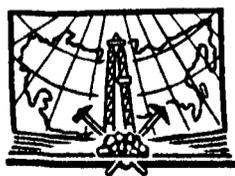


А. И. КОСТОМАНОВ  
К. Ф. САПИЦКИЙ

**УСТОЙЧИВОСТЬ  
ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ  
ВЫРАБОТОК  
ПРИ РАЗРАБОТКЕ  
СВИТЫ  
ПОЛОГИХ  
ПЛАСТОВ**

А. И. КОСТОМАНОВ  
К. Ф. САПИЦКИЙ

**УСТОЙЧИВОСТЬ  
ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ  
ВЫРАБОТОК  
ПРИ РАЗРАБОТКЕ  
СВИТЫ  
ПОЛОГИХ  
ПЛАСТОВ**



МОСКВА "НЕДРА" 1987

**Костоманов А.И., Сапицкий К.Ф. Устойчивость подготовительных выработок при разработке свиты пологих пластов. — М.: Недра, 1987. — 119 с.**

Рассмотрены основные закономерности сдвижения породного массива и проявления горного давления при разработке свиты пологих пластов. Приведены зависимости для определения величины дополнительного горного давления, воспринимаемого угольным массивом у границ выработанного пространства, при разработке одиночного, над- и подработанного пластов. Даны рекомендации по очередности разработки пластов в свите для уменьшения влияния горного давления на подготовительные выработки. Определены границы влияния очистных работ при нисходящем и восходящем порядках отработки пластов. Дана экономическая оценка способов безремонтного поддержания выработок.

Для инженерно-технических работников угольных шахт, научно-исследовательских и проектных организаций.  
Табл. 12, ил. 49, список лит. — 47 назв.

Рецензент: *И.П. Черняк*, проф., д-р техн.наук (Московский горный институт)

## ПРЕДИСЛОВИЕ

XXVII съезд КПСС поставил перед промышленностью большие задачи по ускорению научно-технического прогресса, перевооружению и реконструкции действующих предприятий.

Важным условием улучшения технико-экономических показателей работы угольных шахт является повышение устойчивости подготовительных выработок, поддержание которых в настоящее время требует значительных затрат материальных и людских ресурсов. Об его важности можно судить по такому факту: только на шахтах Украинского Донбасса ежегодно ремонтируют выработки, протяженность которых в среднем составляет 25 % общей, причем на ремонте и восстановлении занято около 24 % численности подземных рабочих. Это объясняется не только недостаточной механизацией работ по креплению, перекреплению и ремонту подготовительных выработок, но отсутствием достаточно обоснованных рекомендаций по созданию новых и совершенствованию существующих способов их охраны, обеспечивающих уменьшение напряженного состояния вмещающих выработку пород.

Особенно большие трудности, связанные с поддержанием выработок, наблюдаются на шахтах, разрабатывающих свиту пластов. В результате влияния очистных работ по одним пластам на выработки других объем ремонтных работ и затраты на поддержание подготовительных выработок на таких шахтах в 2—2,4 раза выше, чем на шахтах, разрабатывающих обособленные или одиночные пласты.

На действующих и проектируемых глубоких шахтах предусматривается, как правило, одновременная разработка двух и более пластов. В этих условиях сохранения устойчивости подготовительных выработок можно добиться только при учете взаимного влияния очистных работ в смежных пластах свиты.

Из опыта работы шахт и приведенных в горнотехнической литературе сведений известно о снижении вредных проявлений горного давления в выработках, проведенных в надрботанных и подработанных пластах. Однако отсутствуют конкретные рекомендации по выбору порядка отработки пластов в свите, способа охраны и расположения подготовительных выработок, направленные на повышение их устойчивости. Цель настоящей работы, в основу которой положены результаты исследований и данные производственного опыта шахт Донбасса, — восполнить данный пробел.

# 1. ЗАКОНОМЕРНОСТИ СДВИЖЕНИЯ ТОЛЩИ ПОРОД ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПОЛОГИХ ПЛАСТОВ

## 1.1. Сдвигание толщи массива горных пород

Эксплуатационное состояние подготовительных выработок определяется в основном общими закономерностями сдвижения пород и проявления горного давления, возникающих в толще горного массива под влиянием подземной разработки.

Многочисленными натурными и лабораторными исследованиями установлено, что процесс сдвижения подработанной толщи пород начинается с прогиба кровли пласта над очистной выработкой. В первый период развития очистных работ, когда лава отошла от разрезной печи на небольшое расстояние, породы кровли пласта сохраняют устойчивое состояние. По мере увеличения площади очистной выемки слои пород кровли последовательно отделяются от вышележащей толщи, прогибаются и при определенных размерах выработанного пространства обрушаются [6, 7, 13, 18, 19, 40]. Если размеры выработанного пространства меньше глубины разработки, то расслоение толщи пород в какой-то момент прекращается, не достигая земной поверхности. При определенном соотношении площади выработанного пространства и глубины разработки сдвигание подработанных пород достигает земной поверхности, на которой образуется так называемая мульда сдвижения.

Предложено немало схем сдвижения массива горных пород при очистной выемке, основанных на результатах моделирования и натурных наблюдений. Наиболее полно они отражены в работах [1, 12, 13, 16, 19, 22, 40 и др.] .

Согласно исследованиям ВНИМИ, над очистной выработкой по характеру деформирования толщи различают следующие зоны: беспорядочного обрушения пород; трещиноватых нарушений пород; опускания пород без нарушения сплошности; максимальных изгибов пород с разрывом сплошности; плавного прогиба пород без деформаций по нормали к напластованию; сжатия пород с незначительным их прогибом (рис. 1.1). Аналогичные результаты получены также в работе [22] .

Исследованиями на плоских моделях из эквивалентных материалов [7] установлено, что подработанные породы, потерявшие связь с остальным массивом, оседают в пределах свода



глубины разработки автор работы [7] наблюдал одинаковый характер сдвижений и деформаций пород над выработанным пространством. Это дало ему основание сделать вывод, что глубина разработки не вносит принципиальных изменений в закономерности сдвижения подработанной толщи пород и что сдвижение происходит всегда в направлении снизу вверх в пределах свода обрушения. Опыты на моделях, в которых удалялись обрушившиеся слои пород, подтвердили, что свод обрушения является той областью, в которой подработанные породы теряют связь с остальным массивом.

Массив пород за пределами свода обрушения не остается в покое, а прогибается в сторону выработанного пространства. Этот прогиб ведет к появлению растягивающих напряжений в слоях пород, нависающих над сводом обрушения, и образованию в них трещин, хотя в целом они остаются достаточно монолитными. Породы данной части толщи, прогибаясь в сторону выработанного пространства, встречают на своем пути ранее осевшие в пределах свода обрушения породы, которые препятствуют их дальнейшему движению. В результате наступает равновесие и прекращается движение пород. Часть веса нависающих пород передается на осевшие слои, а часть — на массив угля, примыкающий к выработанному пространству.

Аналогичных воззрений придерживаются и другие исследователи.

Эксперименты показали, что оставление межэтажных или межъярусных целиков угля препятствует оседанию расположенной над ними толщи пород. Оседание пород над выработанным пространством, разделенным большими целиками угля, происходит с образованием над ними обособленных сводов сдвижения.

При решении вопросов обеспечения устойчивости подготовительных выработок в разработанной ВНИМИ схеме сдвижения горных пород и проявления горного давления наибольший интерес представляют зоны I, II, III, IV, VII и IX (см. рис. 1.1).

Зона I беспорядочного обрушения находится непосредственно над выработанным пространством. Размер ее по нормали к напластованию достигает 5-кратной мощности разрабатываемого пласта. Зона II полных сдвижений или шарнирно-блокового перемещения пород располагается в направлении по нормали к напластованию над зоной I. Она имеет форму купола, вытянутого в сторону большего размера очистного пространства. По мере подвигания очистного забоя с течением времени слои пород в этой зоне оседают, теряют связь с остальным массивом и сов-

местно с породами зоны I образуют ядро свода сдвижений. В результате сводообразного оседания пород горное давление на почву пласта у границ выработанного пространства меньше, чем в средней части зоны. Давление зависит главным образом от веса пород, заключенных внутри указанной зоны. Вес пород, в свою очередь, определяется размерами ядра свода сдвижений, а следовательно, размерами очистной выработки. До полной подработки земной поверхности уплотнение пород здесь постоянно возрастает. Размеры рассматриваемой зоны определяются углами полного сдвижения пород по падению  $\psi_1$  и восстановлению  $\psi_2$ , а также углом полного сдвижения пород по простиранию  $\psi_3$  (на рис. 1.1 не показан).

Зона III наибольшего прогиба пород оконтуривает зону II и характеризуется максимальными изгибами породных слоев по напластованию. При прогибе всей толщи подработанных породных слоев в них возникают деформации сжатия и растяжения в направлении напластования. Внутри зоны есть расслоения. Разгрузка пород по нормали здесь не имеет ярко выраженного максимума и приурочена к середине. Зона III имеет наименьшие размеры в плоскости напластования на уровне вершины свода полных сдвижений. При ограниченных размерах площади очистной выработки размер зоны возрастает с увеличением глубины горных работ.

Зоны IV и VII охватывают зоны повышенных (опорных) давлений, которые создаются в толще горных пород вследствие зависания пород над выработанным пространством и передачи части веса зависших пород в качестве дополнительной нагрузки на массив.

Зона IX упругого восстановления расположена непосредственно под очистной выработкой и имеет форму перевернутого свода (купола). Характерной ее особенностью является сдвижение пород в направлении очистного пространства. При этом величины поднятий по контуру зоны значительно меньше, чем в ее средней части. Распространение указанной зоны зависит от структурного строения толщи пород почвы угольного пласта. Чем больше степень слоистости и трещиноватости горных пород и чем меньше сцепление между слоями, тем на большую глубину прослеживается зона IX.

Механизм сдвижения толщи пород при разработке свиты пластов изучен значительно меньше, чем при разработке одиночного пласта. Первая попытка установить схему сдвижения толщи горных пород при разработке свиты пологих пластов угля была предпринята в работе [21]. На основе анализа результатов ис-

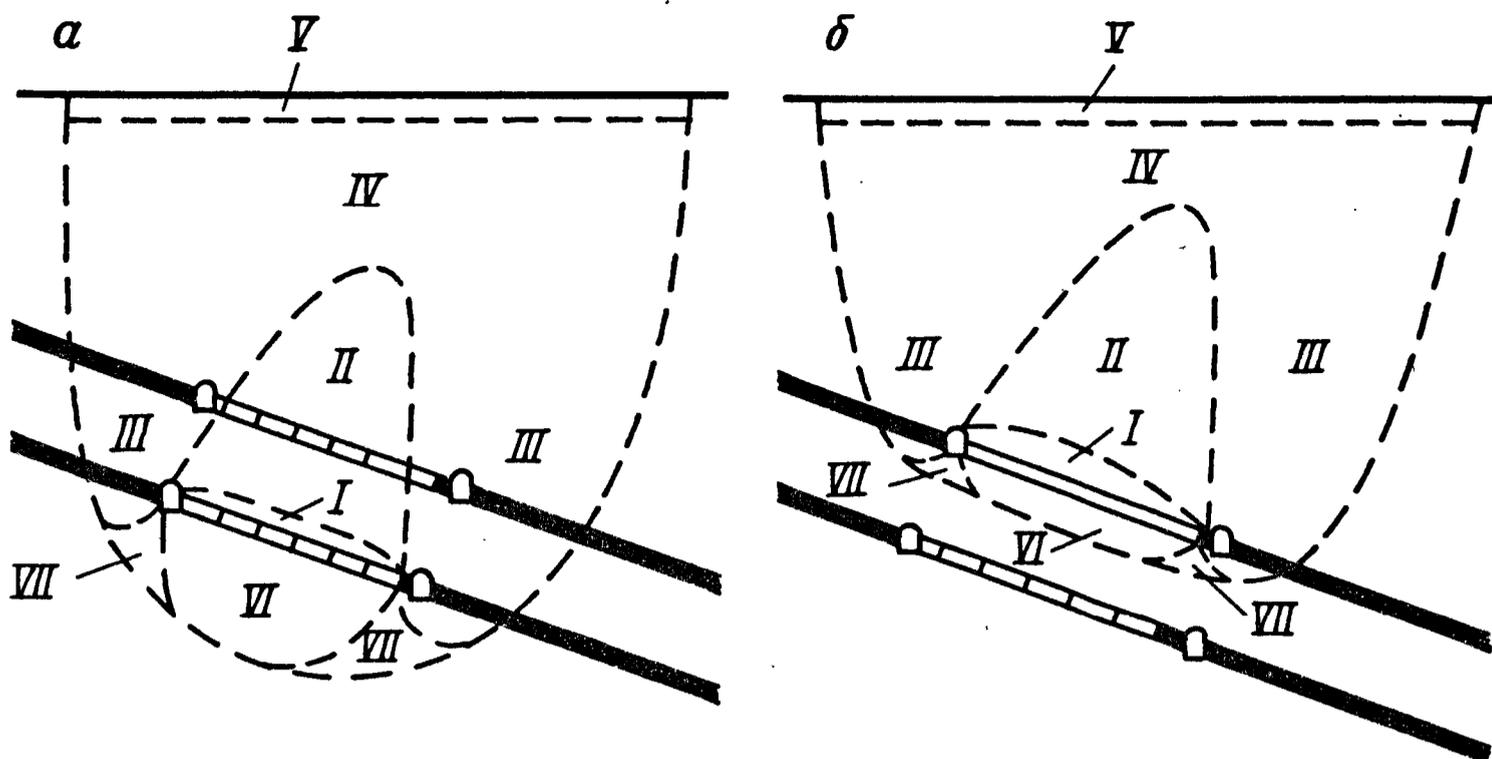


Рис. 1.2. Схемы сдвижения толщи горных пород при разработке свиты пологих пластов:

*а* — надработанной; *б* — подработанной

следований, проведенных на плоских моделях из эквивалентных материалов, была получена схема сдвижения для условий разработки двух пологих пластов (рис. 1.2). Эта схема включает семь зон: *I* — беспорядочного обрушения; *II* — прогиба слоев с разрывом их сплошности; *III* — опорного давления; *IV* — прогиба слоев без разрыва их сплошности; *V* — прилежащую к земной поверхности; *VI* — упругого восстановления; *VII* — нейтральную. Высота зоны *II* при первичной разработке толщи пород равна 0,8–1, а при повторной — 1,2–1,4 длины лавы. Сдвижение пород в зоне *III* со стороны восстания от очистной выработки проявляется раньше, и, как правило, оно больше по абсолютной величине, чем со стороны падения. Зона упругого восстановления имеет форму перевернутого свода высотой 0,8–1 длины лавы.

Рассматриваемая схема практически не отличается от схемы сдвижения при разработке одиночного пласта. Сами авторы считают схему предварительной, требующей дальнейшего уточнения. Отсутствие различий в схемах сдвижения при разработке одиночного и свиты пологих пластов можно объяснить прежде всего тем, что рассматривалось сдвижение при разработке надработанного и подработанного пластов при незначительных размерах очистных выработок на смежных пластах свиты, т.е. в условиях неполной подработки земной поверхности.

Более поздние исследования, проведенные ВНИМИ и Донецким политехническим институтом (ДПИ), показали, что при разработке свиты пластов происходит сложение деформаций

земной коры поверхности, на результат которого влияет расположение горных работ по пластам. Наиболее благоприятным для земной поверхности является такое расположение горных работ, когда очистные пространства по отдельным пластам смещены относительно друг друга на половину длины лавы, а границы горных работ по пластам свиты продят в направлении углов сдвижения. При повторной подработке толщи горных пород наблюдается уменьшение углов сдвижения и сокращение продолжительности процесса сдвижения. Исследования по изучению изменения углов полного обрушения в толще пород при ее повторной подработке отсутствуют, за исключением работы [34], в которой отмечено, что параметры процесса сдвижений, в том числе и углы полных сдвижений, увеличиваются в нарушенной (надработанной или подработанной) толще.

Общие закономерности развития процесса сдвижения толщи горного массива при разработке свиты пологих пластов изучались на объемных моделях их эквивалентных материалов в Донецком политехническом институте. Они позволили уточнить общую схему сдвижения при разработке двух пластов. Установлено, что при повторной подработке толщи горных пород интенсивное увеличение области, затронутой сдвижением, происходит лишь до ранее отработанного пласта. Далее, по мере приближения к земной поверхности, эта область уменьшается. Такой характер распространения сдвижений в массиве подтверждает криволинейное и сводообразное развитие процесса сдвижения. Рост суммарной мощности вынимаемых пластов при повторной подработке увеличивает размер свода разгрузки над очистной выработкой.

Таким образом, большинством лабораторных исследований установлен сводообразный характер сдвижения толщи горных пород над выработанным пространством лавы.

Знание особенностей сдвижения толщи пород при разработке свиты пластов имеет большое практическое значение для выбора рациональных способов охраны и расположения подготовительных выработок.

Для обеспечения минимального проявления горного давления в подготовительных выработках их желательно располагать в разгруженных зонах, образованных при очистной выемке. Для условий разработки одиночного пласта эти зоны определяются схемой сдвижения пород (см. рис. 1.1). Зона разгрузки над выработанным пространством ограничена углами полных сдвижений пород  $\psi_1$ ,  $\psi_2$  и  $\psi_3$ , значения которых при пологом залегании составляют  $65-70^\circ$  и не зависят от угла падения пластов.

Сдвигение толщи горных пород и земной поверхности при разработке первого пласта свиты не отличается от сдвижения при разработке одиночного пласта и характеризуется такой же схемой. Разработка смежных пластов свиты, независимо от порядка их отработки, сопровождается подработкой толщи пород, ранее подработанной очистными работами по первому пласту. Следовательно, характерной особенностью разработки свиты пластов является повторная подработка толщи пород. Если учесть, что подготовительные выработки при разработке свиты пластов надо располагать не только в зонах разгрузки пласта, по которому пройдена выработка, но и в зоне разгрузки смежных пластов свиты, то становится очевидной необходимостью в дальнейшем изучении закономерностей сдвижения толщи пород при разработке свиты пластов, в первую очередь ее отличительной особенности — характера распространения полных сдвижений в толще пород при ее повторной подработке.

## **1.2. Распределение горного давления в толще пород**

В результате очистной выемки в массиве пород образуются зоны с большими и меньшими по сравнению с нетронутым массивом напряжениями, называемые зонами повышенного и пониженного горного давления. Над выработанным пространством лавы в пределах свода сдвижений наблюдается разгрузка породных слоев от первоначального горного давления. За пределами свода полных сдвижений в породах, примыкающих к нему, горное давление выше первоначального. Это повышенное, так называемое опорное горное давление создается в результате зависания над выработанным пространством пород, которые передают свой вес на массив угля в виде дополнительного давления. Характер распределения этого давления зависит от физико-механических свойств покрывающей толщи, мощности и чередования слоев пород, мощности пласта, глубины его залегания, угла падения и размеров очистной выработки.

Величина опорного давления возрастает с увеличением площади очистной выемки до тех пор, пока не наступят условия полной подработки земной поверхности. Дальнейшее увеличение размеров выработанного пространства не сопровождается ростом опорного давления у границы очистных работ, так как объем пород, зависших над выработанным пространством и передающих свой вес на опоры, остается постоянным [6, 7]. Исследованиями на моделях из эквивалентных материалов [7] установлено, что критическая длина лавы, при кото-

рой проявление опорного давления максимально, равна глубине разработки. Аналогичную картину перераспределения горного давления с увеличением размера выработанного пространства наблюдали в натуральных условиях Э. Тэнсэлен и П. Сину, исследовавшие в одной из шахт Лотарингского бассейна распределение горного давления в надрабатываемом штреке при различной ширине надрабатывающего забоя. По мере увеличения ширины надрабатывающего забоя опорное давление у его границ возрастало до максимального значения при ширине выработанного пространства, равной глубине разработки.

Ширина зоны опорного давления определялась многочисленными аналитическими, лабораторными и натурными исследованиями. В большинстве случаев экспериментальные значения ее приводятся без учета основных влияющих факторов. Поэтому установленная ширина зоны колеблется в широких пределах — от 15 до 250 м и более. Наиболее полные исследования по данному вопросу приведены в работах [38, 39, 47]. В работе [38] установлена зависимость ширины зоны опорного давления от глубины разработки и мощности вынимаемых пластов для условий Донецкого, Кизеловского, Кузнецкого и других бассейнов страны, а дальнейшими исследованиями [39, 47] — от глубины, мощности пласта и прочности пород непосредственной и основной кровли.

При рассмотрении распределения горного давления у границ очистной выработки в плоскости пологого пласта по месту расположения выделены передняя, задняя и боковые (по падению и восстанию) зоны опорного давления, а по характеру изменения опорного давления — зона динамических проявлений опорного давления, зона затухания таких проявлений и зона статического или псевдостатического состояния опорного давления [10]. Опорное давление в зонах динамических проявлений меняет свою интенсивность и характер распределения. Максимальная интенсивность составляет  $(1,5-5) \gamma H$ . Ширина передней зоны опорного давления изменяется в пределах 20–250 м, а расстояние от забоя до максимума опорного давления не превышает 15 м. Автор делает вывод, что проявление динамического опорного давления имеет волнообразный характер.

Периодичность проявления подтверждается исследованиями [5], в результате которых установлено, что смещение пород контура подготовительных выработок под влиянием очистных работ описывается уравнением синусоиды

$$u = a + b \sin(cx + d),$$

где  $a$  — средняя величина смещений;  $b$  — амплитуда;  $c$  — коэффициент, равный  $2\pi/T$  ( $T$  — период синусоиды);  $d$  — параметр, показывающий сдвиг по фазе.

