по сравнению с существующими данными, а точка перегиба кривой оседания смещена в сторону целика. Вместе с тем распределение нормированных оседаний в относительных координатах z , приведенных к длине полумульды, практически совпадают со стандартной функцией распределения оседаний.

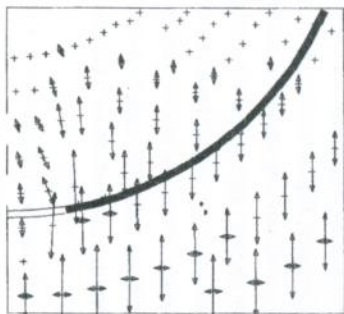
Исследования в анизотропной среде позволили установить, что основной характеристикой, позволяющей приблизить расчетную кривую оседаний к фактическим данным, является модуль сдвига, который зависит от мощности отдельных слоев и касательной жесткости контактов. Направление осей анизотропии совпадает с направлением напластований. Величина модуля сдвига должна составлять 5-10% от модуля сдвига в изотропном массиве. При этом в условиях моноклинального залегания в диапазоне углов падения от 0 до 75° обеспечивается высокая сходимости (до 10%) с величинами, рассчитанными по существующим нормативно-методическим документам. С уменьшением величины модуля сдвига векторы сдвижения в основной части зоны влияния выработки стремятся к направлению нормалей к напластованиям.

Для выделения эффекта, порождаемого складчатостью, была разработана следующая методика исследований. В складчатом массиве направление осей анизотропии задается индивидуально для каждого элемента по углу падения слоев на соответствующем участке. Получаемая деформационная картина сопоставляется со сдвижениями в моноклинальном массиве, в котором угол падения слоев, и следовательно, угол анизотропии принимается равным среднему углу падения слоев в пределах выработки. Результаты моделирования в синклинальных складках позволили установить следующие общие закономерности.

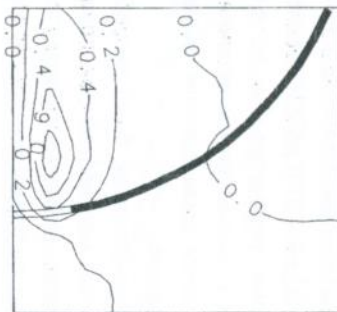
Во всех случаях четко выделяется зона смещений по нормали к напластованию. Смещения в этой зоне, вызванные изгибом слоев, являются наибольшими и определяют сдвижения в остальных зонах. В результате укорочения слоев при изгибе возникают сдвижения по напластованиям со стороны восстания и падения. Модули векторов сдвижений по напластованиям практически одинаковы по всему слою, а направление смещений изменяется в соответствии с изменением угла падения слоев.

Основной причиной аномального развития процесса сдвижения в складках является изменение угла падения слоев и не имеет никакого значения, является ли осевая поверхность зоной ослабления или нет. Это явление связано с суще-

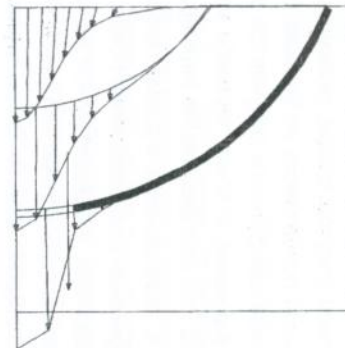
МОНОКЛИНАЛЬНЫЙ МАССИВ



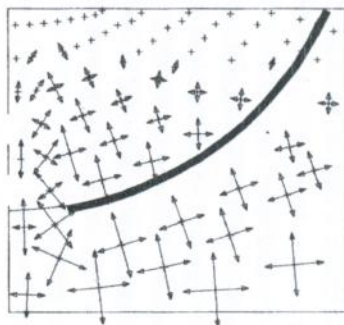
направления главных напряжений



касательные напряжения



векторы сдвижения



СКЛАДЧАТЫЙ МАССИВ

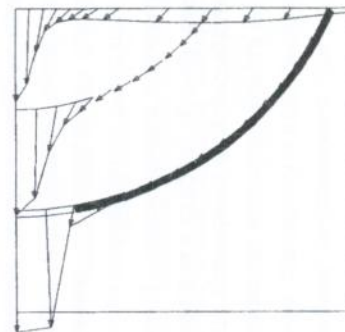


Рис.5 - Распределение напряжений и смещений в складчатом и моноклиальном массивах

ственным отличием в распределении главных и касательных напряжений в моноклинальном и складчатых массивах (рис.5).

Флексурные складки в геологическом и геомеханическом отношении имеют две важные особенности, которые оказывают влияние на развитие процесса сдвижения, а именно:

- дважды происходит изменение углов падения пластов;
- изогнутые слои в крутом смыкающем крыле флексуры на большей части геологического разреза не имеют выхода на земную поверхность, из-за чего смещения по всем контактам крутого крыла невозможны.

Последняя особенность вызывает на участке перехода от горизонтального залегания к наклонному образованию зоны повышенных касательных напряжений (рис.6).

