

6
А-63
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

СВЕРДЛОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО
ЗНАМЕНИ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ В.В.ВАХРУШЕВА

Аспирант А.И.Марков

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЯВЛЕНИЙ ГОРНОГО
ДАВЛЕНИЯ НА УЧАСТКАХ СОПРЯЖЕНИЙ КАПИ-
ТАЛЬНЫХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК
ГЛУБОКИХ ШАХТ ДОНБАССА
(Вне зоны влияния очистных работ)

Специальность № 313 "Шахтное строительство"

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Свердловск - 1971

71-4
156052

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

СВЕРДЛОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО
ЗНАМЕНИ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ В.В.ВАХРУШЕВА

На правах рукописи

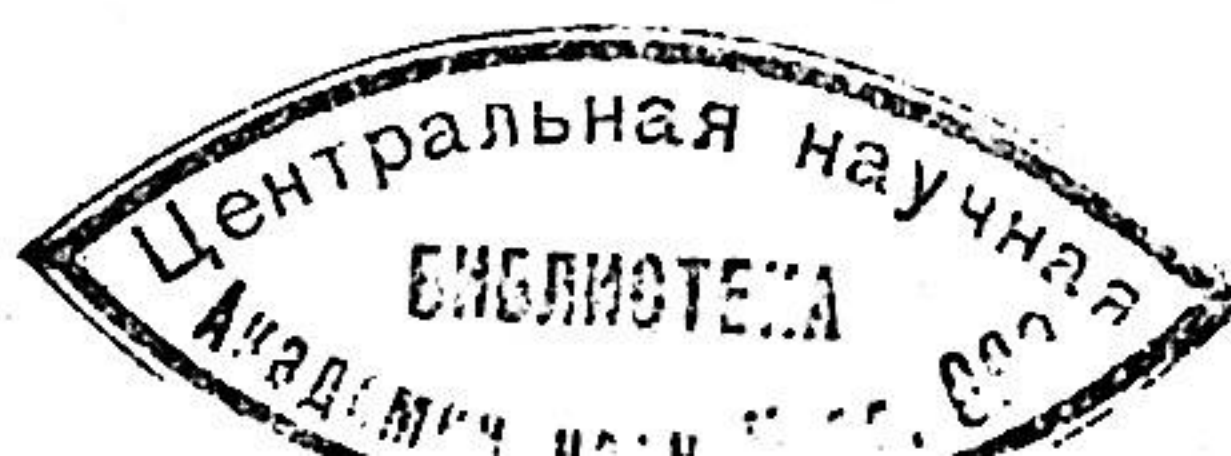
Аспирант А.И.Марков

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЯВЛЕНИЙ ГОРНОГО
ДАВЛЕНИЯ НА УЧАСТКАХ СОПРЯЖЕНИЙ КАПИ-
ТАЛЬНЫХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК
ГЛУБОКИХ ШАХТ ДОНБАССА
(Вне зоны влияния очистных работ)

Специальность № 313 "Шахтное строительство"

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Свердловск - 1971



Работа выполнена в лаборатории совершенствования способов охраны и крепления капитальных горных выработок Донецкого научно-исследовательского угольного института.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Ю.З.Заславский.

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:

Доктор технических наук И.Л.Черняк.

Кандидат технических наук Н.Д.Ипполитов.

Ведущее предприятие – треста "Донецкшахтострой".

Автореферат разослан "_____" 19__ г.

Защита состоится "_____" 19__ г. на заседании Совета горного и горномеханического факультетов Свердловского ордена Трудового Красного Знамени горного института имени В.В.Вахрушева.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Отзыв на автореферат просим направлять в 2-х экземплярах, заверенных печатью, по адресу: г.Свердловск, ул.Куйбышева, 30, Свердловский горный институт, ученому секретарю.

Ученый секретарь совета
доцент, кандидат технических наук

Г.А.Багаутинов

ВВЕДЕНИЕ

Перспективным планом развития народного хозяйства нашей страны предусматривается дальнейшее развитие угледобывающей промышленности. Значительный прирост добычи углей в Донецком бассейне осуществляется за счет ввода строящихся глубоких шахт и углубления действующих до 1000-1600 м.