Доля амплитуды синусоиды увеличивается при изменении состава пород кровли от глинистого сланца до песчаника. На основании проведенных исследований автор делает вывод, что опорное давление впереди очистного забоя является следствием двух основных причин;

формирования, зависания и обрушения консолей пород, создающих динамическую составляющую опорного давления; зависания остаточных консолей пород, влияющих в течение всего периода действия опорного давления впереди лавы.

Позади очистного забоя породы, зависшие в выработанном пространстве вдоль выработки, обрушаются. Обрушение их заканчивается в зоне динамического опорного действия. Последующие деформации массива обусловлены влиянием остаточных консолей; зона их влияния называется зоной остаточного опорного давления.

Согласно схеме (см. рис. 1.1), границы зоны опорного давления со стороны очистной выработки и массива угля имеют криволинейный характер. Ширина зоны опорного давления увеличивается с удалением от пласта в породы кровли, при этом концентрация опорного давления уменьшается. В породах почвы как концентрация опорного давления, так и ширина зоны уменьшаются.

Приведенная в работе [10] схема распределения горного давления при разработке свиты пологих пластов мало чем отличается от схемы распределения горного давления при разработке одиночного пласта, так как разработка одного из пластов свиты рассматривается без учета надработки и подработки.

### **1.3. Влияние порядка отработки пластов в свите на подготовительные выработки**

Пласты в свите разрабатывают в нисходящем, восходящем или смешанном порядках. Нисходящий порядок, как правило, не вызывает затруднений при выемке ранее надработанного пласта, поэтому он получил преимущественное распространение. В то же время первоочередная выемка нижележащего пласта, особенно при незначительной мощности междупластья, может привести к существенным деформациям верхнего пласта и осложнить его разработку. В связи с этим в Донецком бассейне восходящий порядок отработки свиты пластов имеет ограни-

ченное распространение. Аналогичная картина наблюдается и в других бассейнах страны [6].

Различают последовательную и одновременную разработку пластов в свите. При последовательной разработке подготовка пластов осуществляется, как правило, отдельно с проведением подготовительных выработок по каждому из них. Выработки последующего пласта проводятся в ранее надработанном или подработанном и разгруженном от повышенных напряжений массиве, что весьма благоприятно сказывается на условиях их поддержания.

Совместная разработка свиты пологих пластов часто связана с надработкой и подработкой подготовительных выработок. Влияние надработки и подработки на условия поддержания подготовительных выработок отражено во многих работах. Исследователи отмечают, что поддержание участков выработок, расположенных в зоне влияния надработки или подработки, отличается значительной сложностью.

Степень влияния надработки на подготовительные выработки и породы междупластья зависит не только от удаления рассматриваемого пласта от разрабатываемого, но и от положения забоя по надрабатываемому пласту. Для снижения влияния надработки рекомендуется избегать расположения выработок под кромкой угля надрабатываемого пласта. При движущемся очистном забое следует сократить продолжительность воздействия опорного давления на выработки путем повышения скорости подвигания очистного забоя по надрабатываемому пласту [2, 3, 4].

По данным исследований [5, 25, 30, 42], на шахтах Донецкого, Челябинского, Карагандинского и Кузнецкого бассейнов разгруженная от горного давления зона расположена над выработанным пространством лавы за линией, составляющей с вертикалью, опущенной через кромку массива угля, угол 50—55°.

Как отмечалось выше, в большинстве случаев разработку пластов в свите осуществляют в нисходящем порядке. Однако опыт работы шахт и проведенные исследования [2, 6, 31, 43, 46] показывают, что восходящий порядок разработки пластов во многих случаях возможен и дает положительный эффект.

Условия поддержания подготовительных выработок, расположенных в подработанной толще пород, определяются расстоянием, на которое они отнесены от границы очистных работ подрабатываемого пласта в сторону выработанного пространства [46].

Возможность разработки наработанного или подработанного пласта определяется закономерностями сдвижения толщи пород и распределения горного давления в ней при выемке первого пласта свиты. Проведение подготовительных выработок и последующая разработка остальных пластов свиты должны осуществляться в разгруженной зоне наработанной или подработанной площади.

Вопрос о характере сдвижения толщи пород при ее повторной подработке и проявлении опорного давления у границ очистных работ по наработанному и подработанному пластам требует дальнейшего изучения.

## **2. ШАХТНЫЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЯВЛЕНИЙ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ**

### **2.1. Измерения горного давления в выработанном пространстве**

Из существующих методов измерения горного давления в выработанном пространстве при проведении настоящих исследований был выбран электрический струнный. Его выбор обусловлен тем, что он является наиболее надежным и стабильным, так как результаты измерений не зависят от изменений омического сопротивления соединительного кабеля, его индуктивности и емкости, а приборы малочувствительны к действию влаги на электрическую проводку.

В качестве измерительного прибора для определения давления на почву пласта был принят струнный динамометр ДСР-17 конструкции ВНИМИ. При этом в околострековые бутовые полосы закладывали не отдельные динамометры, а специальные динамометрические площадки. Каждая из них представляла собой круглую металлическую коробку диаметром 380 мм, изготовленную из листовой стали толщиной 5 мм, с помещенными в ней тремя струнными динамометрами. Допустимое давление на динамометрическую площадку составляло 15 МПа. Увеличение площади динамометрической площадки до 0,11 м<sup>2</sup> позволило исключить погрешности в измерениях давления за счет несоответствия поперечного сечения динамометра размерам кусков закладочного материала. Площадь поперечного сечения кусков породы, использовавшейся в качестве закладочного материала, была в 20—30 раз меньше площади динамометрической площадки.

При высоте площадок 140 мм их устанавливали в углубления в почве пласта. Дно углублений тщательно выравнивали, площадку укладывали так, чтобы ее крышка располагалась на уровне почвы пласта. Такой способ установки позволил исключить возможные погрешности в измерениях за счет нерациональных размеров динамометрических площадок по высоте.

Возможная неравномерность деформаций верхней крышки площадки в процессе восприятия ею давления от веса вышележащих пород не могла повлиять на результаты замеров, так как конструкция площадки предусматривала передачу давления от крышки на струнные динамометры через стальные шарики.

При изготовлении датчиков были выполнены требования водонепроницаемости конструкции и постоянства тарировочной кривой; мембрана датчика рассчитана и изготовлена на величину ожидаемого давления. Тарировку датчиков осуществляли на гидравлическом прессе с составлением индивидуальных характеристик в координатах: давление на датчик — частота колебаний струны. Замеры давления в шахте производили с помощью генератора-частотомера. Общее давление на динамометрическую площадку определялось как сумма давлений на входящие в нее отдельные датчики.

Исследования проводились на шахтах "Трудовская" ПО "Донецкуголь" и "Шахтерская" ПО "Шахтерскантарцит".

На шахте "Трудовская" пласт  $k_8$  отрабатывался по сплошной системе лава—этаж с проведением конвейерного и вентиляционного штреков вслед за лавой. Способ управления кровлей — плавное опускание. Глубина разработки 700 м.

Мощность пласта 1—1,2 м, угол падения  $14^\circ$ . В непосредственной кровле залегал известняк мощностью 3 м. Вышележащая толща пород представлена перемежающимися слоями аргиллитов и алевролитов с включением шести угольных пластов и большого числа пропластков.

Конвейерный штрек проводился с подрывкой почвы пласта площадью сечения в свету  $8,5 \text{ м}^2$ . С нижней стороны он охранялся бутовой полосой шириной 14—16 м, с верхней — двумя бутовыми полосами шириной по 5 м, располагавшимися на расстоянии 4 м друг от друга.

Схема расположения наблюдательной станции в лаве и установки измерительной аппаратуры в околоштрековых бутовых полосах приведена на рис. 2.1. Три динамометрические площадки были расположены в нижней бутовой полосе, две — в верхней. Щит замерной станции находился в конвейерном штреке.

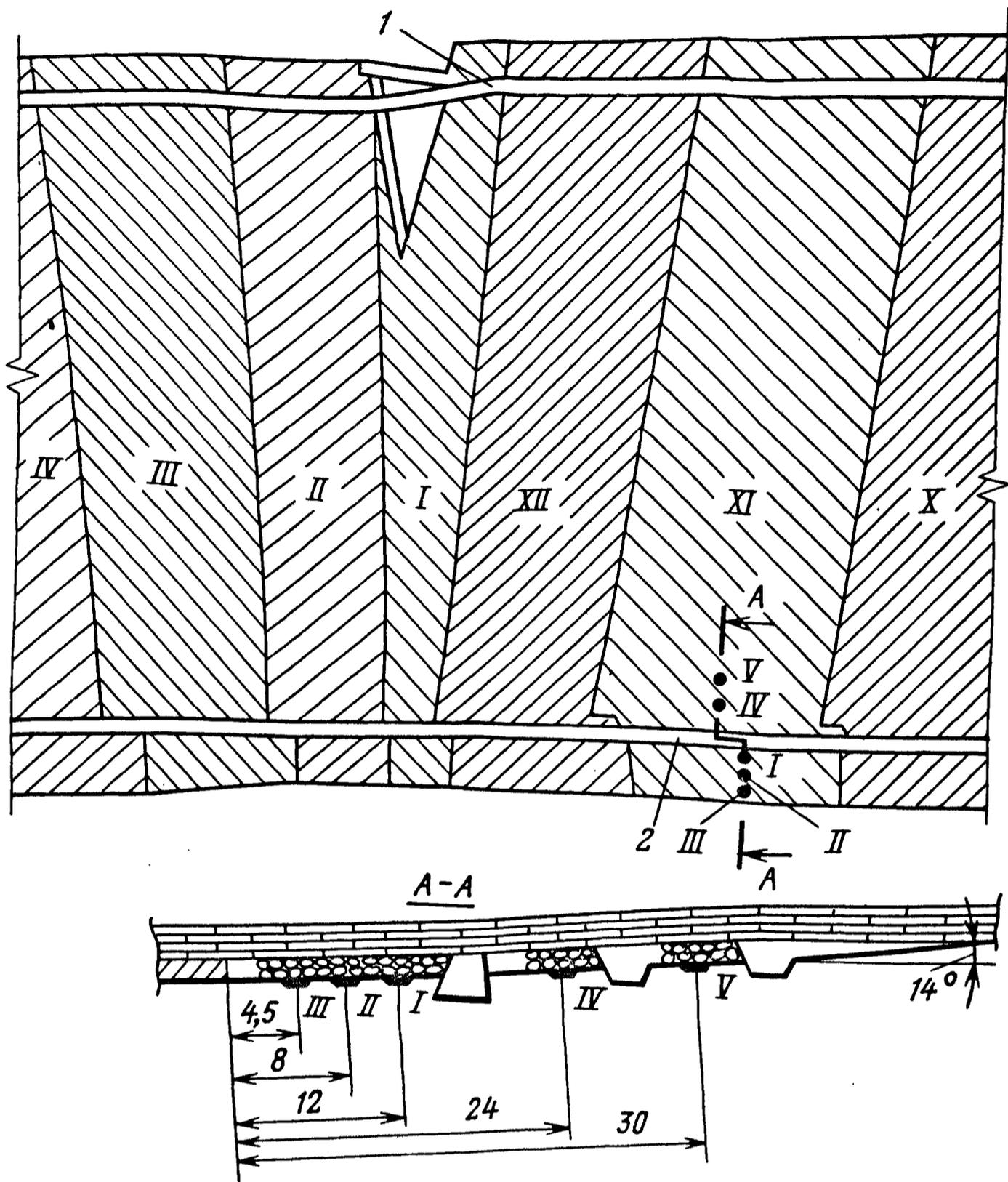


Рис. 2.1. Схемы расположения динамометрических площадок (I–V) в восточной лаве по пласту  $k_8$  на шахте "Трудовская":  
1, 2 – соответственно вентиляционный и конвейерный штреки

К моменту проведения исследований лава длиной 210–220 м отошла от разрезной печи на 1060 м.

Первое время после установки площадок показания динамометров снимали через каждые 3 дня. Рост давления на них во времени протекал очень медленно. В связи с этим интервал между замерами был увеличен до 15–30 сут. Через 18 сут связь с динамометрическими площадками IV и V (см. рис. 2.1) была потеряна из-за повреждения измерительного кабеля. Площадка I оказалась неработоспособной. Площадки II и III в течение двух лет хорошо фиксировали изменения давления на бутовые полосы.

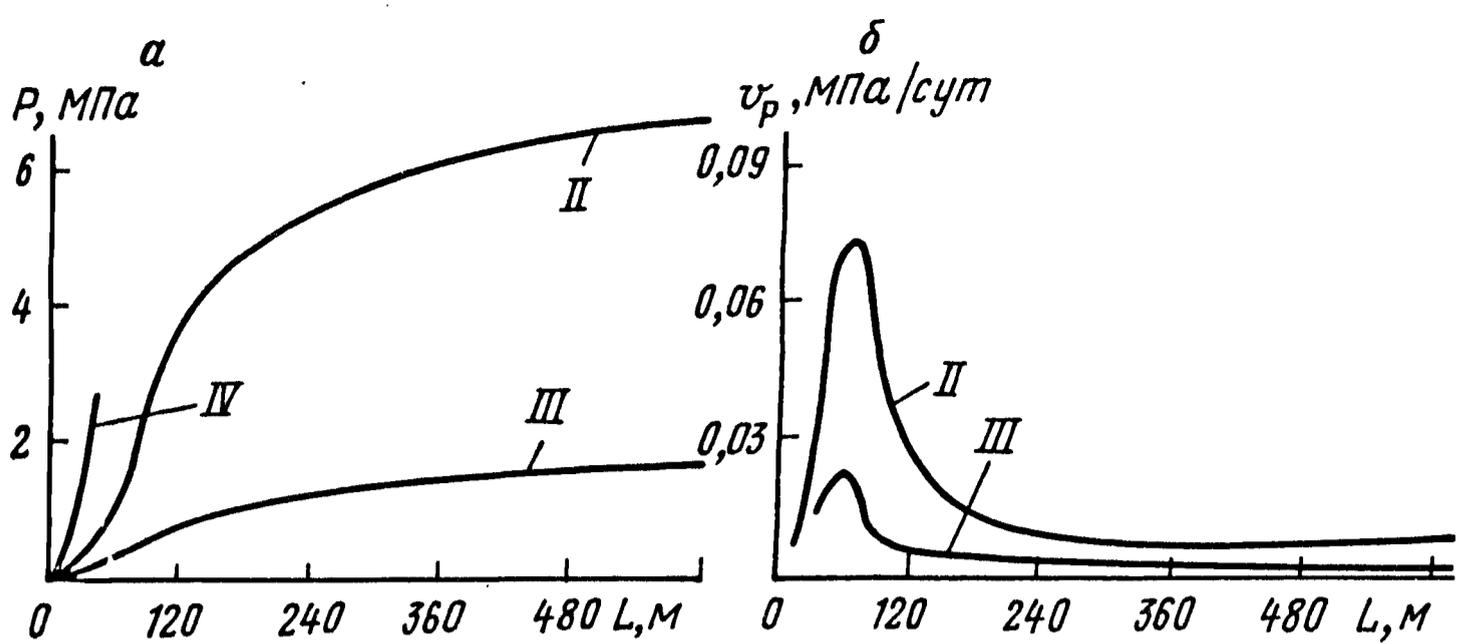


Рис. 2.2. Графики зависимости давления  $P$  (а) и скорости изменения давления  $v_p$  (б) на бутовые полосы от расстояния до лавы  $L$  (по данным динамометрических площадок II, III и IV)

Графики изменения давления на каждую динамометрическую площадку и скорости его в зависимости от расстояния до лавы приведены на рис. 2.2. Из них видно, что с изменением расстояния от забоя до наблюдательной станции наблюдался рост давления на динамометрические площадки, особенно интенсивный на расстоянии до 90–100 м. Давление на бутовые полосы возросло также по мере удаления от кромки угольного массива в выработанное пространство. Так, на динамометрическую площадку II, установленную на расстоянии 8,25 м от кромки массива, после отхода лавы на расстояние 600 м давление составило 6,85 МПа, а на площадку III, отнесенную от кромки на 4,5 м, — только 1,6 МПа.

Скорость изменения давления на бутовую полосу интенсивно возрастала на расстоянии до 65 м за лавой, затем она резко снизилась на расстоянии 65–200 м, после чего оставалась практически постоянной (см. рис. 2.2, б). Максимальное изменение скорости давления на бутовую полосу достигает 0,07 МПа/сут (по площадке II) на расстоянии 65 м от лавы. Зона влияния очистных работ в выработанном пространстве позади лавы распространялась на 100–120 м по простиранию.

Исследованиями на плоских и объемных моделях из эквивалентных материалов установлено, что после выемки угля в лаве над выработанным пространством образуется зона полных сдвижений пород с разрывом их сплошности, которая имеет форму свода, вытянутого в сторону большего размера очистной выработки. Давление на почву пласта определяется весом пород, заключенных внутри свода. Параметры свода в основном зависят от площади выемки и структурного строения толщи пород

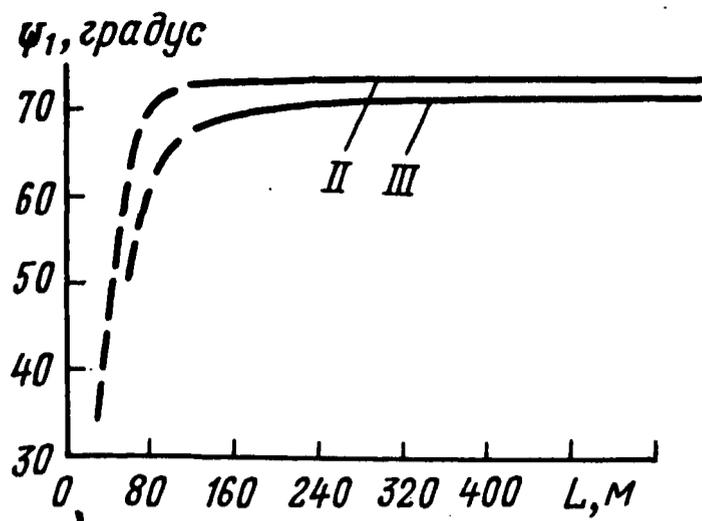


Рис. 2.3. График зависимости угла полных сдвижений у границы очистных работ  $\psi_1$  от расстояния до лавы  $L$  (по данным динамометрических площадок II и III)

кровли и определяются углами полных сдвижений по падению  $\psi_1$ , восстанию  $\psi_2$  и простиранию  $\psi_3$ . Для проверки параметров зоны II схемы сдвижения толщи пород (см. рис. 1.1) определено значение угла полного обрушения  $\psi_1$  по данным шахтных замеров давления на бутовые полосы. Полученная величина сопоставлена с результатами лабораторных исследований на плоских и объемных моделях из эквивалентных материалов.

Высота столба обрушенных пород над динамометрической площадкой  $h = P/\gamma$ , где  $P$  — давление на динамометрическую площадку, МПа;  $\gamma$  — объемный вес обрушенных пород, МН ( $\gamma = 0,025$  МН). Зная величину  $h$  и расстояние от кромки массива угля по падению до площадок II и III, можно найти угол  $\psi_1$  (рис. 2.3). Из графика видно, что процесс формирования зоны полных сдвижений в толще пород кровли с разрывом сплошности заканчивается в основном с отходом очистного забоя от места установки площадок на 120 м. Угол  $\psi_1$  в зоне установившегося горного давления достигает  $70-74^\circ$ .

Сопоставление определенных величин угла  $\psi_1$  с его значениями, полученными на моделях из эквивалентных материалов другими исследователями (В.И. Барановский —  $65-70^\circ$ , Н.М. Зоря и др. —  $69^\circ$ , Ж.М. Канлыбаева —  $65-70^\circ$ ), свидетельствует о хорошей их сходимости и подтверждает вывод о том, что в выработанном пространстве лавы вне зоны влияния очистных работ давление на околоштрековые бутовые полосы и почву пласта определяется весом пород, отслоившихся от массива под углом полных сдвижений  $\psi_1$ . Поскольку при пологом залегании пластов сдвижение пород по падению и восстанию, по существу, протекает почти одинаково [7], в приближенных расчетах с достаточной точностью можно принимать  $\psi_1 = \psi_2 \approx 70^\circ$ .

Изучению закономерностей сдвижения толщи пород кровли над выработанным пространством по длине лавы были посвящены исследования, проведенные на шахте "Шахтерская" при разработке пласта  $h'_2$ .