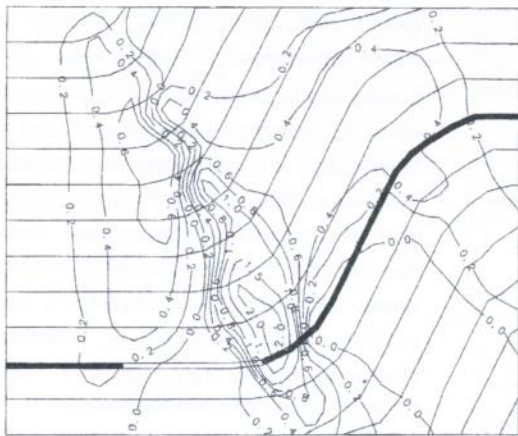


Рис.6 - Распределение касательных напряжений во флексурной складке

Ширина этой зоны и величины напряжений зависят от размеров выработки и ее удаления от линии перегиба слоев. Распределения касательных напряжений свидетельствуют о том, что зона повышенных напряжений имеет достаточно большую ширину и несколько изменяет свою ориентировку относительно линии перегиба, не совпадая с осевой поверхностью. В результате действия повышенных касательных напряжений проис-

ходит срез пород поперек слоистости, которому способствует нормально секущая трещиноватость, сохранившаяся в замке складки. Срез и смещение происходят не по одной трещине, а по ряду радиальных или кулисообразных трещин.

В результате таких процессов на земной поверхности в большинстве случаев образуется уступ. При этом, чем меньше амплитуда флексурного перегиба, тем больше вероятность образования уступа, т.к. меньшая часть флексуры у земной поверхности вырождается в синклираль, в которой возможны сдвижения по напластованиям крутого крыла.

При моделировании сдвижения в массивах с разрывной тектоникой нарушенные зоны представлялись анизотропной средой с пониженными характеристиками и осями анизотропии параллельными падению нарушения. Выполнен-

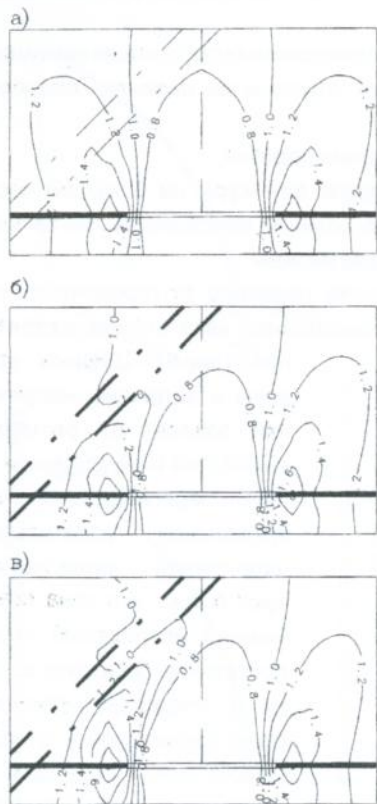


Рис.7 - Коэффициенты концентрации вертикальных напряжений: а - ненарушенный массив; б- $E_n/E_m=0.1$; в - $E_n/E_m=0.01$

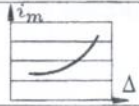
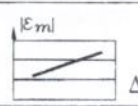
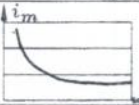
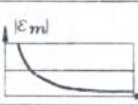
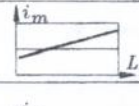
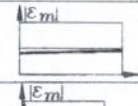
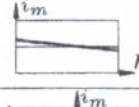
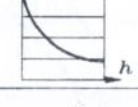
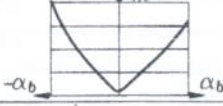
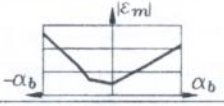
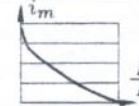
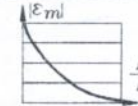

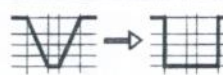
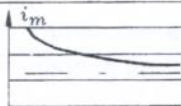
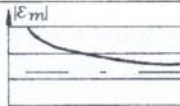
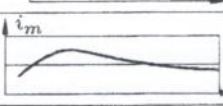
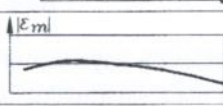
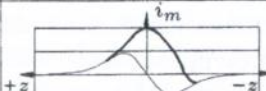
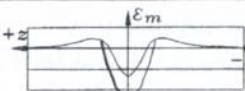
нарушения мульду сдвигения на поверхности можно разделить на несколько зон (рис.8), границами которых являются точки максимальных прогибов и перегиба кривых сдвижений по нормали к напластованию. При подработке разрывов наклонными и крутыми пластами имеет важное значение с какой стороны, со стороны падения (П) или восстания (В), нарушение пересекает мульду сдвигения.

Проявление нарушений на земной поверхности определяется большим числом факторов и параметров (табл.1). Поэтому влияние отдельных неоднозначно при изменяющихся остальных. Все это делает трудоемкой задачу установле-

ные исследования позволяют констатировать, что эффект влияния разрывных нарушений на сдвигение массива горных пород и земной поверхности состоит в том, что из-за разрыва (зона с пониженной прочностью) часть нагрузки не передается на зону опорного давления за нарушением (рис.7). Асимметрия в распределении напряжений вызывает аномальное распределение сдвижений и деформаций. Указанный эффект возрастает с уменьшением соотношения упругих характеристик нарушения E_n и основного массива E_m , т.е. с уменьшением прочности в нарушенной зоне по сравнению с остальным вмещающим массивом. Концентрация деформаций при пересечении нарушением слоев горных пород может являться следствием: чистого сдвига; взаимного смещения пород висячего и лежащего крыльев, вызванного изгибом нарушенной зоны; их сочетанием.