Развитие угледобывающей промышленности требует постоянного увеличения объемов работ по проходке капитальных выработок, которые по своему назначению являются наиболее ответственными в комплексе подземных сооружений. Поддержание этих выработок в рабочем состоянии связано с большими расходами по креплению, составляющими 25-50% их сметной стоимости.

Опыт строительства показал, что на глубинах свыше 500-700 м крепление и поддержание капитальных выработок значительно усложняется. Многие из них перекрепляются еще в стадии строительства шахты.

Околоствольные дворы современных угольных шахт представлены густой сетью сопрягающихся выработок различного назначения. Наиболее слабыми звеньями в этом комплексе, с точки зрения устойчивости, являются участки сопряжений горных выработок. При малых размерах породного целика сопрягающиеся выработки оказывают друг на друга взаимное влияние. При этом увеличивается напряженное состояние пород, вмещающих сопрягающиеся выработки и, следовательно, смещения и нагрузки на крепи.

Долевое участие мест сопряжений в общем объеме околоствольных выработок зависит от применяемой схемы околоствольного двора и составляет, в среднем, 40%.

На перекрепление капитальных выработок только за период строительства расходуются большие средства. Так, только по шахте им.Бажанова на перекрепление деформированной крепи израсходовано 1,5 млн.руб., а по шахте им.газеты "Социалистический Донбасс" - 1 млн.руб. Расходы,

связанные с перекреплением участков сопряжений выработок, составляют по этим шахтам соответственно 0,62 и 0,37 млн.руб.

К настоящему времени по проявлению горного давления в одиночных выработках выполнено много работ, позволяющих снизить затраты на их поддержание при строительстве и эксплуатации шахт, однако исследований проявления горного давления на участках сопряжений выполнено еще недостаточно. Одной из существенных причин удорожания сооружения и поддержания капитальных выработок в местах сопряжений является отсутствие методики и исходных данных для расчета параметров крепей на этих участках.

Настоящая работа посвящена исследованию проявления горного давления на участках сопряжений капитальных горизонтальных выработок глубоких шахт, расположенных на пологих пластах в Донбассе, с целью определения необходимых параметров крепей для этих условий.

Работа выполнена в 1963-1968 гг. в лаборатории совершенствования способов охраны и крепления капитальных горных выработок Донецкого научно-исследовательского угольного института. Диссертация состоит из введения, четырех глав и выводов, изложенных на 128 страницах машинописного текста и 57 рисунках.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В главе дан краткий обзор работ отечественных и зарубежных ученых, посвященных изучению напряженного состояния массива пород, вмещающих горные выработки. Рассмотрены особенности проявления горного давления в выработках глубоких шахт.

Естественно, что первопричиной проявления горного давления является наличие гравитационных сил и вызванное ими напряженное состояние, вмещающих выработки пород. В местах взаимного влияния выработок напряженное состояние породного массива возрастает. При этом качественная

картина проявления горного давления в местах сопряжения выработок существенно не меняется. В связи с этим рассмотрены существующие гипотезы горного давления.

Из предложенных гипотез применительно к участкам сопряжений на малых и средних глубинах разработки в какой-то мере использовался расчетный метод проф. М.М.Протодьяконова. При этом в расчетных формулах учитывалась лишь большая ширина выработки в месте разветвления.

В работах М.Е.Бибенина, И.Л.Давыдовича, Ю.З.Заславского, К.В.Кошелева, Г.Коха, Г.Хейсбауера и др. отмечается, что с увеличением глубины разработки состояние участков сопряжений капитальных выработок ухудшается. Однако до настоящего времени известно очень мало работ, посвященных проявлению горного давления на узлах сопряжений, и не известны работы о взаимном влиянии сопрягающихся выработок.

А.В.Ванштоком рассмотрены вопросы определения усилий в элементах крепи различных форм сечений на узлах и унификации сопряжений для условий средних глубин разработки.

Применительно к узлам сопряжений выработок глубоких шахт М.Е.Бибениным на основе обработки лабораторных и натурных наблюдений предложены корреляционные зависимости по определению смещений породного контура и несущей способности крепи. Однако, эти зависимости у М.Е.Бибенина не взаимосвязаны.