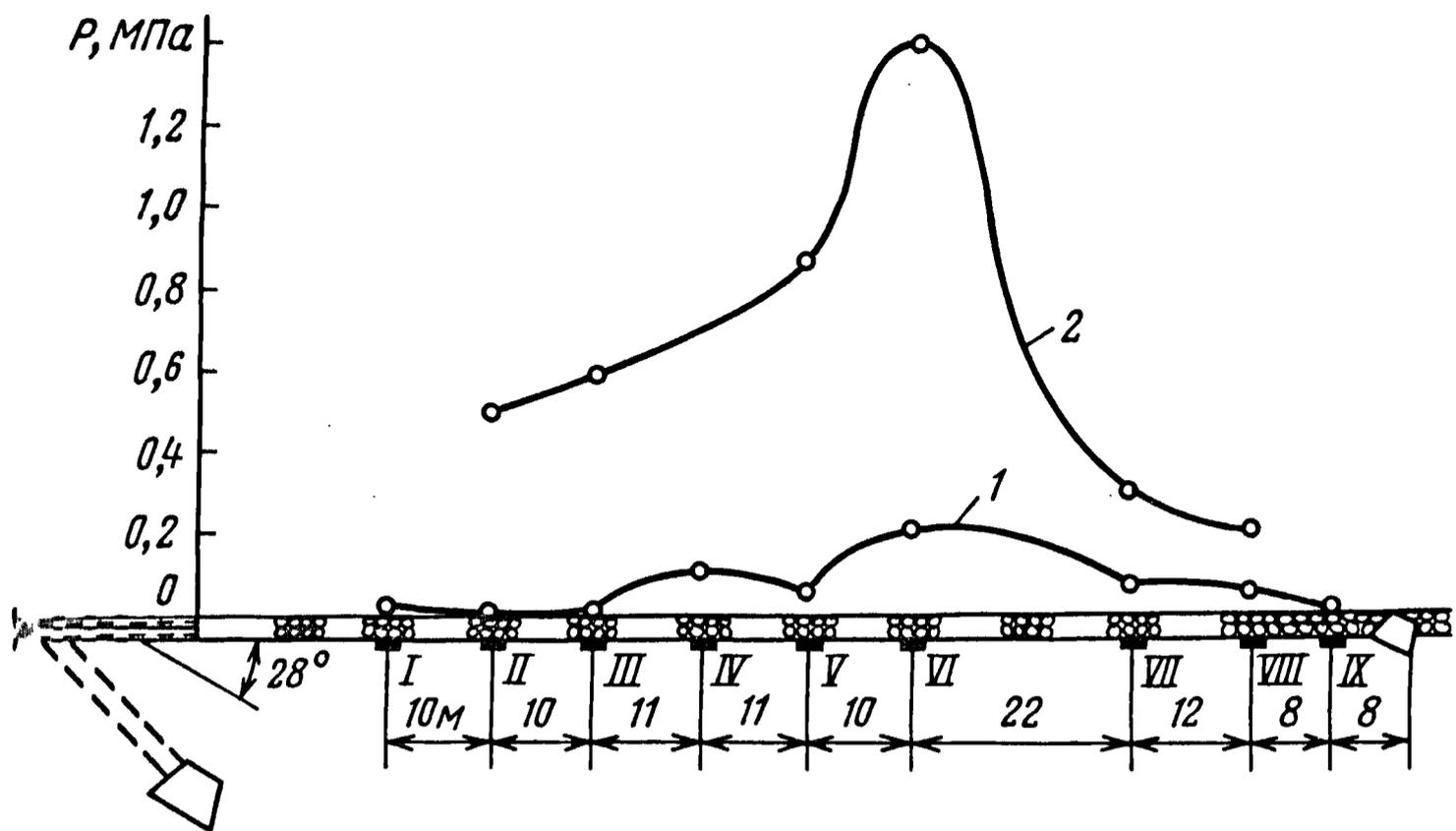


Рис. 2.4. График зависимости давления на бутовые полосы  $P$  по длине лавы по пласту  $h'_2$  на шахте "Шахтерская":

1, 2 — при отходе лавы от места установки динамометрических площадок I—IX соответственно на 6 и 32 м

К началу исследований лава, которая была самой нижней в шахтном поле по падению, отошла от разрезной печи по простиранию более чем на 1000 м. Мощность пласта  $h'_2$  1—1,1 м, угол падения 26—28°. В непосредственной кровле его залегал темно-серый среднеустойчивый аргиллит мощностью 13 м. Почва пласта была представлена слоями аргиллита мощностью 3,5 м, ниже которого залегал мелкозернистый песчаник мощностью 2,5 м.

Лава крепилась индивидуальной крепью, управление кровлей осуществлялось частичной закладкой. Способ установки динамометрических площадок в бутовых полосах лавы был тот же, что и при проведении исследований на шахте "Трудовская". Соединительные провода от динамометров располагали в проложенном по лаве трубопроводе. Щит замерной станции находился в полевом откаточном штреке. Показания динамометров снимали в течение трех месяцев. Провести более длительные наблюдения не удалось из-за обрыва соединительных проводов в выработанном пространстве.

Результаты измерения давления на бутовые полосы приведены на графике (рис. 2.4). Хотя обрыв проводов не позволил замерить горное давление за пределами зоны влияния очистных работ, полученные данные достаточно хорошо показывают характер распределения давления на почву пласта в выработанном пространстве. Максимальное давление (1,4 МПа) зарегистриро-

вано площадкой VI, располагавшейся на расстоянии 50 м от верхней границы очистных работ, т.е. почти на середине лавы. Рост давления на почву пласта по мере увеличения расстояния от верхней и нижней границ очистных работ позволяет утверждать, что на разрезе вкрест простирания сдвигание толщи пород над выработанным пространством лавы имеет сводообразный характер. Формирование свода полных сдвижений пород заканчивается на расстоянии, примерно равном половине длины лавы, от очистного забоя в сторону выработанного пространства. Вершина его при пологом залегании пластов располагается посередине лавы.

## **2.2. Особенности сдвижения толщи пород при разработке свиты пластов**

Необходимость изучения закономерностей сдвижения толщи пород при разработке свиты пластов, в первую очередь ее отличительной особенности — характера распространения полных сдвижений в толще пород при ее повторной подработке (надработке), вытекает из практического значения этих вопросов при выборе параметров разработки.

Пласты свиты, кроме первого, отрабатываются после их предварительной надработки или подработки. При разработке как ранее надработанного, так и ранее подработанного пласта происходит повторная подработка вышележащей толщи горных пород. Вторичная подработка, по сравнению с первичной, приводит к увеличению смещений и деформаций в толще пород и к выполаживанию (уменьшению) граничных углов сдвижений. Так как при повторной подработке толщи происходит сдвижение пород, предварительно разрушенных первичной подработкой, значения углов полного обрушения и толщи ранее подработанных пород должны изменяться в сторону их увеличения.

Для изучения этого вопроса были отработаны результаты исследований на пяти плоских моделях из эквивалентных материалов, выполненные в лаборатории сдвижения и давления горных пород Донецкого политехнического института Н.М.Зорей и Н.И. Крневым. Модели были изготовлены в масштабе 1:200. Во всех моделях воспроизводились три пласта мощностью по 1 м с углом падения  $21^\circ$ . Вмещающая их толща моделировала однородные породы — аргиллиты. Исследуемые модели отличались порядком отработки пластов.

Результаты исследований характера сдвижения толщи пород в моделях после выемки угля каждой лавы были представлены

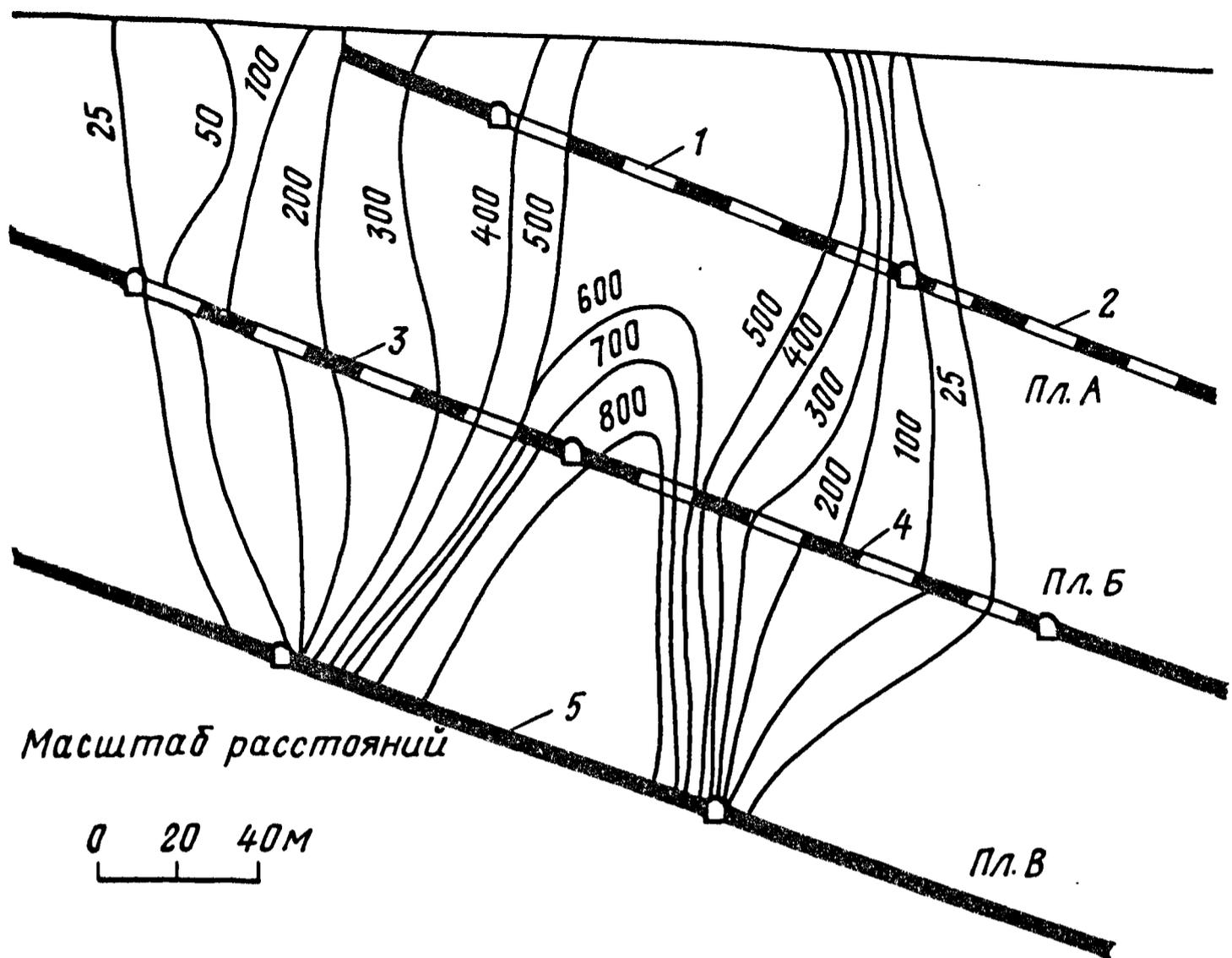


Рис. 2.5. Характер сдвижения толщи пород в модели после выемки пятой лавы:  
 1 5 — номера лав

в виде изолиний вертикальных смещений. Сущность обработки полученных на моделях данных заключалась в следующем. С учетом того, что изменение сдвижения слоистой толщи пород в моделях при ее вторичной подработке можно характеризовать углами наклона изолиний, которые образуют касательные к изолиниям вертикальных смещений с линией падения пласта, по всем моделям после выемки каждой лавы был произведен замер углов наклона равных изолиний со стороны восстания и падения как при первичной, так и при вторичной подработке толщи пород.

Под первичной подработкой понимают сдвижения толщи пород над очистной выработкой после выемки первой лавы на одном из пластов свиты. Выемка следующей лавы на нижележащем пласте сопровождается первичной подработкой толщи междупластья и вторичной подработкой толщи, ранее подработанной лавой по вышележащему пласту. Например, в одной из отработанных моделей (рис. 2.5) после выемки лавы 1 по пласту А над ней образуется толща первично подработанных пород. Выемка лав 3 и 4 по пласту Б вызовет первичную подработку

Таблица 2.1

№ модели	Разность угла наклона (градус) изолиний равных смещений, мм					
	200	300	400	500	600	700
<i>В подработанной толще</i>						
14	33/27	30/30	31/34	32/38	32/34	34/37
15	-/49	24/49	18/49	16/46	12/-	10/-
16	18/-	17/-	16/-	12/-	10/-	10/-
18	34/-	42/-	42/-	41/-	-/-	-/-
19	36/22	37/23	24/33	23/31	-/35	-/-
<i>В надработанной толще</i>						
14	21/12	19/12	19/13	20/15	22/13	22/15
15	-5/-	-3/-	11/-	12/-	-2/-	4/-
16	14/17	12/15	13/15	10/15	9/13	-8/12
18	9/2	5/3	-1/4	-8/5	-13/6	-/8
19	11/5	4/4	-4/1	-5/0	-6/0	-/1

Примечание. В числителе — со стороны восстания, в знаменателе — со стороны падения.

толщи пород между пластами *A* и *B* и повторную подработку пород над лавой *1* по пласту *A*.

Измерения показали, что во всех случаях в толще пород при ее вторичной подработке углы наклона равных изолиний со стороны падения и восстания больше соответственно на  $22-40^\circ$  (в среднем  $35^\circ$ ) и  $10-42^\circ$  (в среднем  $24^\circ$ ), чем при первичной (табл. 2.1).

Углы наклона изолиний в ранее надработанной толще пород практически не отличаются от углов наклона изолиний в толще пород при ее первичной подработке, т.е. без надработки (см. рис. 2.5). Об этом свидетельствует незначительная разность между углами наклона изолиний в предварительно надработанной и ненадработанной толщах (см. табл. 2.1).

Границы полных сдвижений (обрушений) в моделях проходят в месте скученности изолиний вертикальных смещений 300–400 мм. Так как изолинии смещений 300–400 мм распространяются под различными углами наклона в толще пород при первичной и вторичной подработках, следовательно, и линии полных сдвижений проходят под различными углами наклона к плоскости пласта в толще при первичной и вторичной подработках. В толще подработанных пород при повторной ее подработке полные сдвижения распространяются под углами бóльшими, чем

при первичной подработке. Границей преломления угла наклона рудных изолиний в сторону ее увеличения является плоскость, разделяющая толщи пород с первичной и вторичной подработками, т.е. плоскость ранее отработанного пласта.

### **3. ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ГОРНОЕ ДАВЛЕНИЕ У ГРАНИЦ ОЧИСТНЫХ РАБОТ**

#### **3.1. Исходные положения**

Опыт работы шахт показывает, что подготовительные выработки, пройденные в ранее подработанных или надработанных пластах, испытывают меньшее влияние опорного давления при приеме угля в лавах по этим пластам, чем при разработке одиночных пластов. Однако аналитическое выражение этого не получило своей практической реализации из-за сложности задачи, решение которой требует учета закономерностей сдвижения толщи горных пород при разработке одиночного, надработанного и подработанного пластов. Определенные трудности представляют также постановка задачи и выбор расчетной схемы, достаточно идеализированной, но сохраняющей особенности природы, с тем чтобы полученное решение можно было использовать на практике.

Ниже изложена попытка формализации приближенного метода количественной оценки проявлений опорного давления у границ очистных работ при разработке свиты пологих пластов.

Принятая расчетная схема базируется на основных положениях сдвижения толщи пород при разработке одиночного пласта (см. рис. 1.1) и особенностях закономерностей сдвижения толщи пород при разработке свиты пластов. Достоверность отдельных положений исходной гипотезы проверена в натуральных условиях. В соответствии с ней при подработке массива пород в окрестности очистной выработки происходит перераспределение горного давления с образованием зон повышенного давления по простиранию, восстанию и падению (зоны опорного давления и пониженного давления над и под очистной выработкой, зоны разгрузки). Каждая из них в слоистой толще имеет форму свода. При прочих равных условиях концентрация напряжений в зонах опорного давления и в зонах разгрузки в выработанном пространстве зависит от полноты подработки земной поверхности. Если свод сдвижения пород над очистной выработкой

достигает земной поверхности (полная подработка), то опорное давление в окрестности очистной выработки стабилизируется и дальнейшее развитие очистных работ не влияет на его величину. В этих условиях для определения опорного давления у границ очистных работ достаточно решить плоскую задачу по двум сечениям, проведенным перпендикулярно к очистному забою в середине выработанного пространства и параллельно ему на расстоянии не менее половины длины лавы (на указанном расстоянии от очистного забоя в вышележащей толще пород заканчивается формирование зоны полных сдвижений пород).

Таким образом, при определении величины горного давления у границ очистных работ используется положение, заключающееся в том, что перераспределение горного давления в толще пород происходит без изменения его суммарной величины. Породы, отделившиеся от общего массива под углами полных сдвижений, передают давление на почву отработанного пласта, а породы, зависшие у границ очистных работ, передают свой вес в виде дополнительного горного давления на неподработанный массив пород по контуру очистной выработки. Опорное давление зависит от величины этого дополнительного горного давления.

Расчетные схемы для определения дополнительного горного давления получены из графического построения схемы сдвижения толщи пород над очистной выработкой в двух взаимоперпендикулярных плоскостях (рис. 3.1). Для их составления и последующего решения необходимо знать углы полных сдвижений пород при их первичной и вторичной подработках, размеры очистной выработки по падению и простиранию, глубину горных работ, расстояние между пластами по нормали и средний объемный вес пород вышележащей толщи.

Методы определения нормальной составляющей дополнительного горного давления у границ очистных работ при разработке одиночного, надработанного и подработанного пластов изложены ниже. В расчетных схемах и формулах приняты следующие условные обозначения;  $m$  — мощность пласта, м;  $\alpha$  — угол падения пласта, градус;  $\gamma$  — средний объемный вес пород кровли, Н/м<sup>3</sup>;  $h_m$  — мощность междупластья, м;  $h$  — мощность толщи пород, зависших над сводом полных сдвижений, м;  $h_1$  — высота свода полных сдвижений пород с разрывом их сплошности, м;  $h_1 = (0,9 \pm 0,1) l$  ( $l$  — длина меньшей стороны четырехугольника, лежащего в основании свода сдвижения, м);  $l_0$  — ширина зоны опорного давления, м;  $\psi_1$ ,  $\psi_2$  и  $\psi_3$  — углы

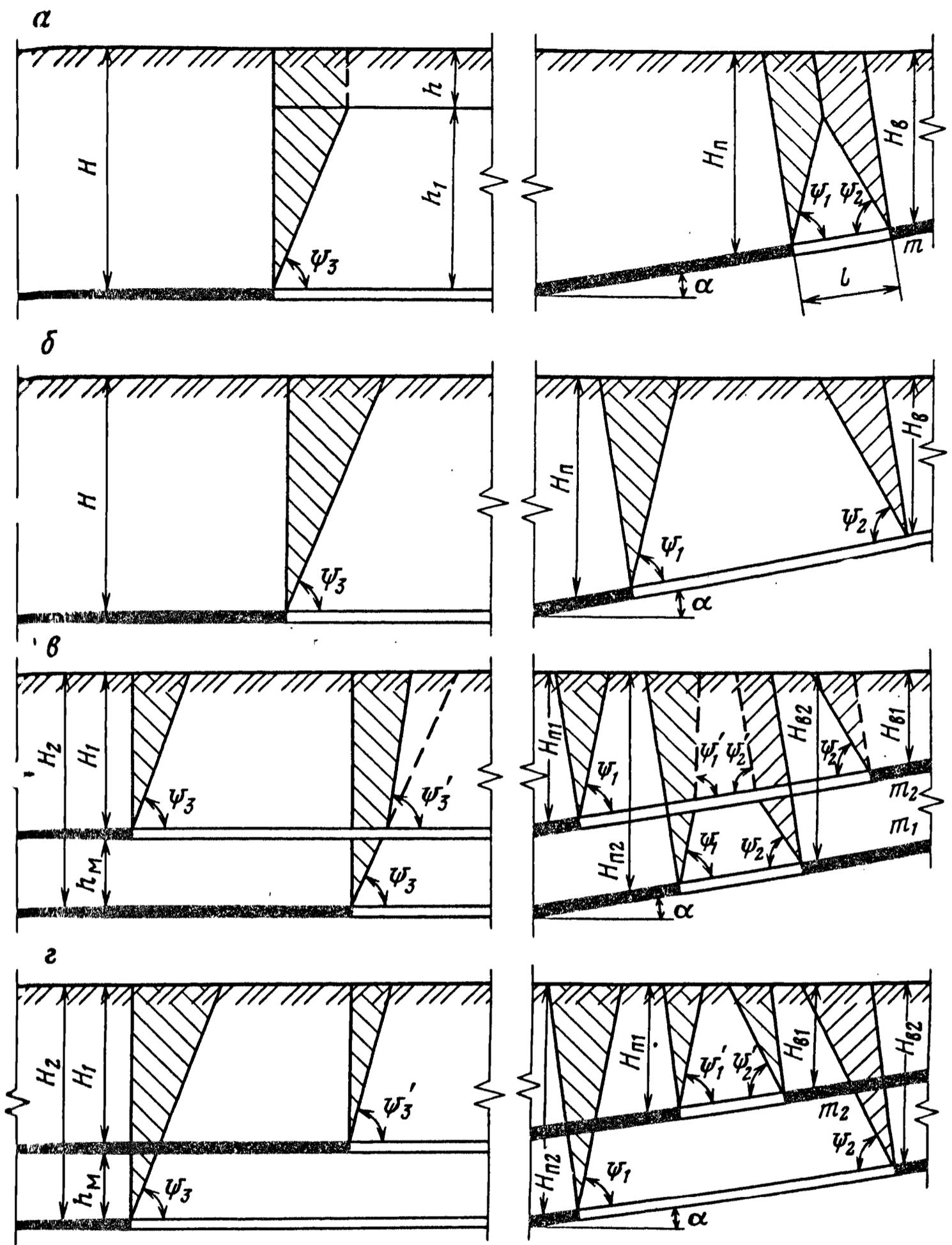


Рис. 3.1. Расчетные схемы для определения дополнительного горного давления у границ очистных работ:

а, б — соответственно при неполной и полной подработке земной поверхности; в и г — при разработке соответственно надработанного и подработанного пластов

полных сдвижений толщи пород у границы очистных работ соответственно по падению, восстанию и простиранию, градус;  $\psi'_1, \psi'_2$  и  $\psi'_3$  — углы полных сдвижений толщи пород при ее повторной подработке у границы очистных работ соответствен-

но по падению, восстанию и простиранию, градус;  $K$  — коэффициент концентрации напряжений в зоне опорного давления;  $H$  — глубина горных работ, м;  $H_{\text{п}}$  и  $H_{\text{в}}$  — глубина границы очистных работ соответственно по падению и восстанию, м;  $H_1$  — глубина залегания верхнего ранее отработанного или подработанного пласта, м;  $H_2$  — глубина залегания надработанного или подрабатываемого пласта, м;  $H_{\text{п1}}$  и  $H_{\text{в1}}$  — глубина залегания верхнего ранее отработанного или подработанного пласта у границы очистных работ соответственно по падению и восстанию, м;  $H_{\text{п2}}$  и  $H_{\text{в2}}$  — глубина залегания надработанного или подрабатываемого пласта у границы очистных работ соответственно по падению и восстанию, м;  $Q_i$  — нормальная составляющая дополнительного горного давления у границы очистных работ, кПа.