Процесс сдвигения зависит прежде всего от взаимного положения нарушения в пределах всей зоны влияния выработки и от расположения ее выхода в мульде сдвигения на поверхности. По характеру проявления

Таблица 1 - Факторы, влияющие на деформации земной поверхности при подработке разрывных нарушений

Параметры	Общие тенденции	
	Наклоны	Горизонтальные деформации
Геолого-геомеханические факторы		
Угол падения нарушенной зоны		
Горизонтальная мощность нарушенной зоны		
Длина нарушения на разрезе вкрест простираения		
Мощность напсов		
Угол падения пассивного крыла		
Прочность пород в нарушенной зоне		
Характер изменения прочности пород в нарушенной зоне		
Горно-геометрические факторы		
Глубина разработки		
Размеры выработки		
Координата выхода нарушения на поверхность		

ния общих аналитических зависимостей. В табл.1 отмечены лишь общие тенденции влияния отдельных факторов на вертикальные и горизонтальные деформации.

Подробнее остановимся на влиянии углов падения крыльев нарушения. В связи с тем, что сдвигения в тонкослоистом массиве возможны либо в виде изгиба слоев по нормали к напластованию, либо в форме сдвигов по напластованию, то на процесс сдвигения в массиве с разрывами оказывает влияние соотно-

шение углов падения лежачего (отрабатываемого) и висячего (пассивного) крыльев. На рис.9 приведены графики изменения максимальных наклонов и горизонтальных деформаций в зависимости от разности $\Delta\alpha$ углов падения крыльев, которые свидетельствуют об увеличении деформаций с увеличением падения пород пассивного крыла. Эта закономерность более выражена для вертикальных деформаций. Различные углы падения в лежачем и висячем крыльях позволяют говорить о такой толще как о складчатой структуре, а приведенные результаты еще раз доказывают вывод, полученный при анализе результатов наблюдений, что основное влияние при одновременном наличии пликативной и разрывной тектоники оказывает складчатость.

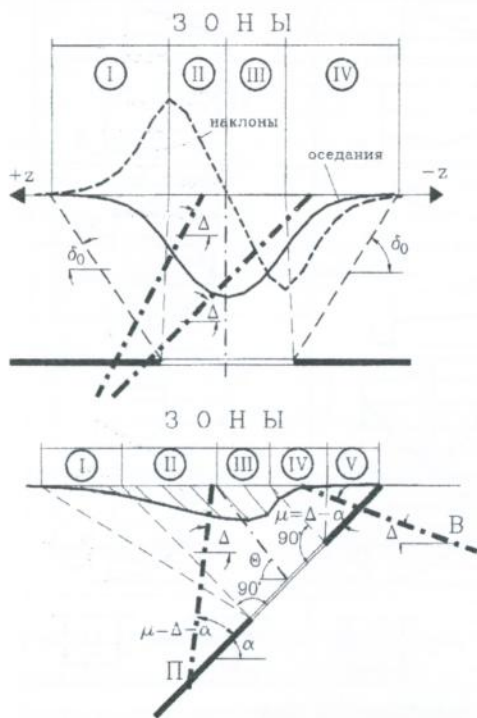


Рис.8 - Зоны: мульды сдвижения, определяющие характер проявления разрывов

При подработке разрывов наклонными и крутыми пластами возможны 5 форм проявления нарушений на земной поверхности (табл.2), которые определяются углом между нарушением и напластованием $\mu = \Delta - \alpha$, расположением выхода нарушения в соответствующей зоне мульды сдвижения и местом пересечения пласта и нарушения относительно выработки. В отличие от пологого залегания на деформации земной поверхности оказывают влияние и нарушения, которые располагаются параллельно к

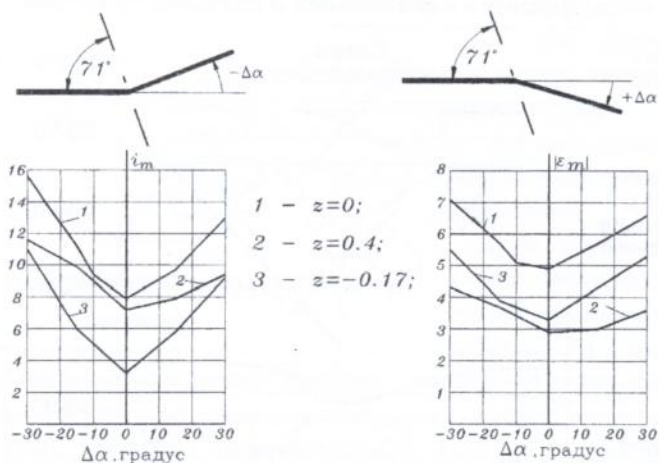


Рис.9- Изменение максимальных деформаций земной поверхности в районе выхода нарушения в зависимости от соотношения углов падения крыльев

напластованию, т.е. при $\mu=0^\circ$. При угле между напластованием и нарушением $\mu=90^\circ$ происходит чистый сдвиг пород по нарушению; при $\mu=0^\circ$ возникает взаимное смещение пород висячего и лежащего крыльев, вызванное только изгибом нарушения. При промежуточных значениях реализуется одновременное проявление сдвига и изгиба. С увеличением угла μ увеличивается влияние сдвигающей составляющей и уменьшается влияние изгиба.