Исследованиями И.Л.Давыдовича, К.В.Кошелева, В.В.Орлова и др. на основе шахтных наблюдений установлены расстояния, при которых взаимное влияние параллельных выработок прекращается. Однако, эти эмпирические зависимости не позволяют оценить влияние выработок друг на друга по мере их сближения. В работах Д.И.Шермана, А.С.Космодамианского, Л.И.Кислера и др. рассмотрено взаимовлияние параллельных выработок при различном расстоянии между ними. Аналитическим решением таких задач определяется

напряженное состояние массива, вмещающего выработки. При этом установлено, что взаимное влияние параллельных выработок практически прекращается при расстояниях между ними равным 4–5 диаметрам. Наибольшие напряжения наблюдаются на контуре выработок и концентрируются в основном на стенках, прилежащих к целику между выработками. Однако математический аппарат этих решений разработан только в рамках теории упругости, поэтому область их применения ограничивается условиями, соответствующими поведению упругого и, в основном, изотропного массива.

Анализ работ по исследованию проявлений горного давления в одиночных и параллельных выработках позволяет отметить ряд интересных аналитических исследований, в которых на основе строгого математического подхода приводятся решения задач напряженно-деформированного состояния пород, вмещающих выработки. При этом исследователями обычно привлекаются различные разделы механики сплошной среды и, до некоторой степени, идеализируется горный массив и механизм процесса взаимодействия между породой и крепью. Аналитические решения задач с учетом слоистости, анизотропии и реологических свойств горного массива даже для одиночной выработки представляют большие математические трудности. Между тем, околовольные дворы глубоких шахт включают в себя не только одиночные, но и сопрягающиеся выработки. Если для определения напряжений и смещений вокруг одиночной выработки обычно рассматривается плоская задача механики сплошной среды, то на участках сопряжений нужно решать пространственную задачу, так как горный массив в этом месте ослабляется расходящимися и взаимовлияющими друг на друга выработками. При современном развитии механики горных пород строгое решение рассматриваемой пространственной задачи не представляется возможным. Кроме того, для определения напряженно-деформированного состояния горного массива, вмещающего выработки, необходимо знать физико-механические характеристики среды, которые не являются константами, а

зависят от напряженного состояния массива. При этом региональные значения прочностных показателей пород одних и тех же литологических формаций характеризуются весьма сильной их вариацией.

Доминирующим фактором для работы крепи в выработках глубоких шахт следует считать формирующиеся вслед за забоем смещения породного контура. Рациональный режим работы крепи в таких условиях определяется соответствием податливости конструкции, передающимся на нее смещениям породного контура. В связи с этим для решения вопроса о выборе конструкций крепи в первую очередь необходимо знать характер развития горного давления и его количественные величины, главным образом – смещения.

Таким образом, задачей исследования в работе является установление развития смещений пород на контуре выработок с целью определения необходимой податливости и несущей способности конструкций.

На основе выполненного анализа в работе делается вывод о том, что для решения поставленной задачи в конкретных горногеологических условиях целесообразно применить инженерный метод, основанный на производственно-экспериментальном подходе с привлечением лабораторных и аналитических исследований.

ГЛАВА П. ШАХТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЯВЛЕНИЯ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ

В главе приводятся результаты выполненного обследования состояния 118 узлов сопряжений и примыкающих к ним выработок на 7 глубоких шахтах Донецкого бассейна, а также результаты инструментальных наблюдений.

Обследование участков сопряжений выполнялось с учетом основных факторов, влияющих на состояние крепей – глубины заложения выработок, их размеров и угла примыкания, типа вмещающих пород, конструкции крепи и технологии ее возведения, срока существования выработок и их ори-

ентировки относительно элементов залегания пород. В качестве критерия, определяющего состояние участков сопряжений, была принята протяженность нарушений крепи по сопрягающимся выработкам от места их разветвления. При этом было установлено следующее:

1. Протяженность деформированных участков сопрягающихся выработок возрастает с ростом глубины их залегания и уменьшается с увеличением угла примыкания.

2. Стенки сопрягающихся выработок, прилежащие к породному целику, деформированы по длине, в среднем, на 60% больше, чем прилежащие к массиву.