### 3.2. Определение дополнительного горного давления при разработке одиночного пласта

При разработке одного из пластов свиты или обособленно залегающего пласта в характере сдвижения толщи пород над очистной выработкой различают два случая — наличие полной и неполной подработок земной поверхности. Для каждого из них дополнительное горное давление на массив угля можно определить посредством графического построения соответствующей схемы сдвижения.

При неполной подработке земной поверхности массив угля у границы очистных работ по простиранию воспринимает дополнительное давление от веса зависших пород в площади, заштрихованной на рис. 3.1, а, которое может быть определено из выражения

$$Q_1 = \gamma (H^2 - h^2) / (2 \operatorname{tg} \psi_3). \quad (3.1)$$

Дополнительное горное давление у границ очистных работ по падению или восстанию можно определить по формулам, аналогичным выражению (3.1). При этом в них необходимо учитывать угол падения пласта и соответственно углы полных сдвижений  $\psi_1$  или  $\psi_2$ .

В случае полной подработки земной поверхности (рис. 3.1, б) дополнительное горное давление у границ очистных работ находится из следующих выражений:

по простиранию

$$Q_2 = \gamma H^2 / (2 \operatorname{tg} \psi_3); \quad (3.2)$$

по падению

$$Q_3 = \gamma H_n^2 \cos \psi_1 / [2 \sin (\psi_1 + \alpha)]; \quad (3.3)$$

по восстанию

$$Q_4 = \gamma H_B^2 \cos \psi_2 / [2 \sin (\psi_2 - \alpha)]. \quad (3.4)$$

Для проверки правомерности предлагаемого метода определения дополнительного горного давления проведено сравнение расчетных данных с известными из литературы результатами экспериментальных исследований. В соответствии с ними давление у границ очистных работ обычно характеризуется величиной коэффициента концентрации напряжений и шириной зоны опорного давления. Используя один из этих параметров ширину зоны опорного давления, определим расчетным путем коэффициент концентрации напряжений.

Ширина зон опорного давления, по данным разных авторов, отличается по величине в 1,5–2 раза. Такое расхождение обусловлено, вероятно, тем, что она определялась для разных горно-геологических условий. Наиболее достоверны результаты, приведенные в работе [47], которые и приняты в качестве исходных.

Как известно, давление на пласт в зоне опорного давления  $P = K\gamma H$ . Максимум его располагается на расстоянии 3–5 м от границы очистных работ в глубь массива угля. С удалением от точки максимума характер изменения давления подчиняется экспоненциальному закону. С учетом малой кривизны экспоненты при приближенных расчетах его можно принять прямолинейным. Тогда опорное давление:

среднее

$$P_c = \gamma H \left( 1 + \frac{H}{2 \operatorname{tg} \psi_j l_0} \right); \quad (3.5)$$

максимальное

$$P_m = \gamma H \left( 1 + \frac{H}{\operatorname{tg} \psi_j l_0} \right). \quad (3.6)$$

В формулах (3.5) и (3.6) выражения в скобках представляют собой коэффициент концентрации напряжений. Его значения у границ очистных работ по простиранию, рассчитанные для условий полной подработки земной поверхности при  $m = 1$  м;  $\gamma = 25$  кН/м<sup>3</sup> и  $\psi_3 = 70^\circ$ , приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Показатели	Глубина горных работ $H$ , м					
	200	400	600	700	800	900
Ширина зоны опорного давления, м	47	73	35	88	90	92
Среднее опорное давление, МПа	8,9	20	34,5	42,8	52,4	62,5
Коэффициент концентрации напряжений	1,77	2	2,3	2,45	2,62	2,78

Расчеты показывают, что с увеличением глубины разработки от 200 до 900 м коэффициент концентрации напряжений у границы очистных работ по простиранию возрастает от 1,8 до 2,8. То же отмечается другими исследователями, в частности в работе [14].

Это дает основание считать, что рассматриваемый метод определения дополнительного горного давления на массив угля у границ очистных работ в достаточной мере учитывает особенности сдвижения толщи горных пород в натуральных условиях и им можно пользоваться при решении практических задач.

### 3.3. Определение дополнительного горного давления при разработке свиты пластов

В связи с тем что закономерность сдвижения толщи пород при разработке одиночного и первого пласта в свите одинаковы, дополнительное горное давление у границ очистных работ по пласту, разрабатываемому первым в свите, может определяться, как и для одиночного пласта, по формулам (3.2), (3.3) и (3.4). Смежные пласты свиты в зависимости от очередности их выемки отрабатываются после их наработки или подработки. Рассмотрим изменение дополнительного горного давления у границ очистных работ при разработке наработанного и подработанного пластов свиты.

*Разработка наработанного пласта.* Как было установлено ранее, в толще пород при ее повторной подработке углы полных сдвижений больше, чем при первичной. В наработанной толще пород междупластья углы полных сдвижений равны углам полных сдвижений при первичной подработке. Границей преломления углов полных сдвижений является плоскость ранее отработанного пласта.

С учетом этого расчетная схема к определению дополнительного горного давления на массив угля у границ очистных работ надработанного пласта при условии полной подработки земной поверхности имеет вид, показанный на рис. 3.1, в.

Дополнительное давление у границ очистных работ при разработке надработанного пласта определяется весом зависших пород междупластья и пород, подработанных первым (верхним) пластом. Нормальная ее составляющая может быть определена по следующим формулам:

по простиранию

$$Q_5 = \frac{\gamma}{2} \left[ \frac{H_2^2}{\operatorname{tg} \psi_3} - \frac{H_1^2 \sin(\psi'_3 - \psi_3)}{\sin \psi_3 \sin \psi'_3} \right]; \quad (3.7)$$

по падению

$$Q_6 = \frac{\gamma}{2} \left[ \frac{H_{п2}^2 \cos \psi_1}{\sin(\psi_1 + \alpha)} - \frac{H_{п1}^2 \sin(\psi'_1 - \psi_1) \cos \alpha}{\sin(\psi_1 + \alpha) \sin(\psi'_1 + \alpha)} \right]; \quad (3.8)$$

по восстанию

$$Q_7 = \frac{\gamma}{2} \left[ \frac{H_{в2}^2 \cos \psi_2}{\sin(\psi_2 - \alpha)} - \frac{H_{в1}^2 \sin(\psi'_2 - \psi_2) \cos \alpha}{\sin(\psi_2 - \alpha) \sin(\psi'_2 - \alpha)} \right]. \quad (3.9)$$

Из формул (3.7), (3.8) и (3.9) видно, что при разработке надработанного пласта дополнительное горное давление в основном зависит от глубины разработки, мощности междупластья и разности углов полных сдвижений толщи пород при ее вторичной и первичной подработках.

График (рис. 3.2) наглядно свидетельствует о существенном уменьшении с увеличением глубины работ дополнительного горного давления у границы очистной выемки по простиранию при разработке надработанного пласта по сравнению с разработкой одиночного или первого пласта в свите. Из него также видно, что при одинаковой глубине разработки с увеличением мощности междупластья снижается положительное влияние надработки как меры борьбы с проявлениями опорного давления при ведении горных работ в смежных пластах. Аналогичное уменьшение дополнительного горного давления наблюдается на надработанном пласте у границы очистных работ по восстанию и падению.

*Разработка подработанного пласта.* Для условий полной подработки земной поверхности расчет дополнительного горного

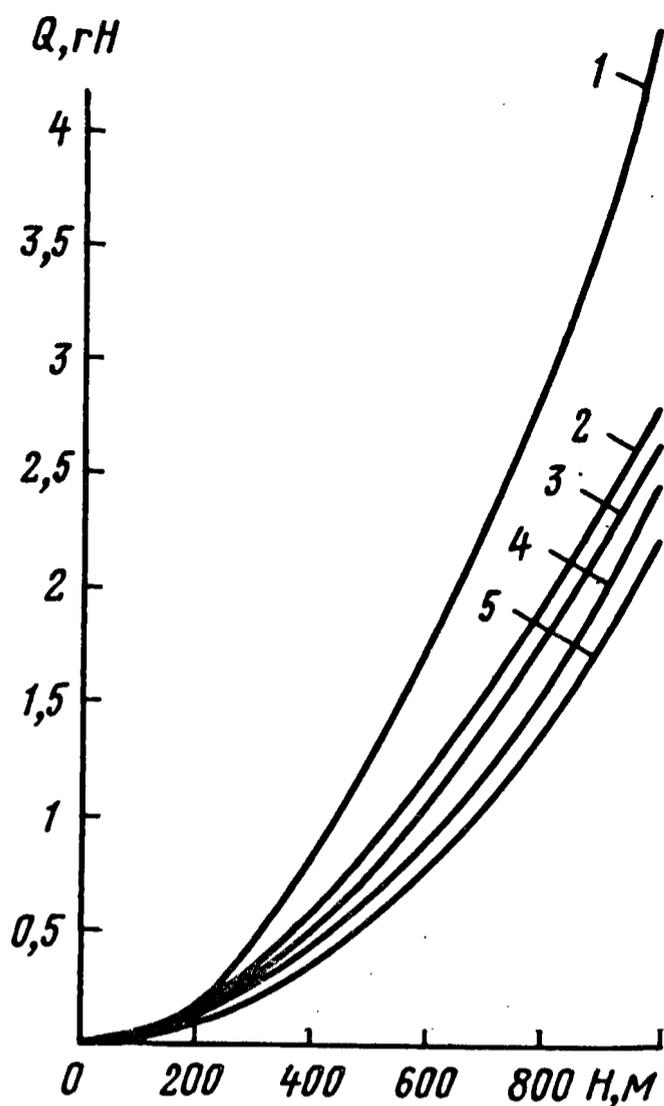


Рис. 3.2. График зависимости дополнительного горного давления  $Q$  у границы очистных работ по простиранию от глубины разработки  $H$  при выемке:

1 — одиночного пласта; 2, 3, 4 — надработанного пласта при мощности пород междупластья соответственно 150, 100 и 50 м; 5 — подработанного пласта

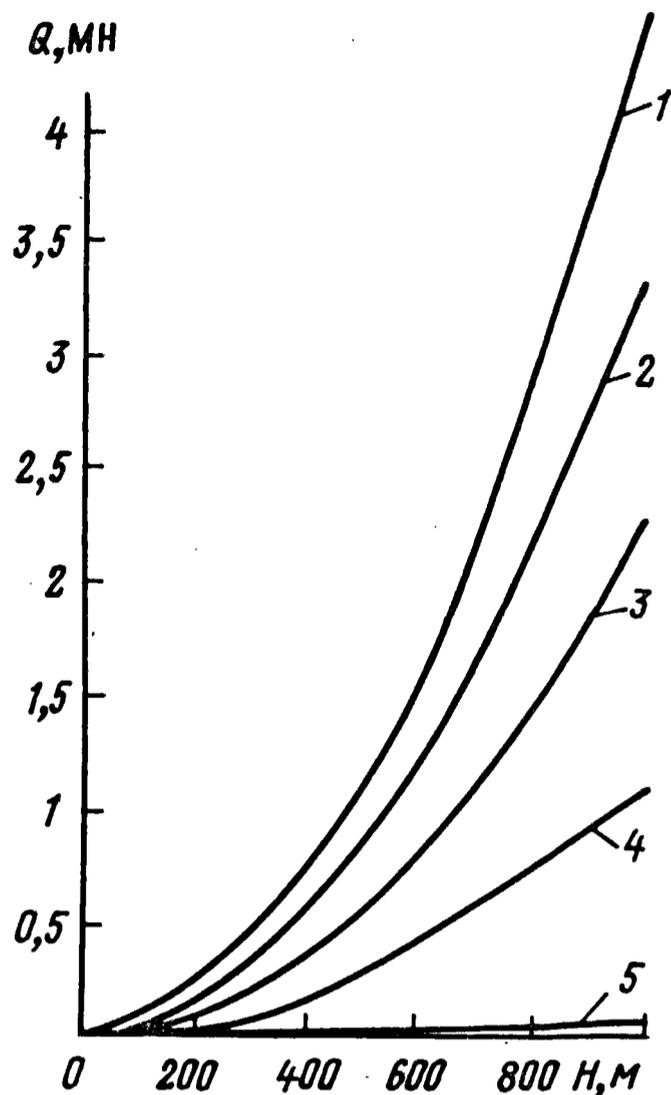


Рис. 3.3. График зависимости дополнительного горного давления  $Q$  у границ очистных работ по простиранию от глубины разработки  $H$  при различных углах полных сдвижений  $\psi'_3$  при выемке подработанного пласта:

1—5 — соответственно при  $\psi'_3$  равном 70, 75, 80, 85 и 90°

давления у границ очистных работ при выемке подработанного пласта (рис. 3.1, г) можно производить по следующим формулам:

по простиранию

$$Q_8 = \gamma H_1^2 / (2 \operatorname{tg} \psi'_3); \quad (3.10)$$

по падению

$$Q_9 = \gamma H_{п1}^2 \cos \psi'_1 / [2 \sin (\psi'_1 + \alpha)]; \quad (3.11)$$

по восстанию

$$Q_{10} = \gamma H_{в1}^2 \cos \psi'_2 / [2 \sin (\psi'_2 - \alpha)]. \quad (3.12)$$

При одинаковой глубине разработки дополнительное горное давление может существенно меняться в зависимости от значений углов полных сдвижений толщи пород при ее вторичной подработке. Подтверждением этого может служить график на рис. 3.3. Он получен путем расчета дополнительного горного давления по формуле (3.10) для условий, когда угол полного обрушения при первичной подработке массива пород равен  $70^\circ$ , а при повторной подработке —  $75, 80, 85$  и  $90^\circ$ . Как и следовало ожидать, с увеличением угла полного обрушения дополнительное горное давление у границ очистных работ уменьшается.

### 3.4. Выбор порядка отработки пластов в свите

Полученные зависимости позволяют провести количественный анализ изменения опорного давления у границ очистных работ при различных порядках отработки пластов в свите. С этой целью рассчитаны величины дополнительного горного давления у границ очистных работ по простиранию, восстанию и падению при разработке одиночного, надработанного и подработанного пластов (табл. 3.2).

Из данных табл. 3.2 видно, что при одной и той же глубине разработки наименьшее дополнительное горное давление наблюдается у границ очистных работ по подработанному пласту, а наибольшее — на пласте, разрабатываемом без предварительной надработки или подработки.

Дополнительное горное давление у границ очистных работ по надработанному пласту занимает промежуточное положение между давлениями на подработанном и обособленно разрабаты-

Таблица 3.2

Пласт	Мощность между-пластья, м	Дополнительное горное давление на массив угля (ГПа) при глубине разработки, м				
		200	400	600	800	1000
Одиночный Надработанный	—	0,182	0,726	1,632	2,92	4,54
	20	0,106	0,388	0,847	1,482	2,293
	50	0,129	0,44	0,927	1,59	2,429
	100	0,158	0,516	1,05	1,76	2,646
	150	0,176	0,581	1,162	1,919	2,852
Подработанный	—	0,088	0,353	0,795	1,414	2,21

ваемом пластах. Оно возрастает с увеличением расстояния между пластами и снижается по мере уменьшения этого расстояния.

Определим степень изменения дополнительного горного давления на массив угля при разработке надработанного и подработанного пластов по сравнению с одиночным. В качестве критерия воспользуемся значениями коэффициентов надработки  $K_H = Q_2/Q_5$  и подработки  $K_P = Q_2/Q_8$ . Первый из них показывает, во сколько раз дополнительное горное давление у границ очистных работ по одиночному пласту больше, чем по надработанному, а второй — по подработанному. Расчетные значения этих коэффициентов приведены в табл. 3.3.

Как следует из данных табл. 3.3, при прочих равных условиях для разработки ранее подработанного пласта характерно наименьшее проявление опорного давления у границ очистных работ. Независимо от глубины горных работ его величина в два с лишним раза меньше, чем при выемке одиночного пласта. В надработанном пласте дополнительное горное давление у границ очистной выработки снижается в 1,5–2 раза по мере уменьшения мощности междупластья. При постоянной мощности междупластья и увеличении глубины разработки эффективность надработки как меры снижения опорного давления у границ очистных работ возрастает.

Таким образом, при разработке свиты пластов дополнительное горное давление на массив угля у границ очистных работ существенно зависит от принятого порядка их отработки. Наименьшее его проявление, создающее благоприятные условия поддержания подготовительных выработок, обеспечивает восходящий порядок разработки пластов в свите. Наряду со степенью проявления опорного давления во всех случаях при окончатель-

Таблица 3.3

Порядок отработки пластов	Мощность междупластья, м	Коэффициент влияния надработки $K_H$ и подработки $K_P$ при глубине горных работ, м				
		200	400	600	800	1000
Нисходящий	20	1,72	1,87	1,93	1,97	1,98
	50	1,41	1,65	1,76	1,83	1,87
	100	1,15	1,41	1,55	1,66	1,71
	150	1,03	1,25	1,4	1,52	1,59
Восходящий	—	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06

ном выборе порядка отработки пластов свиты необходимо учитывать крепость вмещающих угольные пласты пород.

С учетом того, что максимальное опорное давление проявляется при разработке первого пласта в свите, желательно первым отрабатывать пласт с более прочными боковыми породами. В этом случае подготовительные выработки по указанному пласту испытывают опорное давление в наименьшей степени. Остальные пласты свиты с менее прочными боковыми породами необходимо отрабатывать с отставанием от него, т.е. в надработанной или подработанной толще, обеспечивая тем самым снижение опорного давления у границ очистных работ в 1,5–2 раза по сравнению с первым в свите пластом.

### 3.5. Влияние опорного давления на стоимость поддержания подготовительных выработок

Выемочные выработки, располагаемые чаще всего у границ очистных работ, постоянно подвергаются влиянию опорного горного давления, величина которого зависит от очередности отработки пластов в свите. Следовательно, стоимость их поддержания количественно связана с величиной опорного давления и зависит от порядка разработки пластов в свите.

Исследованиями, проведенными на шахтах Донецко-Макеевского и Красноармейского угольных районов Донбасса, установлены следующие эмпирические зависимости стоимости поддержания пластовых штреков (руб/(м · год)) от глубины разработки  $H$  в диапазоне 300–900 м [37]:

по заработной плате

$$R_3 = 0,0697H - 14 \quad (\text{при коэффициенте корреляции } r = 0,80 \pm 0,04 \text{ и его достоверности } 7,1 > 3);$$

по материалам

$$R_M = 0,0125H + 3,8 \quad (\text{при коэффициенте корреляции } r = 0,50 \pm 0,084 \text{ и его достоверности } 4,44 > 3);$$

общие

$$R_0 = 0,0822H - 10,2.$$

Отобранные для исследования 80 штреков, проводившихся узким забоем впереди лав и охранявшихся с одной стороны бутовой полосой, с другой — массивом угля, характеризовались следующими горнотехническими условиями: вмещающие породы — глинистые и песчаные сланцы средней устойчивости (до неустойчивых), склонные к пучению, мощность пласта 1 м, площадь сечения штреков в свету 8 м<sup>2</sup>, крепьметаллические трехзвенные арки из спецпрофиля, расстояние между арка-

ми 0,8 м, средняя длина поддержания выработок 500 м, скорость подвигания лав 30—50 м/мес.

Приведенные выше зависимости, которые следует рассматривать как ориентировочные, позволяют установить коэффициент влияния глубины разработки на стоимость поддержания штреков, равный отношению стоимости поддержания штреков, расположенных на различных глубинах, к стоимости поддержания их на глубине 300 м. При глубинах разработки 300, 500, 700 и 900 м общая стоимость поддержания 1 м штрека в год соответственно составляет 14,5; 30,9; 47,4 и 63,8 руб. [37]. Коэффициент влияния глубины разработки по фактору стоимости поддержания штреков равен 1; 2,2; 3,3 и 4,4.

Повышение стоимости поддержания подготовительных выработок с увеличением глубины разработки является результатом роста опорного горного давления. Величины опорного давления для глубины 300, 500, 700 и 900 м, подсчитанные по формуле (3.5) и данным о ширине зоны опорного давления [47], соответственно равны 13,6; 25,3; 41,5 и 60,6 МПа. Коэффициент изменения опорного давления, представляющий собой отношение среднего значения опорного давления у границ очистных работ при различной глубине к соответствующей величине на глубине 300 м, равен 1; 1,9; 3,85; 4,46.

Сопоставление значений коэффициентов влияния глубины разработки на стоимость поддержания штреков и величин коэффициента изменения опорного давления показывает, что они возрастают с глубиной примерно в одинаковой степени. При увеличении глубины разработки от 300 до 900 м различие в их значениях не превышает 10—12 %. Последнее позволяет утверждать, что стоимость поддержания пластовых штреков при прочих равных условиях обусловлена величиной опорного давления на массив угля у границ очистных работ и, следовательно, стоимость поддержания штреков с глубиной при разработке одиночного пласта является функцией величины опорного давления.