Таким образом, сдвижение земной поверхности и массива горных пород при подработке разрывов зависит от большого числа взаимозависимых факторов. Поэтому получение эмпирических зависимостей и их применение при прогнозе нецелесообразно. Оценка возможного влияния нарушенности должна осуществляться на основе полного расчета с учетом структуры подрабатываемого массива.

В главе 7 рассмотрены схемы сдвижения и технология прогноза деформаций земной поверхности при разработке угольных пластов в нарушенных массивах горных пород.

Исследования на моделях и обобщение результатов натурных наблюдений позволили установить, что основной причиной аномального проявления сдвижения в складчатых слоистых массивах является анизотропия, определяемая изменением углов падения слоев. В общем случае в пределах влияния выработки (рис.10) можно выделить 3 основные зоны сдвижения, отличающиеся величинами и направлением векторов смещения:

Таблица 2 - Формы и условия проявления разрывов при их подработке наклонными и крутыми пластами

Форма проявления	Схема деформирования	$\mu = \Delta - \alpha$	Зона Пересечение
Прямой уступ в полумульде по падению		80-90 50-80 30-50	$\frac{I}{П}$ $\frac{II}{П}$ $\frac{ЦМ}{П}$
Прямой уступ в полумульде по восстанию		50-90 > 90	$\frac{III}{В}$ $\frac{III,IV}{В}$
Обратный уступ в полумульде по падению		50-80 30-50 0-30	$\frac{I}{П}$ $\frac{I,II}{П}$ $\frac{I,II,ЦМ}{П}$
Обратный уступ в полумульде по восстанию		< 40	$\frac{III,IV}{П}$
Дополнительная микромульда со стороны восстания		40-60 45-60 < 30	$\frac{I,II}{В}$ $\frac{III,IV,V}{П}$ $\frac{V}{П}$

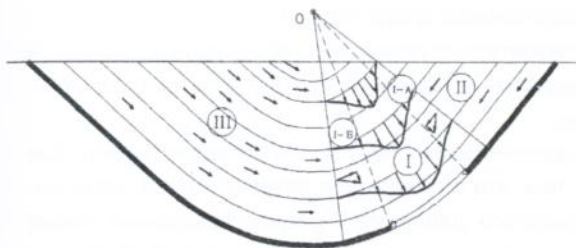


Рис.10 - Зоны сдвижения в синклиальной складке

I - зона изгиба пород;

II - зона сдвижений по напластованиям со стороны восстания;

III - зона сдвижений по напластованиям со стороны падения.

Зона изгиба пород является активной частью общей зоны влияния выработки, т.к. происходя-

щие здесь перемещения определяют характер сдвижений в остальных зонах. Векторы смещения в этой зоне примерно совпадают с направлением радиусов, соединяющих точки массива с центром складки. Поэтому в синклиальных складках наблюдается постепенное сужение этой зоны к поверхности. Из-за изменения направления векторов сдвижения в зоне изгиба происходит большее, чем при моноклиальном залегании, удлинение слоев, которое вызывает сдвижения по напластованиям со стороны падения и восстания.

Сдвигения по напластованиям не могут реализоваться при следующих условиях:

- слои непосредственно не выходят на поверхность;
- малая степень подработанности вдоль простирания складки, когда значительное влияние оказывает боковое защемление слоев противоположного крыла;
- простирание пород противоположного крыла отличается от простирания отрабатываемого крыла более чем на 10-15°.

В перечисленных случаях на линии перегиба слоев возникают значительные касательные напряжения, из-за которых происходит срез пород поперек слоистости. Напряженное состояние на участке перегиба слоев определяется соотношением углов падения крыльев и радиусами кривизны слоев в складке. Разрывные тектонические нарушения также благоприятствуют срезу и сдвигу пород, если они располагаются в наиболее напряженной зоне, но не являются определяющими в развитии процесса сдвижения.

Таким образом, сдвижение пород в складке определяется следующими факторами:

- радиусами кривизны слоев в замке складки;
- соотношением углов падения крыльев складки;
- положением центра складки;
- шириной замка складки;

- простиранием пород противоположного крыла складки;
- положением горных работ относительно линии перегиба пласта;
- степени подработанности массива и земной поверхности вдоль простира-
ния складки.

* Причина влияния разрывных тектонических нарушений на сдвигание толщи и земной поверхности состоит в том, что в результате разрыва слоев часть нагрузки не передается на зону опорного давления. Процесс сдвижения такого массива можно рассматривать как последовательный изгиб консолей. В зависимости от угла падения пород и нарушения характер заделки слоев имеет свои особенности (рис.11).