3. Большим разрушением подвергаются жесткие крепи узлов, когда к ним примыкают выработки с податливыми крепями. В этом случае жесткие участки крепи работают как опоры.

4. На участках сопряжений крепи, работающие в податливом режиме, оказываются более работоспособными, чем жесткие конструкции.

5. Одновременная проходка сопрягающихся выработок благоприятно сказывается на работе крепей. Увеличение разрыва между проведением выработок приводит к увеличению деформаций крепи в ранее пройденной.

Количественная оценка взаимного влияния сопрягающихся выработок, полученная по результатам обследования, представлена на рис.1. Кривая этого графика показывает характер изменения распространения взаимовлияния сопрягающихся выработок в зависимости от прочности вмещающих пород, глубины заложения выработок и их размеров.

В основу шахтных инструментальных наблюдений в работе была положена методика, разработанная ИГД им.А.А.Скопинского и ДГИ для одиночных выработок, с внесением в нее некоторых дополнений, учитывающих специфику смещений на участках сопряжений.

В местах взаимовлияния инструментальными наблюдениями возможно установить влияние поздней проводимой выработки на пройденную ранее, как результат дополнительно увеличения смещений. Поэтому установка замерных стан-

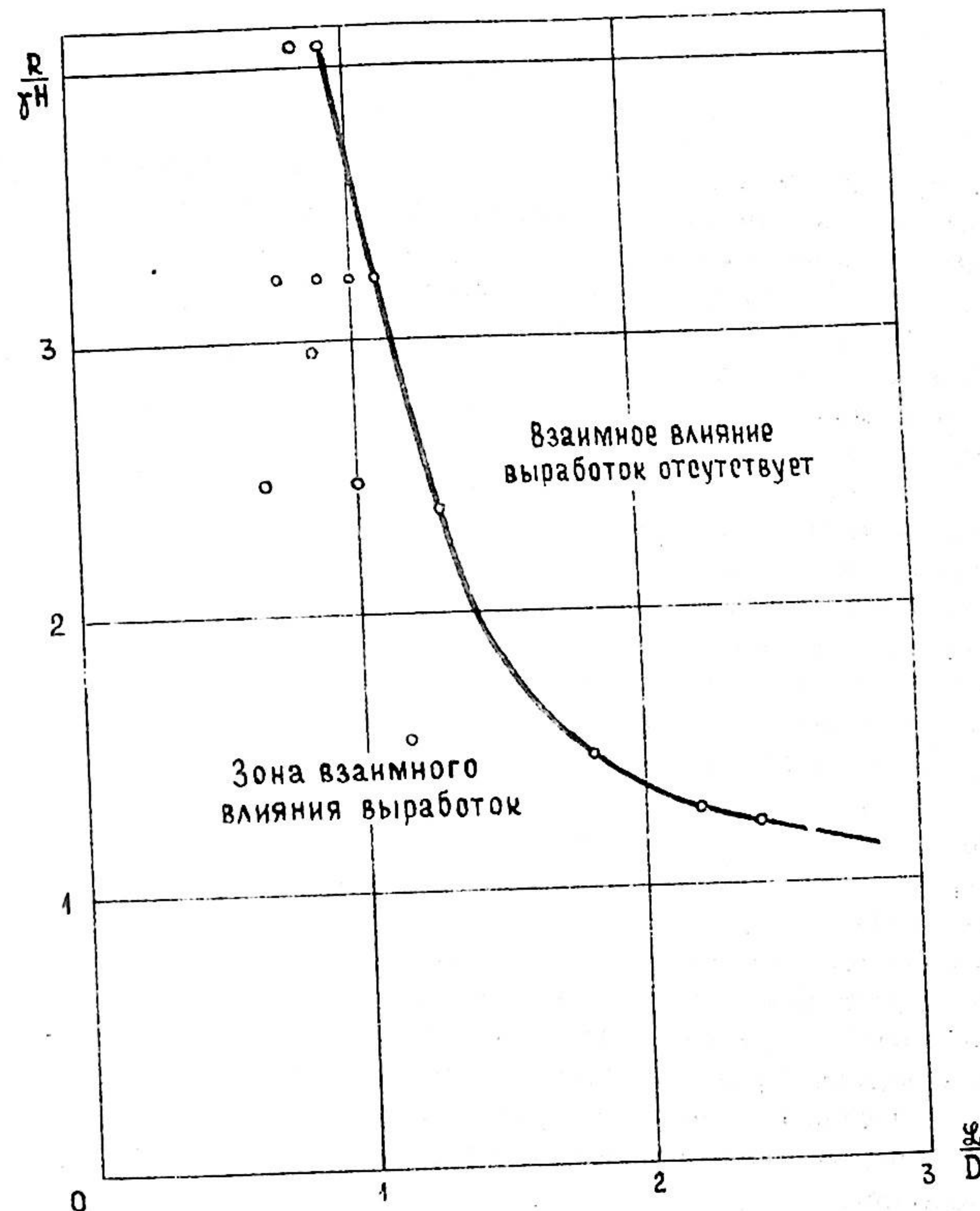


Рис.1. Распространение взаимовлияния сопрягающихся выработок:

- λ — размер породного целика,
- D — суммарная ширина сопрягающихся выработок,
- R — прочность вмещающих пород,
- γH — вес вышележащей толщи массива.

ций производилась в ранее проведенной выработке в период ее проходки. На каждом участке сопряжения через каждые 5–10 м оборудовалась 6–8 замерных станций с контурными, глубинными реперами и динамометрами.

Абсолютные смещения контурных реперов, заложенных в боках выработки, определялись от опорных боковых глубинных реперов, которые оборудовались в стороне, противоположной породному целику между выработками.

На участках сопряжений выработок необходимо проводить больше трудоемких инструментальных замеров, чем в обычных условиях. Накопленный опыт работ позволил предложить для шахтных инструментальных наблюдений фотограмметрический способ, широко применяемый в аэрофотосъемке и фототопографии. Использование этой методики позволяет значительно снизить трудоемкость шахтных наблюдений и перенести их расшифровку в лабораторные условия.