Ранее было показано, что опорное горное давление у границ очистных работ по надработанным и подработанным пластам снижается в 1,5—2 раза. Естественно полагать, что и подготовительные выработки, поддерживаемые в этих условиях, будут находиться в более благоприятных условиях. Иными словами, предварительная подработка (надработка) пластов является одним из эффективных мероприятий по повышению устойчивости подготовительных выработок и снижению расходов на их поддержание, особенно при разработке свиты пластов, залегающих в неустойчивых породах.

## 4. АНАЛИЗ ОПЫТА РАЗРАБОТКИ СВИТЫ ПЛАСТОВ НА ШАХТАХ ДОНЕЦКО-МАКЕЕВСКОГО РАЙОНА ДОНБАССА

### 4.1. Краткая горно-геологическая характеристика

Наиболее представителен материал по опыту разработки пластов  $k_8$  и  $l_4$  мощностью соответственно 0,6–1,1 и 1–1,7 м.

В рассматриваемом районе кровля пласта  $l_4$  представлена аргиллитами, которые в восточной части замещены алевролитами, реже песчаниками. На шахтах "Трудовская" и им. Челюскинцев местами наблюдается ложная кровля, представленная углистым сланцем. В почве пласта  $l_4$  залегают в основном алевролиты мощностью 0,45–3,5 м, реже аргиллиты и песчаники. На поведение почвы в выработках большое влияние оказывают мелкозернистые, трещиноватые и обводненные песчаники, залегающие ниже алевролитов. В подготовительных выработках действующих шахт наблюдается интенсивное пучение почвы.

Кровля пласта  $k_8$  представлена устойчивым скрытокристаллическим известняком мощностью 1,25–3,10 м, выше которого залегают неслоистые аргиллиты мощностью 1,5–14,7 м. В центральной части района известняк размывает и замещен песчаником. Здесь отмечаются значительные осложнения с управлением кровлей в лавах. В непосредственной почве пласта залегают алевролиты, которые в западной, центральной и северной частях района замещены песчаниками. Мощность алевролитов 3,1–14,2 м. В западной части почва пласта представлена перемежающимися слоями алевролитов и аргиллитов суммарной мощностью 17 м. Пучение почвы отмечается по горным работам действующих шахт.

Таким образом, отличительная особенность условий залегания угольных пластов  $k_8$  и  $l_4$  состоит в том, что первый расположен в прочных, а второй — в слабых вмещающих породах. Почвы пластов представлены аргиллитами и алевролитами, которые подстилают слои песчаников. Такое сочетание пород создает условия для интенсивного выдавливания пород почвы пластов в подготовительные выработки. Прочность горных пород с глубиной возрастает незначительно: на 1–5 % на каждые 100 м. Поэтому на более глубоких горизонтах следует ожидать роста горного давления в подготовительных выработках и усложнения условий их поддержания.

## 4.2. Системы разработки и способы охраны подготовительных выработок

Пласт  $k_8$  независимо от глубины горных работ отрабатывается в основном по сплошной системе разработки, что обусловлено интенсивным пучением пород почвы, особенно в проводимых впереди лавы штреках. По этой причине попытки перехода на столбовую систему оказались неудачными. Способ охраны подготовительных выработок с ростом глубины разработки претерпел существенные изменения. На верхних горизонтах откаточные штреки проводили узким или широким забоем впереди лав и охраняли целиками или бутовыми полосами со стороны выработанного пространства. При охране штреков целиками угля шириной 20–40 м выработки перекрепляли 4–7 раз в год.

В дальнейшем для уменьшения затрат на поддержание штреков и сокращения потерь угля в охранных целиках выработки стали проводить вслед за лавой и охранять двусторонними бутовыми полосами при бесцеликовой выемке.

Опыт показал, что стоимость поддержания 1 м штрека, охраняемого с двух сторон бутовыми полосами, с увеличением его длины уменьшается, а охраняемого с одной стороны целиком угля и с другой бутовой полосой — возрастает. Наименьшими затратами на поддержание характеризуются штреки, охраняемые с обеих сторон бутовыми полосами. При этом чем на большее расстояние отнесены они от нижней границы очистных работ в сторону выработанного пространства, тем больше расходы на их поддержание. Одновременная отработка двух смежных этажей (ярусов) приводит к увеличению затрат на поддержание откаточных штреков в верхнем этаже (ярусе).

На основе опыта выемки пласта  $k_8$  также установлено, что при проведении выработок широким забоем вслед за лавой с охраной их двусторонними бутовыми полосами устойчивость вентиляционных штреков зависит от ширины междуэтажных целиков, а откаточных — от ширины раскоски, близости очистных работ, длины лавы и условий разработки смежного горизонта.

Пласт  $l_4$  на шахтах "Лидиевка" и им. Челюскинцев на малых глубинах отрабатывался по сплошной системе разработки, а на более глубоких горизонтах — по столбовой. Откаточные штреки при сплошной системе разработки проводили узким забоем и охраняли со стороны очистных работ целиками шириной 10–40 м или бутовой полосой. Поддержание их в рабочем состоянии было сопряжено с большими затратами. Подгото-

вительные выработки, пройденные и поддерживаемые в массиве угля, в период подготовки и во время отработки столбов находились в удовлетворительном состоянии и почти не нуждались в ремонте.

На шахте "Трудовская" пласт  $I_4$  на верхних горизонтах разрабатывали по сплошной системе. Охрана откаточных штреков со стороны выработанного пространства осуществлялась целиками угля шириной 50–60 м. При таком способе охраны они деформировались вскоре после начала ведения очистных работ. В связи с этим пласт стали отрабатывать по бесцеликовой схеме на полевые штреки, располагаемые в породах почвы пласта на расстоянии 25–35 м под выработанным пространством и соединяемые с пластом наклонными гезенками через каждые 80–150 м. Разработка пласта на полевые штреки позволила увеличить темпы угледобычи и улучшить технико-экономические показатели работы шахты.

На других шахтах широко применяется столбовая система разработки.

### 4.3. Порядок разработки пластов

На шахте им. Челюскинцев пласты  $k_8$  и  $I_4$  разрабатывают одновременно в нисходящем порядке с незначительным опережением очистных работ по пласту  $I_4$ . На соседней шахте "Лидиевка" их выемку ведут также одновременно, но в восходящем порядке. Здесь очистные работы по нижнему пласту  $k_8$  опережали по падению работы по пласту  $I_4$  на 1200–1400 м. Последний отрабатывается спустя 10–12 лет после его подработки.

На шахте "Трудовская" порядок разработки пластов  $k_8$  и  $I_4$  изменялся с увеличением глубины очистных работ. Так, на восточном крыле шахтного поля очистные работы по пласту  $I_4$  опережали очистные работы по пласту  $k_8$  как по простиранию, так и по падению. На западном крыле выемку угля на пласте  $I_4$  вели на участке, ранее подработанным очистными забоями по пласту  $k_8$ . В связи с интенсивной выемкой пласта  $k_8$  этажами высотой 300–420 м очистные работы по нему опередили работы по пласту  $I_4$  во всем шахтном поле, т.е. в настоящее время применяется восходящий порядок отработки пластов.

Изменение порядка отработки пластов было связано с трудностями в поддержании подготовительных выработок из-за взаимного влияния очистных работ.

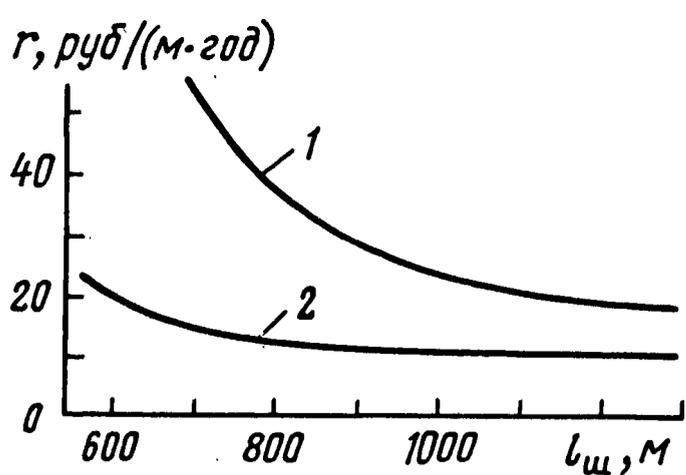


Рис. 4.1. График зависимости расходов на поддержание 1 м штрека  $r$  по пласту  $l_4$  от длины выработки  $l_{ш}$ :  
 1 — 1-го западного вентиляционного штрека при нисходящем порядке отработки; 2 — 2-го западного вентиляционного штрека при восходящем порядке отработки

Влияние порядка разработки пластов  $k_8$  и  $l_4$  на устойчивость выработок можно проследить на примере поддержания вентиляционных штреков 1-й и 2-й западных лав по пласту  $l_4$  на шахте "Трудовская". Штреки были проведены на глубине 420–460 м площадью сечения в свету  $6,5 \text{ м}^2$  и закреплены металлической арочной крепью из спецпрофиля. Расстояние между рамами 0,7–0,8 м. Они охранялись массивом угля и бутовой полосой со стороны лавы. Различие в условиях поддержания выработок состояло в том, что вентиляционный штрек 1-й западной лавы проводили и поддерживали в неподавленной пластом  $k_8$  толще, а вентиляционный штрек 2-й западной лавы — в подработанной (рис. 4.1). При средней длине 700–1300 м стоимость поддержания 1 м вентиляционного штрека 1-й западной лавы была в 1,6–3 раза больше стоимости поддержания штрека 2-й западной лавы. Несмотря на большие затраты, 22–42 % его длины было в неудовлетворительном состоянии. Следовательно, штреки по пласту  $l_4$ , поддерживаемые в предварительно подработанной пластом  $k_8$  толще, находятся в лучшем состоянии, и затраты на их поддержание в 2–3 раза меньше, чем при разработке его как одиночного или первым в свите.

Практика показывает, что при прочих равных условиях состояние штреков по пласту  $k_8$  также значительно улучшается, если их поддерживают в предварительно надработанной пластом  $l_4$  толще. Например, 3-й восточный и 3-й западный конвейерные штреки по пласту  $k_8$  были проведены на глубине 600 м в одинаковых горно-геологических условиях. Отличие состояло в том, что 3-й восточный штрек располагался в ранее надработанной толще, а 3-й западный — в ненадработанной. Сопоставление объема работ по перекреплению и подрывке почвы, а также затраты по прямой заработной плате на поддержание за 10 мес по участкам этих штреков длиной по 400 м показывает (табл. 4.1), что по 3-му восточному конвейерному штреку расходы на перекрепление, подрывку и общие затраты соответственно

Таблица 4.1

Показатели	Штреки	
	3-й западный	3-й восточный
Объем, м:		
перекрепления	1 443	833
подрывки почвы	1 609	259
Расходы, руб.:		
на перекрепление	13380	6957
на подрывку почвы	5881	804
общие	19261	7761

в 1,9; 7,3 и 2,5 раза меньше, чем по 3-му западному конвейерному.

Таким образом, правильный выбор порядка разработки пластов в свите является одним из главных факторов повышения устойчивости подготовительных выработок и снижения затрат на их поддержание. Решению данного вопроса должно всегда предшествовать исследование устойчивости выработок и степени влияния порядка отработки пластов на их состояние.

## 5. УСТОЙЧИВОСТЬ ШТРЕКОВ ПРИ РАЗДЕЛЬНОЙ РАЗРАБОТКЕ ПЛАСТОВ

### 5.1. Методика исследований

Влияние порядка разработки пластов в свите на состояние подготовительных выработок можно установить только после предварительного исследования их устойчивости при раздельной разработке каждого из пластов.

Ранее было показано, что при разработке пласта  $K_8$  на действующих шахтах Донецко-Макеевского района Донбасса широко применяется сплошная система разработки с проведением штреков вслед за подвиганием лавы и охраной их двусторонними бутовыми полосами. Техническая и экономическая целесообразность данного способа охраны выработок общепризнана. Однако влияние некоторых горнотехнических факторов (близости очистных работ, ширины раскоски, длины лавы, разработки смежного горизонта и ширины межъярусных целиков) изучено недостаточно.

Устойчивость подготовительных выработок зависит от большого числа горно-геологических и горнотехнических факторов: мощности и угла падения пласта устойчивости боковых пород, глубины разработки, типа крепи, площади поперечного сечения, способа охраны, срока службы выработки, скорости подвигания очистных работ и др. Определить в отдельности количественное влияние каждого из них на состояние выработки практически невозможно из-за взаимосвязанности и одновременности воздействия на выработку большинства указанных факторов. Если исследования вести в пределах района или шахты, где пласты разрабатываются в одинаковых горно-геологических условиях, то можно исключить ряд факторов, влияющих в одинаковой мере на состояние выработок, и установить степень влияния фактора, по которому отличаются сравниваемые выработки. Такой способ отбора и группирования выработок принят для изучения вопросов устойчивости штреков по пластам  $k_8$  и  $l_4$  при их отдельной разработке. Проявления горного давления в штреках изучались с помощью учета и анализа затрат на их поддержание и инструментальных наблюдений.

Деформированные под воздействием горного давления подготовительные выработки перекрепляют или в них производят подрывку почвы. Степень деформации выработок и расходы на их поддержание характеризуют устойчивость выработок. Если выработки одинаковой длины сравнить по затратам на их поддержание, то можно установить влияние фактора, по которому они отличаются друг от друга. При этом учитывается средняя стоимость поддержания 1 м выработок [руб./ (м · год) ], которая определяется по формуле акад. Л.Д. Шевякова

$$r_{\text{ср}} = R / (l_{\text{ср}} t), \quad (5.1)$$

где  $R$  — суммарные затраты на поддержание выработки в течение всего срока ее службы  $t$ , руб.;  $l_{\text{ср}}$  — средняя длина поддерживаемой выработки, м.

При определении средней стоимости поддержания выработок участку их с неудовлетворительным сечением учитываются путем увеличения общих расходов на сумму, которую необходимо затратить на перекрепление (или подрывку почвы) указанных участков.

На практике имеют место случаи, когда выработки по длине перекрепляют или подрывают с различной частотой. Такое явление наблюдается в выработках, на отдельных участках которых применяются различные способы их охраны. В этих условиях учет затрат на поддержание выработок выполняется по пикетам.

Попикетный учет позволяет выявить распределение затрат по длине выработки. По каждому пикету отобранных выработок учитывают объем перекрепления, расходы по заработной плате на перекрепление, объем подрывки почвы, расходы по прямой заработной плате на подрывку почвы.

Устойчивость выработки в целом или отдельной ее части (пикета) могут характеризовать частота ремонта и частота подрывки. Частота ремонта выработки представляет собой отношение суммарной длины отремонтированных за определенный период участков выработки к протяженности всей выработки на конец этого же периода:

$$k_p = \Sigma l_p k / L, \quad (5.2)$$

где  $\Sigma l_p$  — суммарная длина отремонтированных участков выработки, м;  $k$  — коэффициент, который учитывает длину выработки, требующую ремонта, но ремонт которой по какой-либо причине не произведен;  $L$  — длина выработки на конец периода, за который определена величина  $\Sigma l_p$ , м.

Показатель "частота ремонта выработки" отражает способность выработки в течение длительного времени сохранять заданную форму и размеры. Чем на большей длине будет отремонтирована выработка за рассматриваемый промежуток времени, тем больше будет величина частоты ремонта и тем меньше устойчивость выработки.

Показателем устойчивости почвы выработок может служить частота подрывки

$$k_n = \Sigma l_n k / L, \quad (5.3)$$

где  $\Sigma l_n$  — суммарная длина участков выработки, на которых произведена подрывка почвы, м.

Измерения сдвижений горных пород на контуре подготовительных выработок проводили на специально заложенных наблюдательных станциях. Каждая наблюдательная станция представляла собой совокупность реперов, которые закладывали в определенном порядке в породах, непосредственно вмещающих горную выработку. Станции включали 3—10 секций, отстоявших друг от друга на расстоянии 10—20 м. Каждая секция состояла из 4—6 реперов, располагавшихся в одной вертикальной плоскости, перпендикулярной к оси выработки. Реперы в секции размещались попарно: репер в кровле выработки и соответствующий ему репер в почве находились на одной вертикальной линии, реперы в боках выработки — на горизонтальной.

Расстояние между парными реперами измеряли при помощи стальной рулетки и измерительной стойки. Нивелирный ход от исходных реперов к реперам наблюдательной станции и нивелирование реперов по станции проводили в прямом и обратном направлениях. При измерениях сдвижений вмещающих выработку пород одновременно производили замеры положения очистного забоя на день замера по отношению к наблюдательной станции. Периодичность измерения сдвижений пород на наблюдательных станциях определяли в зависимости от средней скорости подвигания очистного забоя и принимали равной 1–2 замерам в месяц.

## 5.2. Влияние расстояния до очистных работ

Для изучения характера распределения затрат на ремонт штреков на различном расстоянии от забоя лавы и выяснения причин, вызывающих эти ремонты, использованы метод попикетного учета и анализа расходов на поддержание штреков и метод инструментальных наблюдений. На шахте "Трудовская" были отобраны штреки по пласту  $k_8$ , не отличающиеся условиями охраны и глубиной заложения (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Штрек	Глубина заложения, м	Площадь сечения в свету, м <sup>2</sup>	Ширина бутовой полосы*, м	Вмещающие пласты породы	
				кровли	почвы
3-й восточный конвейерный	570	8,5	8–10 — 15–30	Известняк мощностью 3 м	Аргиллит и алевролит мощностью 17 м
3-й западный конвейерный	570	8,5	8–10 — 15–30	То же	То же
4-й западный вентиляционный	680	8,5	10–12 — 10–12	"	"

\* В числителе приведена ширина бутовой полосы над штреком, в знаменателе — под ним.

По мере подвигания лавы каждый пикет штрека, оставаясь неподвижным в пространстве, будет находиться на разном расстоянии от очистного забоя. Следующий по номеру пикет через определенное время (в зависимости от скорости подвигания лавы) окажется на том же расстоянии от очистного забоя лавы, что и предыдущий, и т.д. В соответствии с этим пикеты по каждому штреку были систематизированы по их равноудаленности от лавы и определена стоимость ремонта 1 м штрека на различном расстоянии от очистного забоя. Из приведенного на рис. 5.1 графика видно, что на разном расстоянии от забоя штреки имеют различную стоимость поддержания. Участки штреков, удаленные от лавы на 35—90 м, не требуют расходов по ремонту (I зона). На расстоянии от лавы 40—90 м расходы на перекрепление резко возрастают, начиная снижаться с удалением забоя на 150—220 м (II зона). На расстоянии от забоя более 180—230 м (III зона) стоимость перекрепления 1 м штрека практически постоянна.

Расходы на перекрепление 1 м штрека во II зоне в 2—3 раза больше, чем в III. Характер распределения расходов на подрывку почвы штреков в III зоне также постоянен. Неизменность стоимости поддержания штреков в III зоне свидетельствует о том, что они располагаются уже вне зоны влияния очистных работ. Наличие затрат на перекрепление и подрывку почвы в непосредственной близости от лавы по 3-му западному конвейерному штреку (см. рис. 5.1) является результатом того, что забой этого штрека опережал очистной забой.

Чтобы выяснить причину неравномерного характера распределения расходов, были осуществлены инструментальные наблюдения за смещением пород контура штреков, проводимых вслед за лавой. Инструментальные наблюдения велись в штреках 91-й западной лавы по пласту  $k_8$  на шахте "Лидиевка". Наличие трех штреков в одной лаве (откаточный штрек располагался посередине лавы) позволило вести наблюдения на различном расстоянии от границы очистных работ по падению. Характеристика штреков приведена в табл. 5.2.

Лава длиной 160 м располагалась на глубине 550 м. Управление кровлей в ней осуществлялось плавным опусканием.