При горизонтальном залегании пород (рис.11,а) каждый слой представляет из себя консоль, один из концов которой имеет заделку в целике, а второй - соприкасается с нарушенной зоной. Если толща имеет некоторый угол наклона (рис.11,б), то слои в области NMF лишаются заделки. Поэтому возможна сложная и многовариантная картина их деформирования. Они обязательно прогибаются по нормали к напластованию, могут смещаться по напластованиям, а прочные упругие слои могут запрокидываться у выхода на поверхность. С увеличением угла падения пород (рис.11,в) размеры области NMF, в которой слои не имеют заделки, увеличиваются.

Сдвигание земной поверхности в нарушенных массивах зависит, в первую очередь, от соотношения основных структурных элементов и их расположения относительно выработки. Учитывая многообразие форм и условий деформирования нарушенных массивов, а также низкую надежность геологической информации, прогноз сдвижений при подработке разрывных и пликативных нарушений целесообразно осуществлять на экспертной, оценочной основе. Для этой цели разработаны основы и составные части технологии прогноза сдвижений и деформаций земной поверхности.

Исходными данными, как и в любом расчете ожидаемых деформаций, являются информация о геологическом строении, параметры и положение горных выработок. Оценка возможного влияния нарушенности осуществляется в несколько этапов:

- 1) Поиск аналогов в базе результатов маркшейдерских наблюдений на экспериментальных участках.
- 2) Поиск аналогов в базе данных результатов моделирования.
- 3) Решение вопроса о возможном характере влияния отдельных факторов на процесс сдвижения на основе информации в базе данных знаний.
- 4) Расчет сдвижений массива и земной поверхности для конкретных горно-геологических условий. В том случае, когда нет уверенности в надежности и

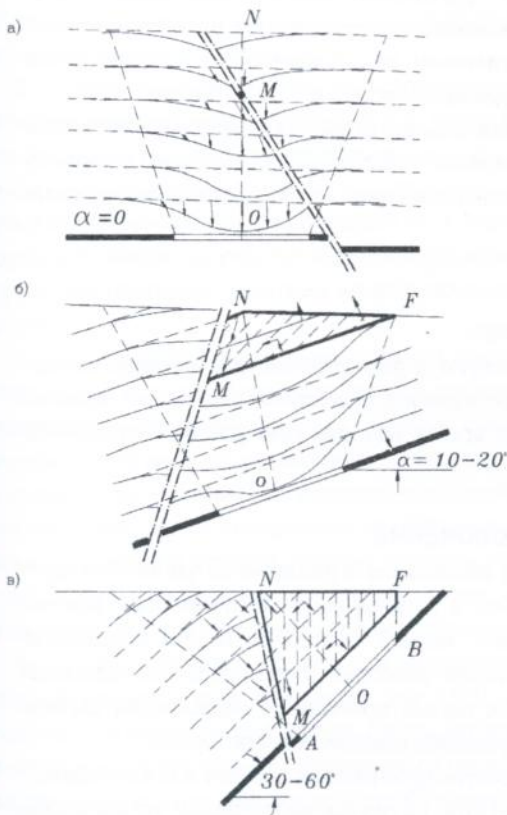


Рис.11 - Характер заделки и смещения слоев при подработке массивов с разрывами

$G_{xy}^H = kG_{xy}^M$; $v_{xy}^H = v_{xy}^M$; $v_{yx}^H = v_{yx}^M$. Угол анизотропии пород в нарушенной зоне определяется углом падения нарушения: $\beta_i^H = \Delta_i^H$. Наносы представляют изотропной средой. Разбивка расчетной схемы на конечные элементы осуществляется с учетом напластований и положения нарушенных зон.

В процессе выполнения данной работы разработаны и опробованы основные составные части предлагаемой технологии. Для промышленной эксплуатации необходимо создание многофункционального пользовательского интерфейса.

достоверности положения нарушения в массиве, выполняется несколько расчетов при изменении положения и параметров нарушения.

Как показали выполненные исследования, расчеты с использованием метода конечных элементов дают результаты, хорошо совпадающие с результатами наблюдений. Поэтому данный метод положен в основу расчета ожидаемых деформаций.

Основной массив принимается анизотропным со следующими характеристиками $E_x^M = E_y^M$; $G_{xy}^M = (0,1-0,05)G$; $v_{xy}^M = v_{yx}^M$, угол анизотропии принимается равным углу падения слоев на соответствующих участках, т.е. $\beta_i^M = \alpha_i^M$.

Нарушенные зоны также принимаются анизотропными с пониженными в k раз ($k < 1,0$) упругими характеристиками $E_x^H = kE_x^M$; $E_y^H = kE_y^M$;

Предлагаемая методика позволяет производить расчеты при любой достаточно сложной структуре массива, учитывать одновременное влияние нескольких разрывов и складчатость. Единственным ее ограничением и недостатком является то, что в настоящее время возможно решение только плоских задач.

Она была опробована на 10 наблюдательных станциях с различными типами нарушенности и различными углами падения пластов. Сопоставление результатов расчетов с фактическими величинами показало, что средние ошибки составили:

- оседаний 10-18%;
- наклонов 20-35%;
- горизонтальных деформаций 28-38%.