Существующие фотограмметрические приборы громоздкие и неудобные для условий подземных работ. Поэтому изыскивалась возможность использования простых распространенных фотокамер с высококачественными объективами. Оказалось, что удовлетворительными показателями обладают ортоскопические объективы типа МР-2 и "Орион". Они позволяют получать геометрически достаточно точные снимки и вполне пригодны для рассматриваемых целей.

В работе приведена разработанная методика проведения шахтных инструментальных наблюдений фотограмметрическим способом.

Целью инструментальных наблюдений являлось определение величины смещений пород и сопротивления крепи как на участках сопряжений, так и в аналогичных условиях одиночных выработок. В такой постановке все изменения, которые присущи участкам сопряжений, могут быть определены по отношению к одиночным выработкам. Замерные участки оборудовались в наиболее характерных для Донбасса условиях.

Результаты инструментальных наблюдений, полученные на 9 замерных станциях, установленных в одиночных выработках, и 42 замерных станциях, установленных на участках сопряжений, послужили основой для разработки методики расчета параметров крепи на узлах и участках взаимного влияния сопрягающихся выработок. В процессе наблюдений было установлено, что проведение сопрягающейся выработки вносит возмущение в устанавливаемое равновесие ранее пройденной, которое выражается в увеличении смещений пород со стороны кровли-почвы и боков выработки. Скорости смещений резко возрастают при разделке узла и проведении сопрягающейся выработки (рис.2). Непосредственно на узле сопряжения величины смещений не превосходят смещений одиночной выработки с аналогичными размерами сечения.

ГЛАВА Ш. ЛАБОРАТОРНЫЕ И АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЯВЛЕНИЙ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ

Инструментальные наблюдения позволяют получить количественные величины проявлений горного давления в конкретных горногеологических условиях. Для уточнения общей закономерности проявления горного давления привлекались лабораторные и аналитические исследования.