Для наблюдения за смещением пород в штреках были заложены наблюдательные станции, каждая из которых состояла из 8—9 секций. Так как забои штреков отставали от лавы на 6—8 м, замеры в них вели не ближе этого расстояния. На графике (рис. 5.2) на участках штреков, удаленных от забоя на 0—10 м, линии проведены как продолжение кривых конвергенции, получен-

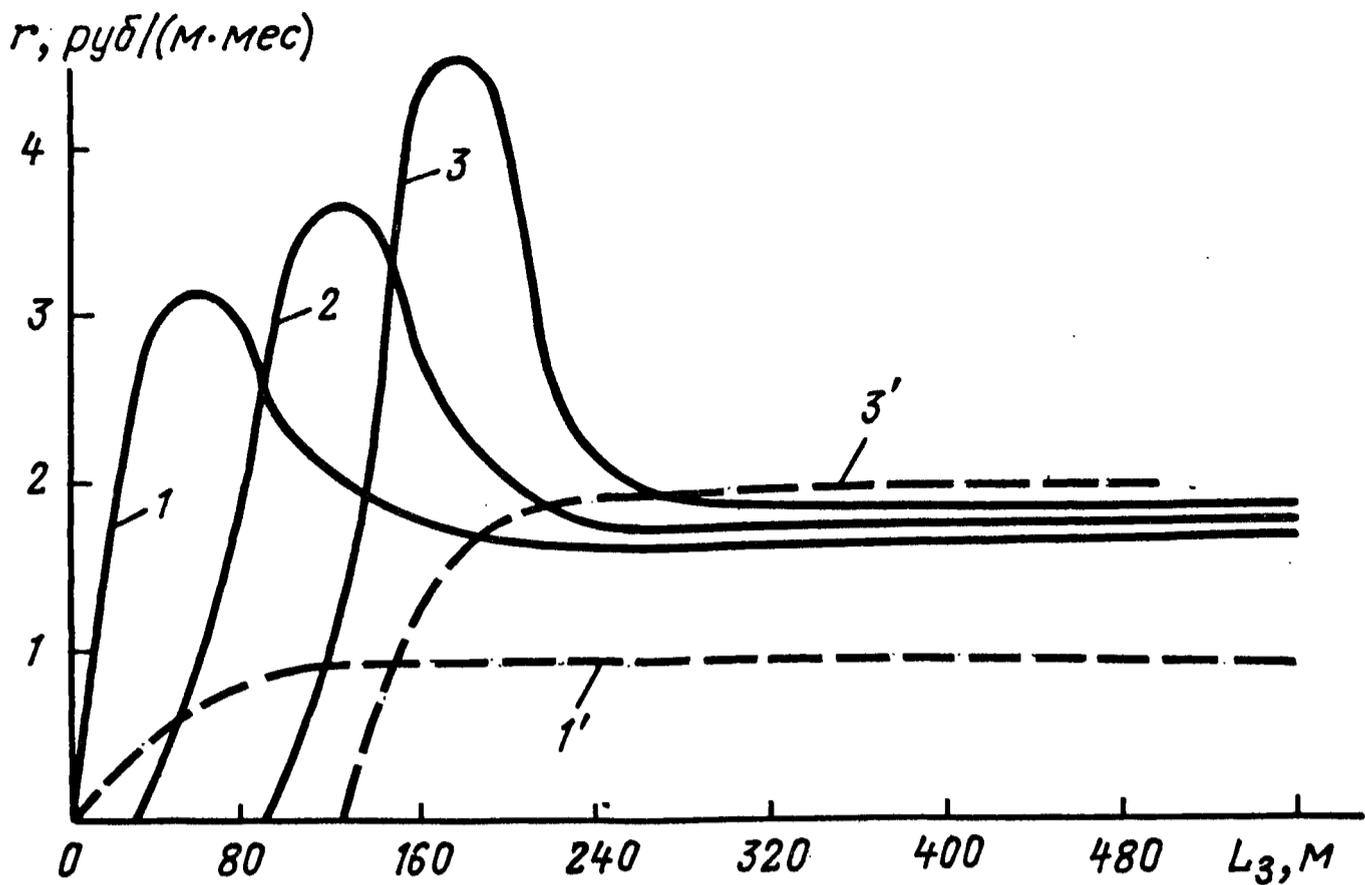


Рис. 5.1. График зависимости расходов на поддержание 1 м штрека  $r$  от расстояния до лавы  $L_3$ :

1 и 1' — соответственно на перекрепление и подрывку почвы 3-го западного конвейерного штрека; 2 — на перекрепление 3-го восточного конвейерного штрека; 3 и 3' — соответственно на перекрепление и подрывку почвы 4-го западного вентиляционного штрека

Таблица 5.2

Штрек	Площадь сечения в свету, $m^2$	Ширина бутовой полосы, м		Расстояние от оси штрека до кромки угольного массива по падению, м
		над штреком	под штреком	
Откаточный	10,2	8	20	40–45
Вентиляционный верхний	5,2	10	10	150
Вентиляционный нижний	6,25	8	8	7–10

Примечание. Все штреки пройдены с подрывкой почвы.

ных на удалении более 10 м. На этом участке конвергенция достигала 120–185 мм, что согласуется с результатами ранее проведенных исследований [15].

Из приведенного на рис. 5.2 графика следует, что интенсивное сближение почвы и кровли штреков происходило на удалении до

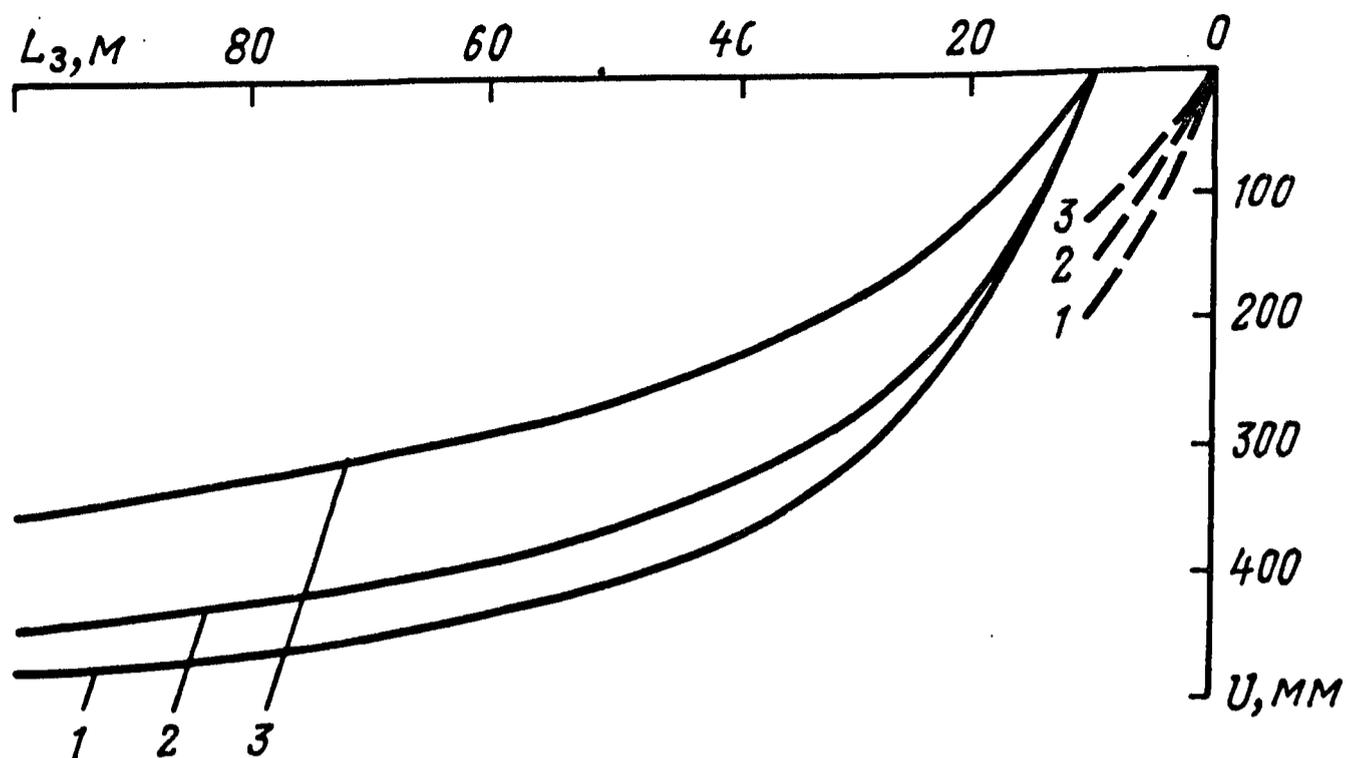
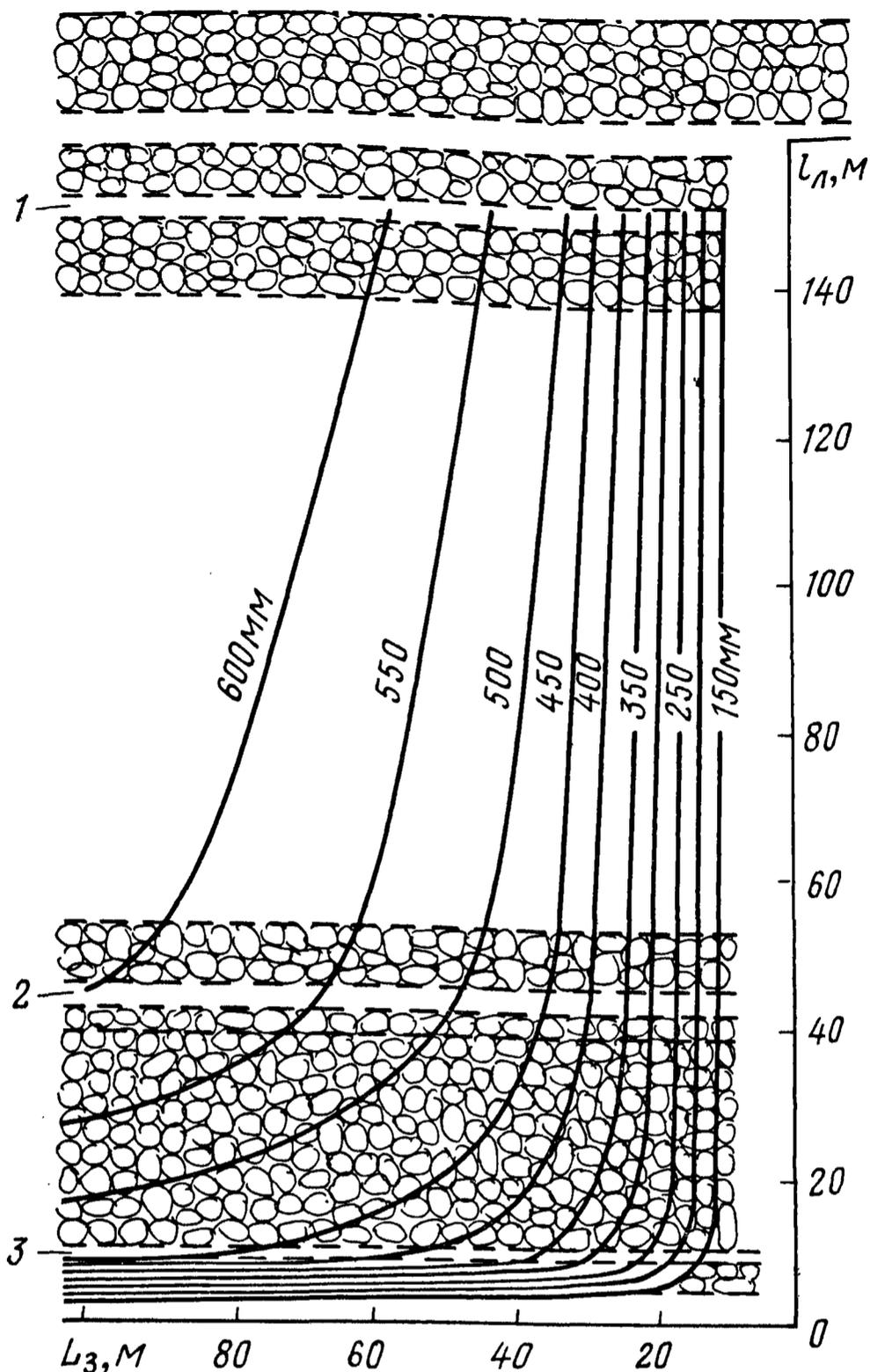


Рис. 5.2. График изменения конвергенции с удалением от лавы в верхнем вентиляционном (1), откаточном (2) и нижнем вентиляционном (3) штреках

40–50 м от лавы. Конвергенция на одном и том же расстоянии от очистного забоя была больше в тех штреках, которые располагались на большем удалении от границ очистных работ по падению пласта.

Конвергенция, как известно, состоит из опускания кровли и пучения (поднятия) почвы штрека. Для выявления ее составляющих в штреках 91-й западной лавы были использованы результаты нивелировки почвы 93-го восточного откаточного штрека по пласту  $k_8$  на шахте "Лидиевка". За два месяца поднятие почвы в штреке составило всего 22 мм. Следовательно, конвергенция представляла собой в основном опускание пород кровли.

По величинам конвергенции, замеренной в штреках 91-й западной лавы, построены изолинии опускания пород кровли в выработанном пространстве лавы (рис. 5.3). Характер распределения изолиний свидетельствует о наличии плавного прогиба подработанной толщи пород. Изолинии опускания кровли проходят почти параллельно линии очистного забоя лавы, удаляясь от него в нижнем углу, в котором имеет место зависание пород кровли. Максимальный прогиб кровли расположен в верхней части лавы, где по мере развития очистных работ по простиранию породы кровли из-за потери опоры, которой является верхняя кромка пласта угля, быстро опускаются на околострековые бутовые полосы. Опускание кровли в верхнем вентиляционном штреке на участке, удаленном от лавы на 25 м, достигало 450 мм. В откаточном и вентиляционном нижнем штреках такое опускание зафиксировано при удалении от лавы соответственно на 35 и 80 м.



**Рис. 5.3. Изолинии опускания пород кровли в выработанном пространстве 91-й западной лавы:**

1, 2, 3 — соответственно верхний вентиляционный, откаточный и нижний вентиляционный штреки

Наблюдаемая картина опускания кровли характерна для очистной выемки, при которой между лавами не составляют межъярусные (межэтажные) целики угля. Отсутствие жестких целиков создает условия для опускания пород кровли без зависания. При разработке обособленной лавы или лав, разделенных по падению целиками угля достаточных размеров, осадке пород будет препятствовать массив или целик угля. Поэтому изолинии опускания кровли в верхней части лавы будут иметь характер, аналогичный изолиниям в нижней части, а максимальный прогиб переместится к середине лавы.

С удалением от очистного забоя (см. рис. 5.3) изолинии равных опусканий кровли разворачиваются из положения, близко-

го к параллельному, к перпендикулярному относительно линии очистного забоя. Можно полагать, что в выработанном пространстве на определенном удалении от лавы изолинии опускания пород кровли стабильно параллельны нижней границе очистных работ, где наступят условия установившегося горного давления. По данным натурных наблюдений, это расстояние примерно равно половине длины лавы.

Состояние штреков, проводимых вслед за лавой, определяется проявлением горного давления в выработанном пространстве лавы и опорным давлением, развивающимся вблизи нижней или верхней границы очистных работ. По мере подвигания забоя лавы породы кровли пласта и весь подработанный массив плавно опускаются в выработанное пространство (см. рис. 5.2). Величина опускания подработанных пород определяется расстоянием от рассматриваемой точки до линии очистного забоя и границ очистного пространства по падению или восстанию. Так как реакция крепи значительно меньше давления пород кровли, крепь штреков не может противостоять опусканию пород кровли и вынуждена работать в режиме заданной деформации. Отсюда вытекает необходимость соответствия податливости крепи штреков, проводимых вслед за лавой, величине опускания пород кровли.

Проведенные инструментальные наблюдения позволяют объяснить причину различной стоимости поддержания отдельных участков штреков, разноудаленных от лавы. Участок штрека, расположенный в непосредственной близости от лавы (I зона), находится в области, где породы кровли опустились на величину, не превышающую податливость крепи. Удаление очистного забоя вызывает большее опускание кровли и всего подработанного массива. На расстоянии от лавы, при котором наступает несоответствие величин опускания кровли пласта и податливости крепи штреков, последняя начинает деформироваться. При применении крепи одинаковой податливости деформация ее происходит примерно на одном расстоянии от очистного забоя. Поэтому в штреках, проводимых вслед за лавой и охраняемых двусторонними бутовыми полосами, имеется зона II, в которой производится частое перекрепление, обуславливающее высокую стоимость поддержания 1 м штреков (см. рис. 5.1).

Удаленность от лавы зоны II зависит от податливости крепи. Чем жестче применяемая крепь, тем ближе к забою зона II. Если в штреке установить крепь с податливостью равной или большей величины максимального опускания пород кровли в месте заложения штрека, тогда ремонт крепи в них практически от-

существует. Примером может служить опыт поддержания 38-го откаточного штрека по пласту  $h_{10}$  на шахте "Кировская" ПО "Донецкуголь" и 64-го восточного откаточного штрека по пласту  $h_8$  на шахте им. Лутугина ПО "Торезантрацит". Эти штреки были пройдены с двусторонней раскоской вслед за лавой и закреплены металлической пятизвенной арочной податливой крепью. Мощность пласта  $h_{10} = 1,1$  м,  $h_8 = 1,2 \div 1,5$  м. Глубина заложения штреков соответственно 513 и 320 м. За два года объем ремонтных работ по 38-му откаточному штреку при изменении длины его от 100 до 803 м составил 22 м на сумму 563 руб. (по прямой заработной плате за перекрепление). В 64-м откаточном штреке шахты им. Лутугина в течение двух лет ремонт крепи не проводился.

Таким образом, для безремонтного содержания штреков, проводимых вслед за лавой, податливость крепи должна соответствовать ожидаемой конвергенции вмещающих пород. В этих условиях хорошие результаты дает применение пятизвенной арочной крепи. Если почва штрека не склонна к пучению, то конвергенция состоит только из опускания пород кровли, равной 50–60 % мощности пласта. В данном случае высоту штрека необходимо увеличивать на величину ожидаемой конвергенции.

В штреках, проводимых по пластам со слабыми породами почвы, конвергенция складывается из опускания пород кровли и пучения почвы. Ее величину можно определить по формуле

$$s = 0,6 m + v_{cp} t,$$

где  $v_{cp}$  — средняя скорость пучения почвы, м/мес (определяется нивелировкой почвы штреков);  $t$  — срок службы штрека, мес.

При очень слабых породах почвы штрека и большом сроке его службы ожидаемая составляющая конвергенции  $v_{cp} t$  может оказаться значительной. В этом случае необходимо экономическое сравнение целесообразности увеличения поперечного сечения штрека с проведением его обычным сечением и периодической подрывкой почвы в период эксплуатации.

### 5.3. Влияние ширины бутовой полосы

При ведении очистных работ на большой глубине с расположением штреков в зоне опорного давления поддержание их связано с большими затратами. Лучше проводить и поддерживать штреки в разгруженной от горного давления зоне, охраняя их бутовыми полосами. Широкое внедрение породозакладочных

комплексов типа "Титан" позволило механизировать процесс выкладки бутовых охранных полос. В этом случае при прочих равных условиях устойчивость штрека зависит от того, на каком расстоянии от кромки массива угля он расположен, другими словами, устойчивость штрека зависит от ширины охранной бутовой полосы. Указанное положение подтверждено проведенными исследованиями на шахте "Трудовская" ПО "Донецк-уголь" [32].

Попикетный учет затрат на поддержание выработок велся в течение 10 мес в трех штреках по пласту  $k_8$ . Расходы по пикетам штрека, которые располагались на расстоянии менее 80—100 м от лавы, не учитывали с целью исключения влияния близости очистных работ.

Чтобы выявить влияние ширины бутовой полосы на устойчивость штреков, были использованы систематизированные попикетные расходы на их поддержание. Для этого на графике по оси абсцисс откладывали ширину раскоски, а по оси ординат — суммарные расходы по прямой заработной плате на поддержание 1 м штрека в год  $\Sigma r$  (руб.). Обработка данных с помощью корреляционного анализа показала, что между исследуемыми величинами существует достоверная связь (корреляционное отношение и его достоверность соответственно равны 0,68 и 4,3), которая выражается уравнением регрессии

$$\Sigma r = 0,12 l_p^2 - 2,8 l_p + 39, \quad (5.4)$$

где  $l_p$  — ширина раскоски, м ( $4 \geq l_p \leq 28$ ).

Минимальные затраты на поддержание штреков наблюдаются при ширине раскоски 10—15 м.

При обработке данных изменения кратности перекрепления штреков в зависимости от ширины бутовой полосы было получено следующее уравнение регрессии:

$$k_p = 0,01 l_p^2 - 0,3 l_p + 3,6. \quad (5.5)$$

Расходы на перекрепление (аналогично суммарным расходам) уменьшаются с увеличением ширины раскоски до 15 м, а при дальнейшем ее увеличении — возрастают.

К основным факторам, влияющим на ширину бутовой полосы, относятся мощность слабых пород непосредственной почвы пласта, состав и физико-механические свойства пород кровли, глубина разработки и угол падения пласта. Оптимальную ширину полосы с учетом совокупного влияния указанных факторов можно установить путем теоретического решения задачи.

#### 5.4. Расчет ширины бутовой полосы (раскоски)

Давление на почву пласта со стороны кровли определяется весом отслоившихся от массива под углами полного обрушения пород. С удалением от кромки массива угля в выработанное пространство горное давление возрастает пропорционально мощности отслоившихся пород.

Со стороны почвы пласта действуют силы, обусловленные опорным давлением на массив угля. Следствием действия этих сил является выдавливание пород почвы в выработанное пространство. Величина указанных сил, а следовательно, и интенсивность пучения почвы должна уменьшаться по мере удаления от кромки массива угля в выработанное пространство.

Если исходить из предположения, что штрек воспринимает давление только со стороны кровли, то его целесообразно располагать ближе к массиву угля. Если принимать во внимание только давление со стороны почвы, то штрек необходимо отнести от кромки массива угля в сторону выработанного пространства. При совместном влиянии давления со стороны кровли и почвы, очевидно, существует такое расстояние от штрека до кромки массива угля, при котором расходы на ремонт крепи и подрывку почвы будут минимальны. Предположим, что на этом расстоянии давление пород кровли равно по величине и противоположно по направлению давлению, вызывающему пучение почвы. В месте расположения штрека породы находятся в состоянии равновесия, что обеспечивает минимальное давление на штрек.

Следовательно, оптимальная ширина раскоски соответствует расстоянию от кромки массива угля до точки в выработанном пространстве, в которой давление пород кровли равно давлению пород почвы.

Для решения поставленной задачи необходимо построить эпюру сил суммарного давления в разгруженной зоне.

Давление со стороны почвы, вызванное действием опорного давления на массив угля, определяется на основании теории предельного равновесия по методу В.В. Соколовского из формулы

$$g_n = \sigma [1 + \sin \rho \sin (\mu + \rho)] - \delta \operatorname{ctg} \rho, \quad (5.6)$$

где  $\sigma$  — напряжение вдоль контура положительной полуоси, Па;  $\rho$  — угол внутреннего трения, градус;  $\mu$  — угол наклона линий скольжений первого семейства, градус;  $\delta$  — коэффициент сцепления, Па.