Полученные величины свидетельствуют о достаточной для инженерных целей точности и о сопоставимости этих оценок с ошибками прогнозных величин на основе применяемых в настоящее время методик для условий спокойного моноклинального залегания пород.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации дано теоретическое обобщение и решение актуальной и крупной научной проблемы, заключающейся в установлении особенностей, закономерностей и зависимостей сдвижений земной поверхности при разработке угольных пластов в условиях нарушенного залегания пород для прогнозирования вредного влияния горных работ с целью повышения надежности охраны зданий и промышленных объектов на подрабатываемых территориях.

Основные научные и прикладные результаты работы состоят в следующем.

1. В результате обобщения результатов натуральных наблюдений установлены следующие особенности деформирования земной поверхности в складчатых структурах:

- в общем случае сдвижения земной поверхности слагаются из сдвижений по нормали к напластованию отрабатываемого крыла, сдвижений по напластованиям со стороны падения и восстания;

- укорочение мульды сдвижения с образованием уступов происходит в тех случаях, когда сдвижения по напластованиям в породах противоположного крыла отсутствуют или незначительны;

- ширина зоны сосредоточенных деформаций зависит от радиуса кривизны слоев в замке складки и варьирует в очень широком диапазоне от 5 до 120-150 м;

- протяженность зоны сосредоточенных деформаций обычно достигает нескольких километров.

2. При одновременном наличии в массиве разрывной и пликативной нарушенности основное влияние на процесс сдвижения оказывает складчатость. По-

этому при прогнозировании сдвижений кроме параметров нарушения необходимо знать подробное строение всей подрабатываемой толщи, в частности изменение углов падения слоев.

3. Формы проявления разрывов при отработке пологих пластов могут выражаться в увеличенных сдвижениях над породами активного (отрабатываемого) или пассивного крыла; в укорочении мульды сдвижения со стороны всячего крыла; в асимметричной картине распределения сдвижений в различных полумульдах; концентрации деформаций и, в первую очередь, горизонтальных деформаций сжатия на участке выхода нарушенных зон. Из 37 случаев подработки нарушений пологими пластами не зафиксировано ни одного факта образования уступов.

4. При отработке единичных и свиты крутопадающих пластов значительное влияние на процесс сдвижения земной поверхности оказывает неоднородность массива, и в частности мощные прочные слои. Если они располагаются в граничных частях мульды сдвижения, то приводят к изменению, как правило, к увеличению углов влияния. В пределах основной части мульды сдвижения к мощным несущим слоям приурочены наибольшие уступы. Поэтому основным условием образования уступов следует считать наличие не слабых слоев и пропластков, а мощных крепких слоев. Неоднородность массива уменьшается, т.е. сглаживается, с увеличением степени метаморфизма.

5. Процесс развития уступов при разработке свиты имеет сложный характер, который определяется присущим для ЦРД нисходящим порядком отработки пластов. Стадии развития уступа (рост, затухание, закрытие) связаны с его положением в общей мульде сдвижения от отработки всех пластов и лав. Поэтому при проектировании мер защиты необходимо учитывать всю предысторию деформирования земной поверхности и возможность изменения знаков уступов. Продолжительность отдельных периодов развития уступов зависит от скорости смещения центра мульды и они уменьшаются с уменьшением горизонтальной мощности разрабатываемой свиты. Уступы максимальной высоты располагаются в полумульде по восстанию и приурочены к почве мощных несущих слоев песчаников.

6. При установлении основных параметров процесса сдвижения как от единичной выработки, так и от свиты пластов, целесообразно отказаться от граничных углов, определяемых по принятым неоднозначным критериям, а находить расчетные углы, соответствующие принятой функции распределения оседаний. Это дает возможность решения задачи по результатам наблюдений при одновременном влиянии нескольких выработок, а также в том случае, когда наблюдениями охвачена только часть мульды сдвижения. Использование такого подхода позволило установить основные параметры процесса сдвижения при раз-

работке свиты крутопадающих пластов в ЦРД, которые обеспечивают точность расчета оседаний 6-12% при учете влияния до 40 выработок.

7. Распределение сдвижений и деформаций при разработке свиты крутопадающих пластов характеризуется общей мульдой сдвижения, которая подобна мульде сдвижения от единичной лавы. Размеры общей мульды и ее перемещение при нисходящем порядке отработки зависят от горизонтальной мощности обрабатываемой свиты.

8. При моделировании и расчетах сдвижения горных пород и земной поверхности в широком диапазоне горно-геологических условий весь массив вмещающих пород можно рассматривать как анизотропную (трансверсально изотропную) среду с низким модулем сдвига, составляющим 5-10% от модуля сдвига изотропного массива. При этом в условиях моноклинального залегания обеспечивается высокая сходимость (до 10%) с величинами, рассчитанными по существующим нормативно-методическим документам. Значение модуля сдвига существенным образом влияет на направление векторов сдвижения. С его уменьшением векторы сдвижения стремятся к направлению нормали к напластованию.