Первопервичной проявления горного давления является напряженное состояние массива. Изучение его в местах сопряжений выработок выполнялось на объемных моделях из оптически активного материала. Объемные модели изготавливались из эпоксидной смолы ЭД-6. С помощью метода замораживания, после расшифровки, определялись напряжения в массиве, вмещающем выработки. При этом было установлено, что изменение напряженного состояния, вызванное взаимным влиянием сопрягающихся выработок, практически заканчивается при размерах целика между ними равного 4–5 диаметром. Тангенциальные напряжения увеличиваются

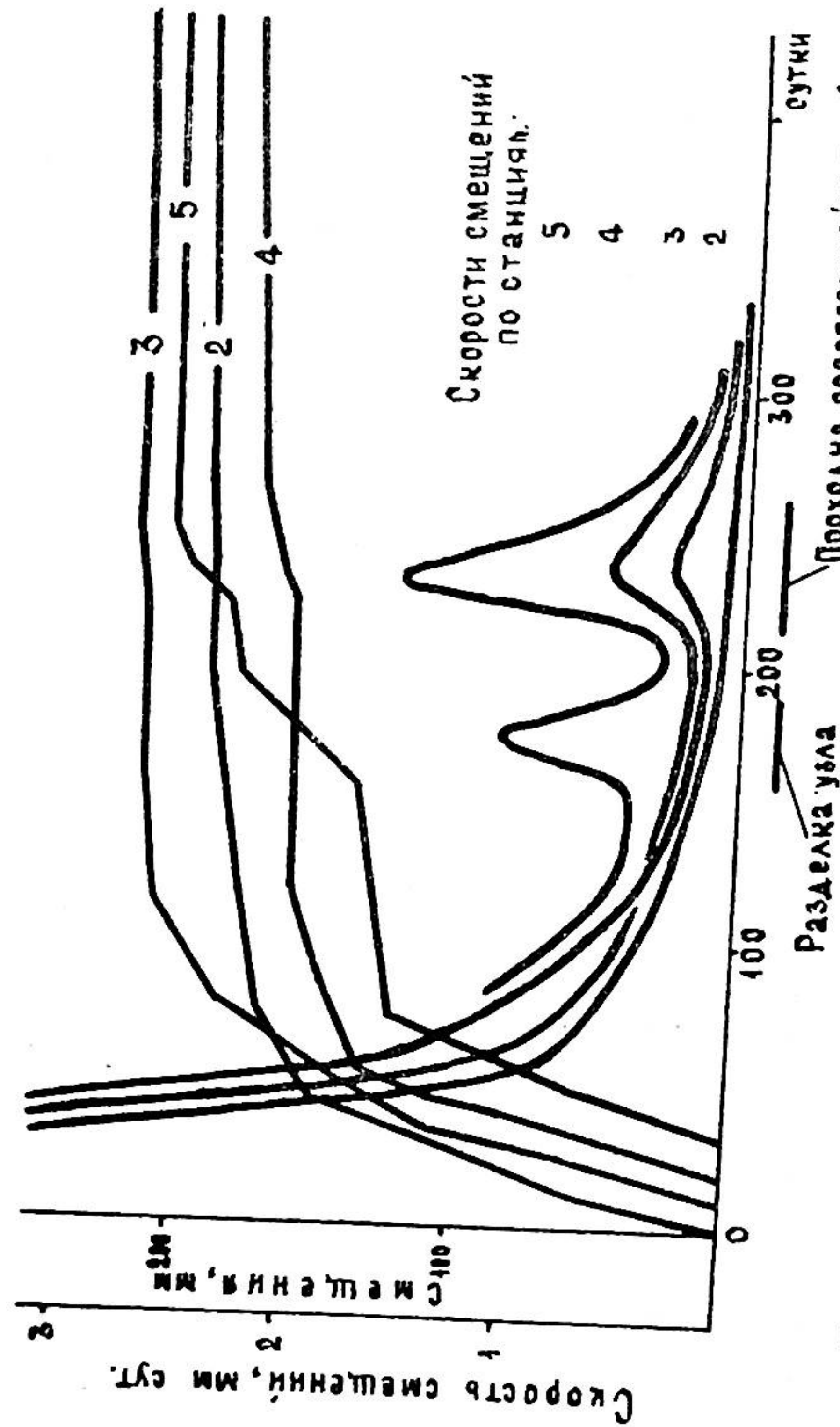


Рис.2. Графики величин и скоростей смещений породного контура на участке сопряжения выработок по мере приближения к месту их разветвления. (Расстояние между сопрягающимися выработками по станциям: 1-27 м, 2-18 м, 3-7 м, станция 4 расположена на узле сопряжения).