Таблица 5.3

Глубина разработки, м	Нормальная составляющая опорного давления (МПа) при расстоянии от кромки в глубь массива, м			Давления со стороны почвы (МПа) при расстоянии от кромки в выработанное пространство, м		
	10	5	0	0	17,8	38,1
350	15,28	16,98	19,52	3,90	2,23	1,22
600	26,19	29,10	33,47	6,69	4,07	2,09
900	39,29	43,66	50,21	10,04	6,11	3,64

Значения  $\sigma$  находим как координаты соответствующих узловых точек линий скольжений.

Граничный угол наклона линий скольжения находится по формуле

$$2\mu = -\pi/2 - \rho. \quad (5.7)$$

Нормальная составляющая опорного давления, приложенная к массиву угля на границе с выработанным пространством, определяется по формуле

$$P_n = \gamma H k \cos \alpha, \quad (5.8)$$

где  $k$  – коэффициент концентрации напряжений в зоне опорного давления, который с увеличением расстояния от кромки угля в глубь массива на 0; 5; 10; 15 и 20 м принимает значения 2,3; 2,0; 1,8; 1,65; 1,5 [4].

Параметры  $\delta$  и  $\rho$  принимаем по данным К.В. Руппенейта: для аргиллитов  $\delta = 0,2$  МПа,  $\rho = 20^\circ$ .

Подсчитанные величины  $P_n$  и  $g_n$  для различной глубины расположения выработки при значениях  $\delta = 0,2$  МПа,  $\rho = 20^\circ$ ,  $\alpha = 14^\circ$ ,  $\gamma = 0,025$  МН/м<sup>3</sup>,  $\mu = -55^\circ$  и  $k = 1,5 \div 2,3$  приведены в табл. 5.3.

Подсчет давления со стороны почвы произведен для условий пласта  $k_8$  при разной мощности аргиллитов, залегающих в непосредственной почве. Ниже слабых пород почвы залегают мощные слои песчаников, которые являются естественной границей распространения линий скольжения по глубине.

Изменение опорного давления  $P_n$  и давления со стороны почвы в зависимости от расстояния от кромки угольного массива характеризуется графиком (рис. 5.4). При мощности слабых пород до 15 м зона выдавливания почвы в плоскости пласта распространяется до 52 м. Согласно аналогичным расчетам, при

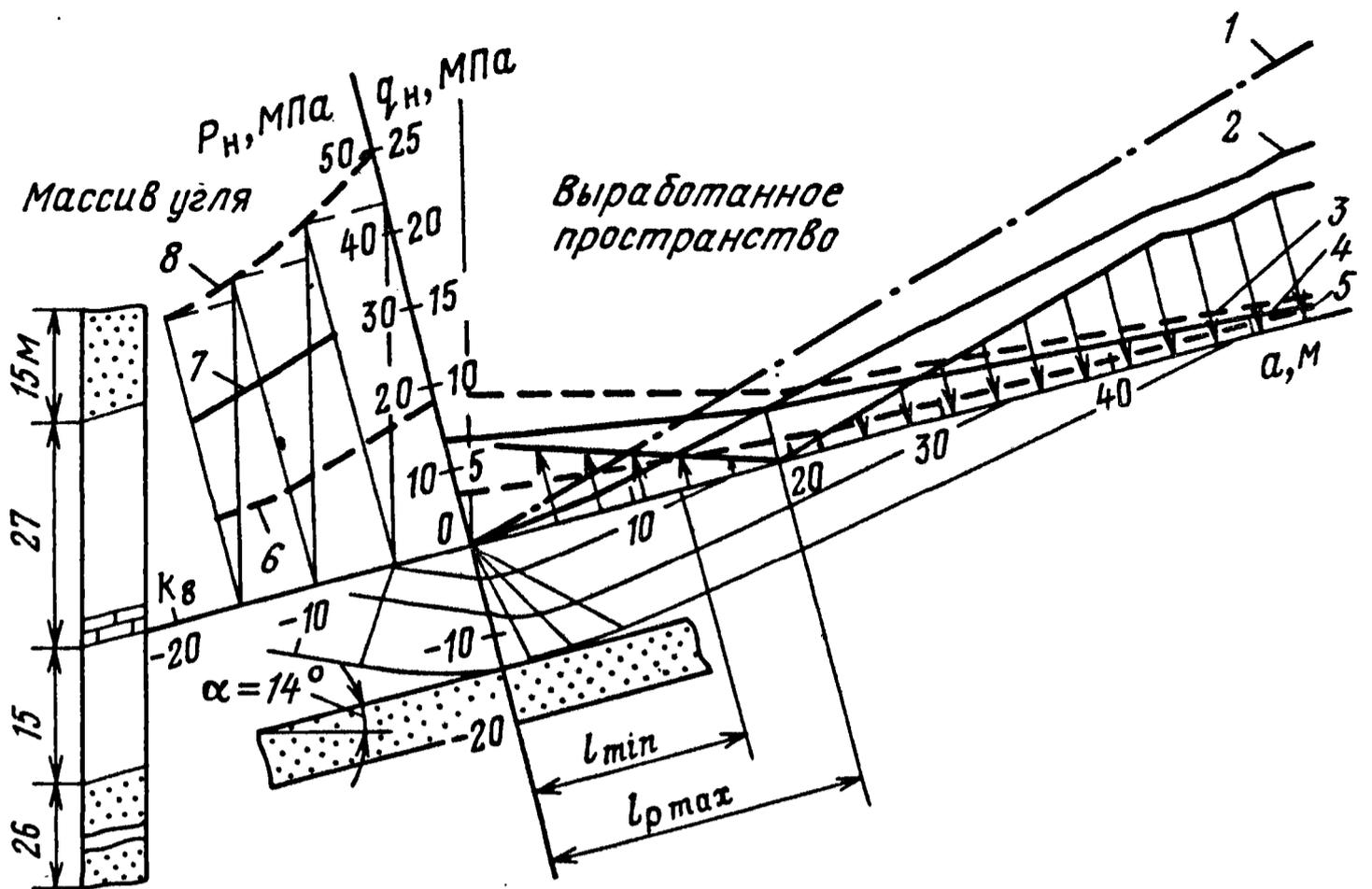


Рис. 5.4. График зависимости давления пород кровли  $P_n$  и почвы  $q_n$  в разгруженной зоне лавы от расстояния  $a$  от кромки массива угля у границ очистных работ:

1, 2 — давление со стороны кровли соответственно к концу и началу формирования зоны установившегося горного давления; 3, 4, 5 — давление со стороны почвы при глубине разработки соответственно 900, 600 и 350 м; 6, 7, 8 — давление со стороны кровли при глубине горных работ соответственно 350, 600 и 900 м

мощности слоя слабых пород до 2,5 и 9 м эта зона составляет соответственно 9 и 32 м. Давление со стороны почвы пропорционально приложенной опорной нагрузке  $P_n$  и убывает с увеличением расстояния от кромки массива угля в сторону выработанного пространства.

Давление со стороны кровли на закладку и почву пласта определяется весом пород, отслоившихся от общего массива под углом полного обрушения. Если в толще кровли залегают легкообрушаемые породы, то давление от веса отслоившихся пород можно определить по формуле

$$Q = a \frac{\sin \psi}{\sin [90 - (\psi + \alpha)]} \gamma, \quad (5.9)$$

где  $a$  — расстояние данной точки до кромки массива, м;  $\psi$  — угол полного обрушения пород, градус;  $\psi = 70^\circ$ .

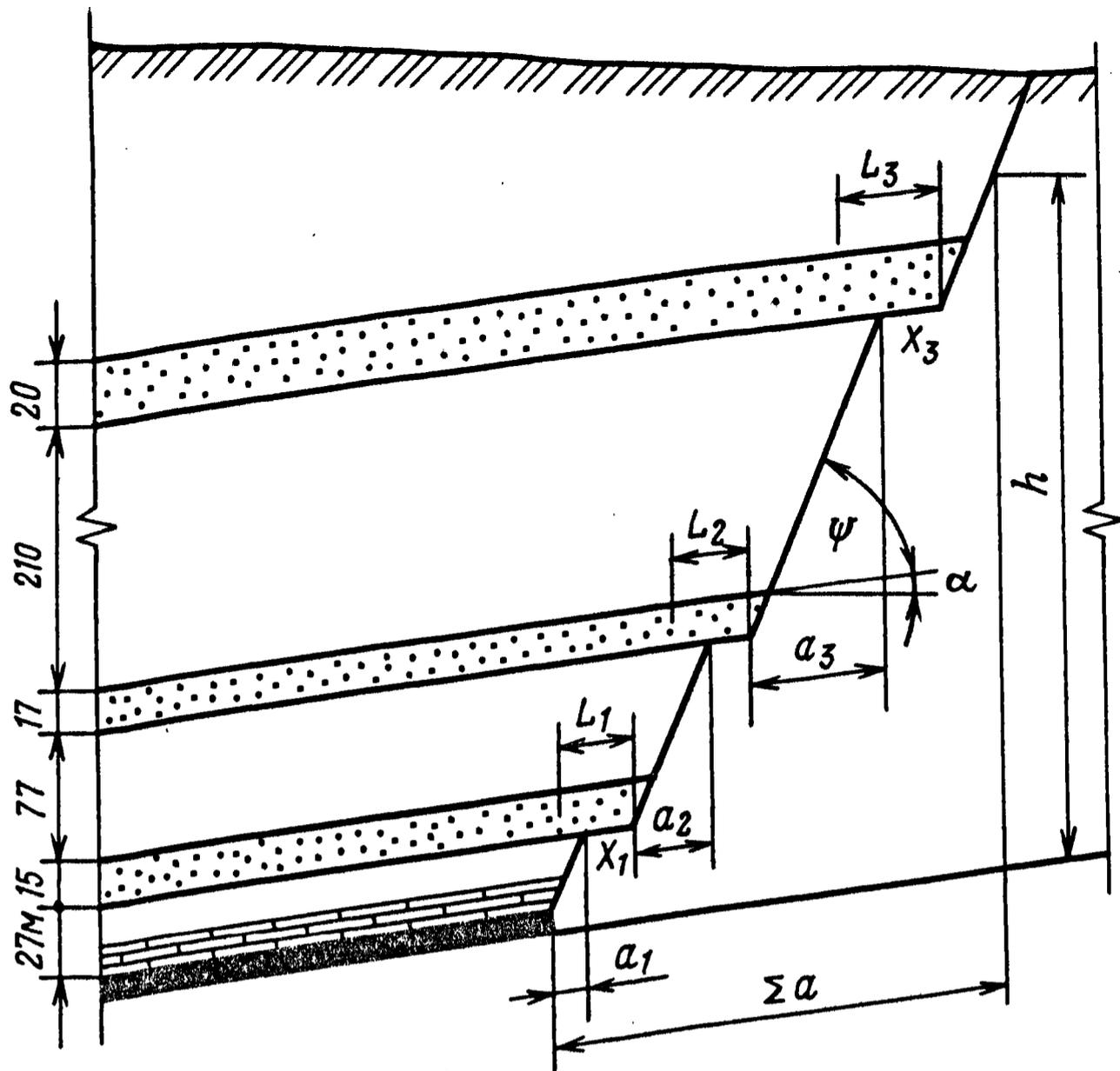


Рис. 5.5. Расчетная схема к определению величины горного давления со стороны кровли пласта в разгруженной зоне

$$a = \frac{h \sin [90 - (\psi - \alpha)]}{\sin \psi}, \quad (5.10)$$

где  $h$  — суммарная мощность отслоившихся пород кровли в точке на расстоянии  $a$  от кромки массива, м.

Если в толще горных пород над пластом залегают мощные слои крепких песчаников, то расчет давления со стороны кровли можно вести по формулам (5.9), (5.10), но с учетом соответствующей поправки на породы-мосты.

Породы-мосты, сложенные мощными крепкими песчаниками, играют особую роль в процессе сдвижения толщи пород [7,9]. Во-первых, они задерживают опускание вышележащих толщ, во-вторых, под их устойчивыми консолями образуются зоны постоянного (на некоторый период) горного давления. Крепкие слои песчаников за счет устойчивых консолей увеличивают общий размер зоны, разгруженной от горного давления.

Для построения эпюры давления со стороны кровли пласта целесообразно составлять расчетные схемы применительно к конкретному геологическому разрезу рассматриваемого участка месторождения. В качестве примера на рис. 5.5 показана

расчетная схема для пласта  $k_8$  с выделенными тремя наиболее мощными породами-мостами.

Длину зависших блоков пород-мостов находят по формуле [9]

$$L = \zeta \eta \sqrt{\frac{\sigma_{\text{изг}} h_i^2}{6 g_i}}, \quad (5.11)$$

где  $\zeta$  — коэффициент, учитывающий ползучесть пород,  $\zeta < 1,0$ ;  $\eta$  — коэффициент, учитывающий влияние закрепляющей нагрузки для данного слоя песчаника, по данным А.А. Борисова  $\eta \cong 0,7 \div 0,8$ ;  $\sigma_{\text{изг}}$  — предел прочности породы-моста на изгиб, для песчаника  $\sigma_{\text{изг}} = 25$  МПа;  $h_i$  — мощность  $i$ -го породы-моста, м;  $g_i$  — давление от пригрузки на слой песчаника с учетом собственного веса, МПа.

$$g_i = \Sigma h_i \gamma,$$

где  $\Sigma h_i$  — суммарная мощность пород, создающих давление на консоль песчаника, м; как правило,  $\Sigma h_i$  равно расстоянию между соседними породами-мостами.

Для пласта  $k_8$  изменение горного давления со стороны кровли на разном расстоянии от кромки массива угля с учетом пород-мостов при образовании зоны установившегося горного давления характеризуется ломаной 1 (см. рис. 5.4).

Точке пересечения линий давления со стороны кровли и почвы соответствует место, в котором противоположные по направлению давления равны. Породы здесь находятся в состоянии равновесия, поэтому выработка будет испытывать одинаковое давление со стороны кровли и со стороны почвы; давление же на крепь будет наименьшим из всех возможных вариантов.

С течением времени горное давление со стороны кровли пласта в выработанном пространстве стремится к первоначальному значению. Это приводит к тому, что кривая давления 1 перемещается, занимая положение кривой давления 2 [15, 41.] Опорное давление на массив постепенно снижается, что обуславливает уменьшение оптимального размера ширины раскоски (см. рис. 5.4). Для пласта  $k_8$  при изменении глубины разработки от 350 до 900 м верхний предел оптимальной ширины бутовой полосы изменяется от 11 до 25 м (соответствует кривой давления 1); нижний предел — от 7,5 до 18 м (соответствует кривой давления 2).

Производственные расчеты позволили установить зависимость ширины раскоски от мощности слабых пород в непосред-

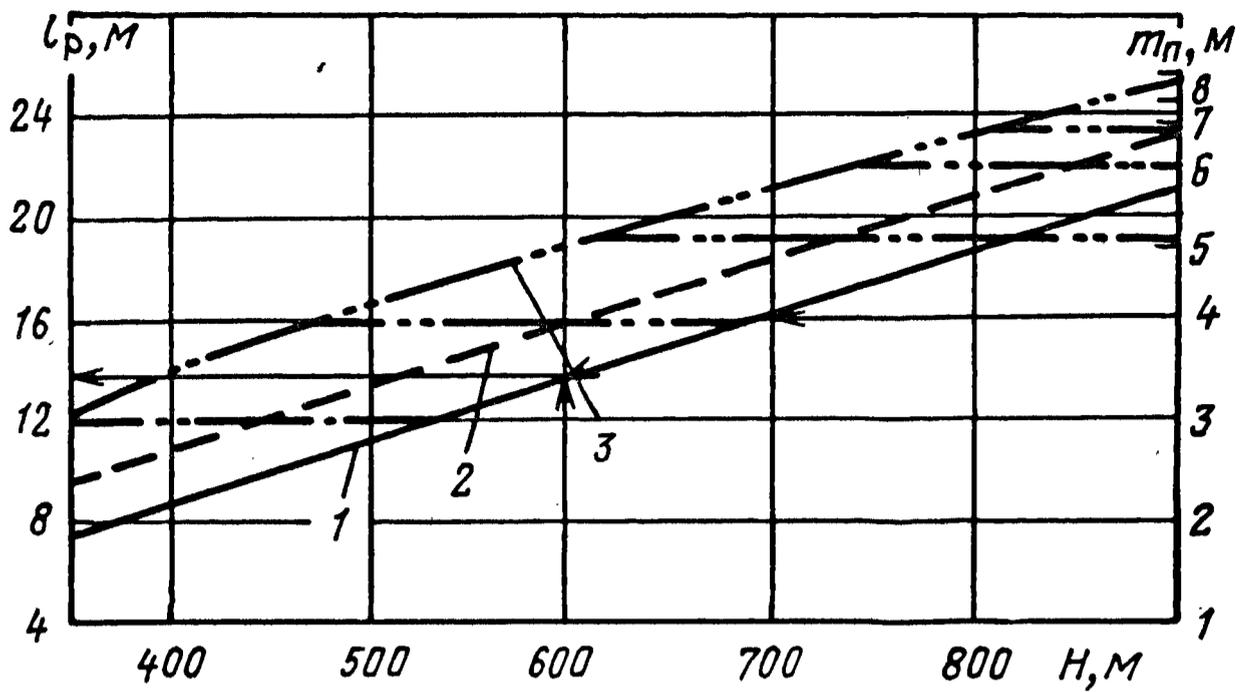


Рис. 5.6. График-номограмма для определения оптимальной ширины раскоски  $l_p$  в зависимости от глубины разработки  $H$ , мощности слабых пород  $m_n$  непосредственной почвы и состава пород кровли:

1 — при легкообрушаемых породах кровли; 2 и 3 — при наличии в кровле (в пределах 200–250 м) соответственно двух и четырех мощных слоев песчаника

ственной почве пласта, глубины разработки и состава толщи пород кровли. Поскольку область оптимальных размеров раскоски для наиболее часто встречающихся в Донбассе условий занимает только небольшую часть разгруженной от горного давления зоны, то, как показали расчеты, на ширину бутовой полосы оказывает влияние состав пород кровли пласта на высоту до 200–250 м.

Для использования на практике составлен график-номограмма (рис. 5.6), с помощью которого можно определить для конкретных условий оптимальную ширину раскоски или наиболее выгодное место заложения штрека. При мощности пород более 7 м ширина раскоски на различной глубине определяется в зависимости от состава пород кровли по кривым 1, 2, 3. При мощности непосредственной почвы до 2,5–3 м ширина раскоски не зависит от глубины разработки и состава кровли и примерно равна 3,5–3,7 мощности слабых пород почвы или может быть определена по горизонтальным линиям, соответствующим данной мощности почвы.

Для промежуточных значений толщи слабой почвы (2,5–7 м) нахождение оптимальной ширины раскоски может быть показано на следующем конкретном примере. Пусть требуется найти  $l_p$  при  $H = 400$  м и мощности слабой почвы 5 м. Кровля сложена легкообрушающимися породами. Проводим горизонтальную линию при значении мощности 5 м до пересечения с кривой 1, находим на кривой 1 точку пересечения ее с ординатой, соответ-

ствующей  $H = 400$  м, и определяем, что  $l_p = 9,5$  м. При мощности слабых пород 4 м и глубине разработки 600 м ширина раскоски определяется точкой пересечения ординаты при  $H = 600$  м и горизонтали при мощности почвы 4 м и равна 14,5 м.

Составленный график-номограмма разработан для угла падения пласта  $14^\circ$ . При уменьшении или увеличении его на  $1^\circ$  ширина раскоски соответственно увеличивается или уменьшается примерно на 6–8 %, но при условии, что максимальный угол падения пласта не превышает  $20^\circ$ .

Таким образом, оптимальная ширина раскоски, полученная теоретическим путем, хорошо согласуется с данными практики. Пользуясь графиком-номограммой, можно для конкретных условий определять место заложения штрека по отношению к кромке массива угля.

### 5.5. Влияние длины лавы

Из результатов экспериментальных исследований в натуральных условиях и на моделях из эквивалентных материалов [7] следует, что с увеличением ширины выработанного пространства (длины очистного забоя) деформации пород в зонах опорного давления заметно возрастают, приводя к увеличению затрат на поддержание подготовительных выработок. Анализ показывает, что при сплошной системе разработки между стоимостью поддержания штрека и длиной лавы существует достаточно тесная и достоверная корреляционная связь. Изменение длины лавы от 75 до 275 м приводит к увеличению стоимости поддержания 1 м штрека почти в два раза [11]. Такая зависимость характерна для штреков, расположенных непосредственно у границы выработанного пространства (по падению) и охраняемых с одной стороны массивом угля, а с другой – бутовой полосой.

Из опыта разработки пологих пластов в Донбассе установлено, что величина опорного давления и ширина зоны его влияния, а также затраты на поддержание штреков зависят не только от размеров выработанного пространства по падению, но и от глубины разработки [24, 37]. Несмотря на это, в практике работы глубоких шахт Донбасса и за рубежом (Великобритания, ФРГ) наблюдается, казалось бы, противоречивое явление – с ростом глубины разработки пластов увеличивается и длина очистных забоев (до 250–400 м).

Оно объясняется трудностями с поддержанием подготовительных выработок. При большой длине лавы сокращается

протяженность штреков в шахтном поле. Кроме того, с увеличением глубины разработки и длины лавы способ охраны штреков с одной стороны массивом или целиками угля, с другой бутовой полосой экономически нецелесообразен. В глубоких шахтах (свыше 500—600 м) все большее распространение получает способ проведения штреков вслед за подвиганием лавы с охраной их двусторонними бутовыми полосами. Затраты на поддержание штреков при этом снижаются в 2—3 раза по сравнению с затратами на проведение штрека узким забоем впереди лавы [8]. В настоящее время способ проведения штреков широким забоем вслед за лавой является одним из основных направлений охраны пластовых подготовительных выработок на больших глубинах.