9. Основной причиной аномального проявления сдвижения в складчатых слоистых массивах является анизотропия, определяемая изменением углов падения слоев. Осевая поверхность не имеет геомеханического смысла и не может использоваться при анализе и расчете сдвижений. Область влияния выработки может быть разделена на 3 основные зоны, отличающиеся величинами и направлением векторов смещения: зона изгиба пород, зона сдвижений по напластованиям со стороны восстания, зона сдвижений по напластованиям со стороны падения. Сдвижение пород в складке определяется следующими факторами:

- радиусами кривизны слоев в замке складки;
- соотношением углов падения крыльев складки;
- положением центра складки;
- шириной замка складки;
- простираем пород противоположного крыла складки;
- положением горных работ относительно линии перегиба пласта;

10. Эффект влияния разрывных тектонических нарушений на сдвижение массива горных пород и земной поверхности состоит в том, что в результате разрыва слоев часть нагрузки не передается на зону опорного давления. Асимметрия в распределении напряжений вызывает аномальное распределение сдвижений и деформаций. Концентрация деформаций при пересечении нарушением слоев горных пород может являться следствием: чистого сдвига; взаимного смещения пород висячего и лежащего крыльев, вызванного изгибом нарушенной зоны; их сочетанием.

На характер проявления разрывов на земной поверхности влияет большое число факторов, основными из которых являются:

- расположение нарушения относительно границ выработки и местоположение выхода нарушения в мульде сдвижения;
- угол падения нарушения и степень его изменения на разрезе вкрест простирания;
- углы падения крыльев нарушения, их взаимное соотношение, а также соотношение с углом падения тектонической зоны;
- мощность и длина тектонической зоны;
- размеры очистной выработки, направление ведения горных работ относительно простирания нарушения;
- наличие приразрывной складчатости.

11. Разработана методика расчета сдвижений и деформаций земной поверхности, позволяющая учесть любую структуру массива, одновременное влияние нескольких разрывов и складчатость. В ее основе лежит использование МКЭ, описание вмещающей толщи в виде анизотропной среды с низким модулем сдвига и углом анизотропии равным углу падения слоев и представление разрыва в виде зоны с пониженными характеристиками и направлением анизотропии параллельным падению нарушения.

12. Результаты работы включены составной частью в 4 отраслевых нормативно-методических документа и широко используются в практике.

13. Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах.

1. Гавриленко Ю.Н. Деформирование массива горных пород и земной поверхности при подработке поперечных тектонических нарушений пологими пластами // Разработка месторождений полезных ископаемых: Респ. межвед. науч.-техн. сб.-1988. - Вып.79. - С.60-67.

2. Гавриленко Ю.Н. Исследование сдвижения земной поверхности при нарушенном залегании пород в Донецко-Макеевском районе Донбасса // Изв. вузов. Горн. журн.- 1991.-№3.- С.55-60.

3. Гавриленко Ю.Н. Особенности численного моделирования массива горных пород и земной поверхности при наличии разрывных тектонических нарушений // Известия Донецкого горного института, №1, 1995.-С.44-46.

4. Гавриленко Ю.Н. Математическое моделирование сдвижения горных пород и земной поверхности в слоистом массиве методом конечных элементов // Известия Донецкого горного института.- 1997.- №1.-С.87-93.

5. Гавриленко Ю.Н. Комплекс программ метода конечных элементов (МКЭ) для моделирования и анализа процессов деформирования массива горных пород и земной поверхности в условиях пластовых месторождений // Доклады III научно-технической конференции вузов Украины "Маркшейдерское обеспечение горных работ".- Донецк, 1995.-С.31-35.

6. Гавриленко Ю.Н. Схемы сдвижения массива горных пород и земной поверхности в складчатых структурах Донбасса // Доклады IV научно-технической конференции вузов Украины "Маркшейдерское обеспечение горных работ".- Днепропетровск, 1996.-С.42-46.

7. Гавриленко Ю.Н., Ягнышева Т.В. Особенности строения угленосной толщи вблизи тектонических разрывов с точки зрения их влияния на деформации земной поверхности при подработке // Доклады III научно-технической конференции вузов Украины "Маркшейдерское обеспечение горных работ".- Донецк, 1995.- С.42-46.

8. Гавриленко Ю.Н., Ягнышева Т.В. Особенности строения и нарушенность складчатых угленосных толщ Донбасса // Доклады IV научно-технической конференции вузов Украины "Маркшейдерское обеспечение горных работ".- Днепропетровск, 1996.-С.40-42.

9. Гавриленко Ю.Н., Мымрин М.П., Шиптенко А.В. Автоматизация обработки и анализа результатов наблюдений за деформациями земной поверхности // Разработка месторождений полезных ископаемых: Респ. межвед. научно-техн. сб.- вып.67.-Киев, Техніка, 1984.-С.22-27.

10. Программа расчета ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности с автоматизацией графических построений.- Л., ВНИМИ, 1985.-59с.

11. Гавриленко Ю.Н., Иванова О.В. Решение задач по вопросам сдвижения горных пород на малых ЭВМ // Разработка месторождений полезных ископаемых: Респ. межвед. научно-техн. сб.- вып.73.-Киев, Техніка, 1986.-С.7-10.