по мере приближения к узлу, причем, большие изменения происходят на стенках выработок, прилежащих к породному целику. На узле сопряжения характер напряженного состояния и величины его примерно соответствуют одиночной выработке аналогичных размеров.

Характерной особенностью выработок глубоких шахт является образование вокруг них зоны неупругих деформаций. С образованием этой зоны коэффициенты концентрации напряжений, полученные на упругих объемных моделях из оптически активных материалов, претерпевают изменения. В местах разветвления выработок за счет наложения зон будет формироваться одна общая. В работе сделана попытка определения размеров этой общей зоны.

Решение задачи выполнено для однородного изотропного массива.

Размер разрушенного породного целика между сопрягающимися выработками (формирующими общую зону) может быть определен из выражения.

$$L_0 = (a_1 + a_2) \left[\frac{\frac{2\gamma H - R^0}{1 + \lambda} - \frac{k}{\lambda}}{2q + \frac{k}{\lambda}} \right]^{\frac{1}{2\lambda}},$$

где L_0 — размер породного целика, до которого распределяется общая зона;

a_1 и a_2 — радиусы сопрягающихся выработок;

q — отпор крепи;

γH — вес вышележащей толщи массива;

R^0 и k — прочностные показатели вмещающих пород соответственно в массиве и разрушенной зоне;

$$\lambda = \frac{\sin \varphi}{1 - \sin \varphi};$$

φ - угол внутреннего трения пород.

Для рассматриваемых горногеологических условий этот размер составляет 1,5-2,5 диаметра выработки.

Таким образом, выполненные в этой главе исследования позволили установить места концентрации напряжений и их изменение с удалением от места разветвления выработок, а также в первом приближении определить размер общей зоны упруго деформированных пород, формирующихся вокруг сопрягающихся выработок глубоких шахт.

На остальном участке взаимного влияния наблюдается плавное снижение коэффициентов концентрации напряжений, полученных по результатам моделирования, и смещений породного контура по данным инструментальных наблюдений. Это позволяет принять для последнего случая характер изменения смещений по аналогии с изменением коэффициента концентрации напряжений. Величины смещений при этом определяются по результатам шахтных исследований.

ГЛАВА IV. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ КРЕПЕЙ НА УЧАСТКАХ СОПРЯЖЕНИЙ

Основными параметрами крепи горных выработок является податливость и несущая способность конструкции. Поскольку доминирующей из них является необходимая величина податливости, то для расчета параметров крепи на участках сопряжений определялись величины смещений породного контура с учетом отпора крепи и сопоставлялись со смещениями в аналогичных одиночных выработках. На основе лабораторных и аналитических исследований установлен общий вид изменения смещений на участке взаимного влияния выработок по сравнению с одиночной в виде функционального коэффициента

$$\psi = 1 + A \left(\frac{x}{D} \right) \exp \left(-B \frac{x}{D} \right),$$

где $\frac{x}{D}$ - отношение размера породного целика к суммарной ширине сопрягающихся выработок.

Значение постоянных A и B были определены по результатам шахтных инструментальных наблюдений.

Таким образом, зная величины смещений в одиночной выработке, с учетом функционального коэффициента могут быть определены смещения породного контура на участках взаимного влияния сопрягающихся выработок.

В основу методики расчета параметров крепи на участках сопряжений в настоящей работе положен расчетный метод ДонУТИ, разработанный для одиночных выработок и несколько упрощенный нами.

На узле сопряжения параметры крепи определяются по обычным формулам одиночных выработок с учетом размеров сечения узла:

для смещений кровли

$$u_k = a \left[\frac{\gamma H}{10R} - \left(\frac{R}{R_0} \right)^2 \frac{q_k}{R} \right],$$

для сближения боков

$$u_b = h \left[0,06 \frac{\gamma H}{R} - \left(\frac{R}{R_0} \right)^2 \frac{q_b}{R} \right],$$

где a и h - соответственно, ширина и высота выработки;
 q_k и q_b - отпор крепи соответственно в кровле и боках выработки;
 H - глубина заложения выработки;
 R - предел прочности пород на одноосное сжатие;
 R_0 - условная прочность пород, равная 300 кг/см²;
 γ - объемный вес пород.