12. Гавриленко Ю.Н., Мольков В.С., Калашников Н.М. Ликвидация аварийного состояния многоэтажного дома при подработке в сложных горно-геологических условиях // Уголь Украины.- 1988.- №5.-С.42-44.

13. Гавриленко Ю.Н., Коваленко В.И. Влияние крупного тектонического нарушения на деформации земной поверхности // Разработка месторождений полезных ископаемых: Респ. межвед. науч.-техн. сб.- 1990. - Вып.85. - С.10-15.

14. Гавриленко Ю.Н., Чижиков С.Ф. Механизм образования и развития уступов при разработке крутых пластов // Уголь Украины, 1987.-N4.-С.20-21.

15. Чижиков С.Ф., Сирий М.В., Гавриленко Ю.Н. Характер сдвижения горных пород // Безопасность труда в промышленности; 1989.-N11.-С.30-32.

16. Гавриленко Ю.Н., Чижиков С.Ф., Сирий М.В. Сдвигение горных пород вокруг очистной выработки в Центральном районе Донбасса // Разработка месторождений полезных ископаемых: Респ. межвед. научно-техн. сб. - 1990.-Вып.87.- Киев.-С.40-44.

17. Могильный С.Г., Гавриленко Ю.Н., Серых А.П., Придатко Н.П. Возможности аэрофотосъемки для наблюдений за сдвижением земной поверхности в Донбассе // Уголь Украины, N7, 1992. - С.58-63.

18. Серых А.П., Смагина Н.П., Гавриленко Ю.Н. Проектирование аэрофото- съемки для наблюдений за сдвижением земной поверхности // Доклады III научно-технической конференции вузов Украины "Маркшейдерское обеспечение горных работ".- Донецк, 1995.-С.49-52.

19. Гавриленко Ю.Н.,Шалимова Е.О. Прогнозирование сдвижений и деформаций земной поверхности численным интегрированием функций единичного влияния // Доклады IV научно-технической конференции вузов Украины "Маркшейдерское обеспечение горных работ".- Днепропетровск, 1996.-С.31-35.

20. А.с.1379410. Способ защиты зданий и сооружений от сосредоточенных деформаций основания/ Ю.Н.Гавриленко, С.Ф.Чижигов/ Б.И.- 1988.- №9.

21. А.с.1448045. Способ моделирования сдвижения горных пород при нарушенном залегании пород / Ю.Н.Гавриленко, И.Ф.Озеров / Б.И.- 1988.- №28.

22. А.с.1488447. Устройство для определения смещений/ Ю.Ф.Кренида, Ю.Н.Гавриленко, В.М.Шик, Л.Э.Панич // Б.И.- 1989.- №23.

Личный вклад автора в работах опубликованных в соавторстве:

-идея, разработка теоретических положений метода прогноза программного обеспечения (19); -идея, постановка задачи и создание программного обеспечения (9,10,11,20); - постановка задачи, организация экспериментальных работ и обобщение полученных результатов (17,18); -анализ и обобщение результатов, выявление и формулирование общих закономерностей (12,13,14,15,16); -анализ и обобщение геологических материалов и общих закономерностей (7, 8) - в авторских свидетельствах вклады соавторов равнозначны (20-22).

REZUME

Gavrilenko Yu.N. Scientific bases of prediction of ground surface deformation caused by coal layers mining in conditions of broken rock occurrence.

Theses for the degree Doctor of technical Science on the Speciality of 05.10.01 "Mine surveying". The State Mining Academy of Ukraine, Dnepropetrovsk, 1997.

The work presents the results of investigations of peculiarities and regularities of ground surface deformation caused by coal layers mining in rock with faults and plications. It determined that change of rock hades is the main cause of subsidence in folds. Effect of faults means that part of loading does not pass to strong pressure zone in result of layers break. The main schemes and method of prediction of ground surfase deformation in folds and faults mining were elaborated. The results of the research was published in 25 articles and 3 inventios.

АНОТАЦІЯ

Гавриленко Ю.М. Наукові основи прогнозування зрушень земної поверхні при розробці вугільних пластів в умовах порушеного залягання порід.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.01 - "Маркшейдерія". Державна гірнична академія України, Дніпропетровськ, 1997.

В роботі захищаються результати досліджень особливостей та закономірностей зрушень земної поверхні при розробці вугільних пластів в масивах гірських порід з розривними та плікативними порушеннями. Встановлено, що основною причиною аномального зрушення в складках є змінювання кутів падіння порід. Ефект впливу розривних тектонічних порушень складається у тому, що внаслідок розрива шарів частина навантаження не передається на зону опорного тиску. Розроблені основні схеми та методика прогнозування зрушень земної поверхні у складках та при підробці розривів. Результати досліджень опубліковані у 25 статтях, 3 винаходах.

Ключові слова: Розривні тектонічні порушення, складки, зрушення, деформації, метод кінцевих елементів.



Отпечатано на ризографе
ООО «ИНФО»
Подп. в печать 9.06.97
Усл. печ. л. 2,7 Уч.-изд. л. 2,3
Тираж 100 экз. Заказ № 421
340000, г. Донецк, ул. Артёма, 58, 113

433717

AV 38.248