На участке взаимного влияния сопрягающихся выработок для определения смещений рекомендуются следующие зависимости:

для смещений пород со стороны кровли

$$u_k^b = \alpha \left[\frac{rH}{R} - \left(\frac{R}{R_0} \right)^2 \frac{q_k}{R} \right] \left[1 + \frac{3}{2} \left(\frac{L}{D} + 0,1 \right) e^{-\frac{3}{2} \frac{L}{D}} \right],$$

для сближений боков выработки

$$u_b^b = h \left[0,06 \frac{rH}{R} - \left(\frac{R}{R_0} \right)^2 \frac{q_k}{R} \right] \left(1 + \frac{1}{2} e^{-\frac{L}{D}} \right),$$

где L — размер породного целика между сопрягающимися выработками;
 D — суммарная ширина сопрягающихся выработок.

Несущая способность податливой крепи определяется из выражения

$$q = 8\gamma \sqrt[3]{\frac{1}{2} u^2},$$

где u — соответствующее смещение при $q = 0$;
 $\frac{1}{2}$ — половина ширины выработки рассматриваемого сечения.

Область применения полученных расчетных зависимостей ограничена горногеологическими условиями, в которых были проведены инструментальные наблюдения (т.е. глубинами 700–1000 м в Донецко-Макеевском и Торезском районах Донбасса).

Достоверность полученной методики проверялась в этих же условиях на 7 дополнительных установленных замерных станциях. Кроме того была выполнена оценка возможных погрешностей расчетных значений по погрешностям входящих в формулы исходных величин. Оказалось, что погрешность установленных зависимостей не превышает пределов, допустимых для инженерных расчетов.

Использование разработанных рекомендаций позволяет сократить расходы на сооружение околоствольного двора

глубокой шахты производительностью 1,8 млн.т угля в год, в среднем, на 100 тыс.руб.

x

x

x

Таким образом, проведенные исследования позволили:

1. По результатам визуального обследования выполнить анализ состояния участков сопряжений капитальных выработок глубоких шахт Донецко-Макеевского и Торезского районов Донбасса.

2. В характерных горногеологических условиях этого района получить количественные величины смещений породного контура на узлах и участках взаимовлияния сопрягающихся выработок.

3. Рекомендовать порядок проведения сопрягающихся выработок и технологию возведения крепей на этих участках.

4. Определить общую закономерность в смещениях породного контура в зависимости от горногеологических факторов.

5. Предложить методику расчета параметров крепей для узлов и участков взаимного влияния сопрягающихся выработок.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Проявление горного давления на участках сопряжений капитальных горизонтальных выработок глубоких шахт Донбасса. ДонУГИ. Тезисы докладов II научно-технической конференции по проблемам угольной промышленности. Донецк, 1966.

2. Состояние крепи сопряжений капитальных горизонтальных выработок глубоких шахт Донбасса. Сб. Проектирование и строительство угольных предприятий. № 11-12, 1967 (соавторы Ю.З.Заславский, А.Н.Зорин).

3. Крепление сопряжений выработок глубоких шахт. Сб. Проектирование и строительство угольных предприятий. № 7, 1968 (соавторы Ф.И.Перепичка, М.Я.Рафалович, А.П.Пастухов).

4. Исследование распределения напряжений в породах, вмещающих участки сопряжений горных выработок. Труды ДонУГИ. Вопросы управления кровлей, крепления и поддержания горных выработок. Сб. 48. Донецк, 1969. (Соавторы А.Н.Зорин, Ю.Л.Жулин).

5. Взаимное влияние сопрягающихся горизонтальных выработок глубоких шахт. Труды ДонУГИ. Вопросы управления кровлей, охраны и крепления горных выработок. Сб. № 48. Изд-во "Донбасс". Донецк, 1969.

6. Определение параметров крепи капитальных выработок глубоких шахт на участках сопряжений. ДонУГИ. Тезисы докладов на республиканской научно-технической конференции по проблемам угольной промышленности, ч. 1. Донецк, 1969.