Для выяснения степени влияния длины лавы на характер проявления горного давления и стоимость поддержания штреков, пройденных вслед за лавой при сплошной системе, были проанализированы данные практики по поддержанию штреков по пласту  $k_8$  на шахте "Трудовская", где длина лав изменялась от 140 до 400 м.

В течение трех лет по пикетам производился сбор данных о расходах (по прямой заработной плате) и объемах работ по перекреплению и подрывке почвы в конвейерных штреках лав длиной 360—400, 200—220 и 140—180 м. Штреки, проходившиеся вслед за лавами с подрывкой почвы пласта, имели площадь сечения в свету  $8,5 \text{ м}^3$  и крепились металлическими трехзвенными арками, устанавливавшимися через 0,8 м. Со стороны восстания каждый из них охранялся бутовой полосой шириной 8 м. Ширина бутовой полосы со стороны падения достигала 14—24 м. Глубина расположения штреков от поверхности составляла 550—600 м. Скорость подвигания лав колебалась в пределах 50—80 м/мес. Межэтажные целики угля имели ширину 90—140 м.

В рассматриваемых условиях действие большинства факторов, оказывающих влияние на уровень стоимости поддержания конвейерных штреков, одинаково. Исключение составляет один производственно-технический фактор — длина лавы.

Изменение общих затрат по прямой заработной плате на перекрепление и подрывку почвы в штреках в зависимости от их длины характеризуется графиком (рис. 5.7). Несмотря на увеличение длины лавы в 2,4 раза, затраты на перекрепление штреков практически не изменяются (разница 0—10 %). Затраты минимальны при максимальной длине лавы. Затраты на подрывку почвы с увеличением длины лавы возрастают более существенно: на 8—36 и 24—70 % при росте длины лав соответственно

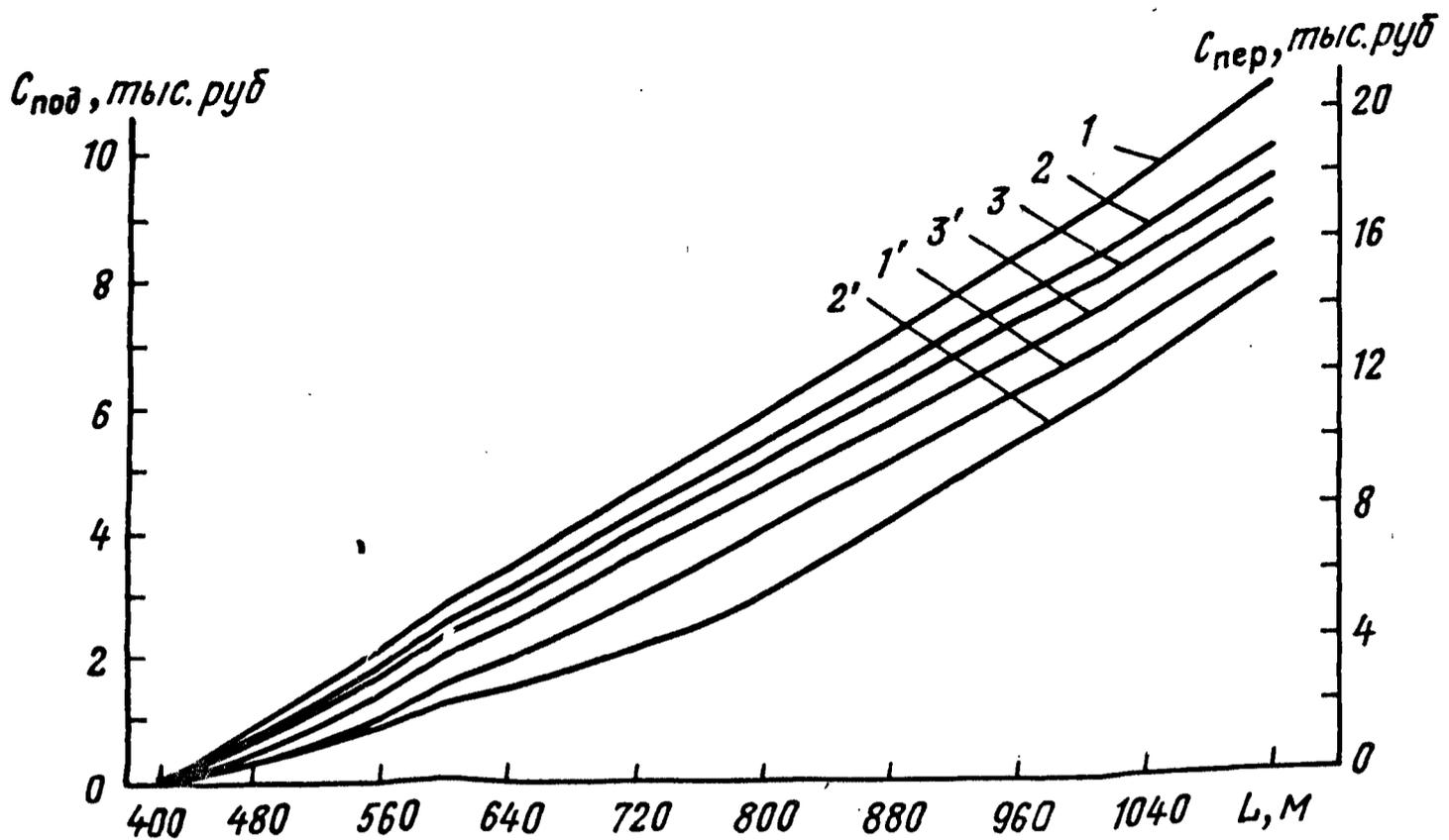


Рис. 5.7. График зависимости общих затрат по прямой заработной плате на перекрепление  $C_{пер}$  (1, 2, 3) и подрывку почвы  $C_{под}$  (1', 2', 3') от длины штреков  $L$ :

1, 1' — при длине лавы 200–220 м; 2, 2' — 140–180 м; 3, 3' — 360–400 м

в 1,3 и 2,4 раза. По отношению к затратам на перекрепление штреков расходы на подрывку почвы при средних длинах лав 160 и 210 м составляют 17–38 %, а при длине лавы 380 м достигают 35–50 %. Следовательно, при проведении штреков с двусторонней раскоской вслед за очистным забоем увеличение длины лавы приводит к повышению горного давления на штреки, проявляющегося в виде пучения почвы. При этом деформации крепи в штреках и затраты на ее ремонт не зависят от длины лавы.

Указанное явление обусловлено характером сдвижения толщи пород над выработанным пространством лавы. После выемки угля над очистной выработкой образуется свод сдвижения. Форма и размеры его определяются в основном площадью выработанного пространства и структурным строением толщи пород, залегающих между пластом и земной поверхностью. Высота свода примерно равна длине лавы. В любой вертикальной плоскости, проходящей через очистную выработку, наблюдается сводообразный характер сдвижения толщи пород [36]. На разрезе вкрест простирания отслоение и оседание пород в пределах свода происходит под углом полного обрушения равным  $70^\circ$ . Давление со стороны кровли на крепь штрека и бутовые полосы, а также на почву пласта определяется весом отслоившихся пород, заключенных между плоскостью пласта и образующей

свода сдвижений. Высота столба пород над штреком не зависит от длины лавы. В конкретных условиях она увеличивается или уменьшается с изменением угла полного обрушения и места расположения штрека относительно границы очистных работ по падению. Этим и объясняется постоянство затрат на ремонт крепи в штреках при различной длине лавы, если штреки заложены примерно на одинаковом расстоянии от кромки массива угля по падению. Основным направлением снижения затрат на ремонт крепи в штреках при проведении их вслед за лавой является применение крепей с достаточной податливостью (не менее 50 % мощности пласта).

Пучение почвы в штреках — результат выдавливания горных пород под влиянием опорного давления, действующего на массив угля со стороны падения. При относительном постоянстве глубины разработки и литологического состава толщи пород опорное давление с увеличением длины лавы возрастает. Если в почве пласта залегают породы, склонные к пластическим деформациям, то интенсивность их выдавливания пропорциональна испытываемому опорному давлению. Поэтому затраты на подрывку почвы в штреках изменяются в зависимости от длины лавы. Для их снижения штреки следует проходить с оптимальной шириной раскоски.

## 5.6. Влияние разработки смежного горизонта

На практике часто одновременно разрабатывают два этажа (яруса) или начинают очистные работы в нижнем этаже до окончания отработки верхнего. Ведение очистных работ в нижнем этаже приводит к изменению условий охраны штрека верхнего этажа. Оставление межэтажных или межъярусных целиков угля, имеющих, как правило, небольшие размеры, не в состоянии изменить общего характера сдвижения толщи горных пород над очистной выработкой. В результате штрек верхней лавы отодвигается от кромки массива угля на расстояние, равное длине смежной лавы. Над ним растет суммарная мощность отслоившихся пород кровли, что приводит к увеличению давления на околоштрековые бутовые полосы и, как следствие, к повышению затрат на поддержание откаточных штреков верхних этажей (ярусов).

Это положение было подтверждено натурными наблюдениями в откаточном штреке 91-й восточной лавы по пласту  $k_8$  на шахте "Лидиевка". Лава длиной 240—250 м отрабатывалась на глубине 600 м. Откаточный и два вентиляционных (верхний и

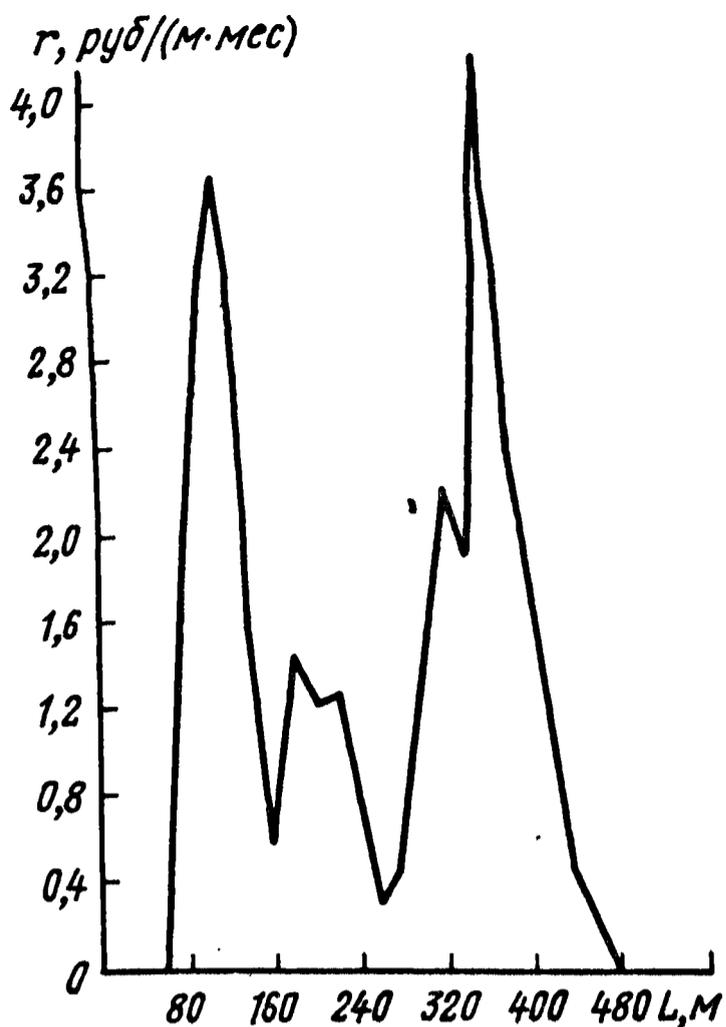


Рис. 5.8. График зависимости удельных затрат  $r$  на перекрепление 91-го восточного откаточного штрека от расстояния  $L$  до проекции положения забоя 93-й восточной лавы

нижний) штреки проводили вслед за лавой и охраняли бутовыми полосами. Откаточный штрек располагался посередине лавы. В зоне установившегося горного давления штрек находился в удовлетворительном состоянии и не требовал ремонта. Когда 91-я восточная лава отошла от разрезной печи примерно на 500 м, была начата очистная выемка в смежной

93-й восточной лаве длиной 180–200 м. Между лавами был оставлен целик угля шириной от 15 до 30 м. Ведение очистных работ в 93-й восточной лаве привело к ухудшению состояния 91-го восточного откаточного штрека. При этом место проведения ремонтных работ перемещалось по штреку по мере продвижения 93-й восточной лавы.

В рассматриваемых условиях отработку вели при полной подработке земной поверхности. Если в период отработки 91-й восточной лавы давление на бутовые полосы у откаточного штрека определялось весом столба обрушенных пород высотой  $h_1$ , то после ввода в действие 93-й восточной лавы оно возросло в связи с увеличением высоты столба обрушенных пород на  $h_2 = 240$  м. Общая высота обрушенных пород достигла глубины заложения штрека. Напряжения в штрековых бутовых полосах возросли с  $\gamma h_1$  до  $\gamma H$ , или на 6 МПа. Естественно, что это не могло не сказаться на состоянии 91-го восточного откаточного штрека.

Для установления влияния 93-й восточной лавы на его состояние в нем был произведен поикетный учет ремонтных работ в течение 15 мес. На рис. 5.8 приведен график затрат на поддержание 1 м 91-го восточного откаточного штрека в месяц на различном расстоянии от проекции забоя 93-й восточной лавы. Влияние работ в ней сказывалось на состоянии 91-го восточного от-

каточного штрека на расстоянии 80—480 м за ее забоем. За пределами этого расстояния расходы отсутствовали, что свидетельствовало об окончании процесса сдвижения горных пород над 93-й восточной лавой.

### 5.7. Влияние ширины межъярусных целиков

Разработка пласта  $k_8$  сплошной системой осуществляется, как правило, с оставлением межъярусных целиков угля. Вентиляционные штреки при этом на всем протяжении охраняются с верхней стороны целиками угля, с нижней — бутовыми полосами. Такой способ их охраны не обеспечивает устойчивости штреков, приводя к тому же к значительным потерям угля.

Для определения влияния ширины межъярусного целика на устойчивость вентиляционного штрека были собраны по пикетные затраты на перекрепление четырех штреков по пласту  $k_8$  на шахте "Лидиевка" ПО "Донецкуголь".

По длине вентиляционные штреки были разделены на отдельные участки (пикеты) с различной шириной оставленного над ними целика. Расходы по пикетам с одинаковой шириной целика были собраны в отдельные группы. Обработка данных методом корреляционного анализа показала, что между стоимостью поддержания 1 м штрека в месяц по полной заработной плате (руб.) и шириной целика существует достоверная связь (корреляционное отношение 0,475, достоверность корреляционного отношения 4,43), которая выражается следующим уравнением регрессии:

$$r = 0,000165 /_{ц}^3 - 0,022 /_{ц}^2 + 0,815 /_{ц} - 2,5, \quad (5.12)$$

где  $l_{ц}$  — ширина целика над штреком, м ( $0 \geq l_{ц} \leq 38$ ).

При ширине надштрекового целика менее 3 м расходы на поддержание отсутствуют. С увеличением ширины целика более 3 м они растут, достигая максимума при  $l_{ц} = 25-28$  м. При дальнейшем увеличении ширины целика наблюдается снижение стоимости поддержания штреков. Однако даже при ширине целика 36 м стоимость их поддержания в 6 раз больше, чем при ширине 5 м. Это означает, что при сплошной системе необходимо вести разработку пласта  $k_8$  без оставления целиков или размер их не должен превышать 2—5 м.

При таких их размерах целики раздавливаются позади очистного забоя и не препятствуют опусканию подработанного массива пород кровли. В результате отсутствует зона повышенного горного давления. Это подтверждается инструментальными

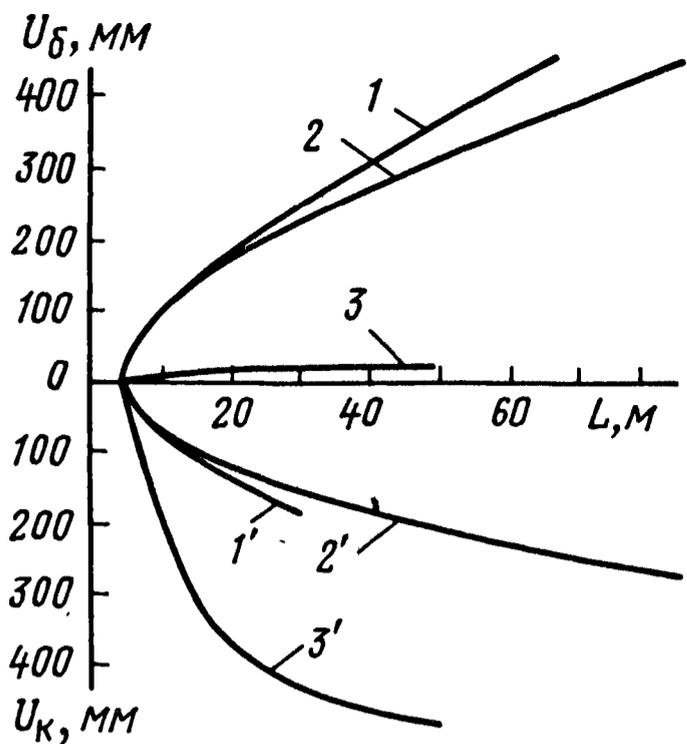


Рис. 5.9. График зависимости опускания кровли  $U_k$  (1', 2', 3') и сближения боков  $U_b$  (1, 2, 3) 91-го западного вентиляционного штрека от расстояния до лавы  $L$ : 1, 1' — при ширине надштрекового целика 21 м; 2, 2' — то же 15 м; 3, 3' — при отсутствии надштрекового целика

наблюдениями, проведенными в вентиляционном штреке 91-й западной лавы по пласту  $k_8$  на шахте "Лидиевка".

Из графика (рис. 5.9) изме-

нения опускания кровли и сближения боковых выработок в зависимости от расстояния до очистного забоя видно, что на участке штрека, над которым нет межъярусного целика, происходит интенсивное опускание пород кровли вслед за продвижением очистного забоя (кривая 3). На расстоянии 80–90 м от забоя лавы опускание кровли достигает 480 мм, оставаясь в дальнейшем практически неизменным. Сближение блоков выработки на расстоянии 90 м от лавы составляет 15–20 мм.

Иная картина наблюдается на участках штрека, над которыми оставлены целики (кривые 1 и 2). Опускание пород кровли штрека уменьшается. Так, на расстоянии 90 м от лавы опускание кровли равно 200 мм. Зависание толщи пород над целиком создает в нем высокую концентрацию напряжений, результатом которой является незатухающее сближение боков выработки (кривые 1 и 2). На расстоянии 100 м от лавы оно достигает 320–370 мм, что в 16–20 раз больше сближения боков штрека при отсутствии над ним целика.

Следовательно, оставление межъярусных целиков большой ширины не оправдано, так как оно не способствует повышению устойчивости вентиляционных штреков и ведет к росту эксплуатационных потерь угля. На глубоких горизонтах штреки целесообразнее охранять двусторонними бутовыми полосами при бесцеликовой выемке. Об эффективности такого способа охраны можно судить по опыту поддержания вентиляционных штреков по пласту  $h_7$  на шахте "Петровская". При отработке 57-й западной лавы в качестве вентиляционного штрека использовался бывший откаточный штрек 55-й лавы, который восстанавливали площадью сечения в свету  $6,5 м^2$  вслед за продвижением 57-й западной лавы. Аналогичным образом поддерживали венти-

ляционный штрек 71-й западной лавы (бывший откаточный штрек 59-й западной лавы). Несмотря на большую глубину заложения указанных вентиляционных штреков (соответственно 750 и 838 м), затраты на их поддержание были незначительны.

### 5.8. Устойчивость штреков при различных способах их охраны

Влияние способов охраны на устойчивость штреков рассмотрено для условий разработки пласта  $1/4$  на шахтах им. Челюскинцев, "Трудовская" и им. Абакумова ПО "Донецкуголь". Отобранные для исследования штреки были закреплены металлической арочной крепью и отличались лишь способом охраны (табл. 5.4). Площадь их сечения в свету была равна  $8,5 \text{ м}^2$  для пластовых и  $11 \text{ м}^2$  для полевых. Различие в глубине заложения этих

Таблица 5.4

Штрек	Глубина заложения, м	Порядок обработки выемочного участка	Способ охраны со стороны	
			восстания	падения
56-й конвейерный	362	Обратный	Массив угля	Массив угля
57-й конвейерный	362	"	"	"
54-откаточный	326	"	"	"
32-й откаточный	510	"	"	"
33-й восточный откаточный	510	Прямой	Целик угля	"
33-й восточный вентиляционный	465	"	"	Бутовая полоса
32-й западный вентиляционный	465	Обратный	"	Массив угля
30-й западный откаточный	455	Прямой	"	Целик угля
12-й восточный вентиляционный	630	Обратный	Бутовая полоса	Бутовая полоса
12-бис восточный вентиляционный	630	"	То же	То же
Западный полевой откаточный	493	Прямой	Полевой, под выработанным пространством пласта	
Западный полевой откаточный	557	"	То же	
Восточный полевой откаточный	557	"	"	

штреков была учтена коэффициентом влияния глубины разработки. Сравнение устойчивости штреков произведено посредством сопоставления расходов на поддержание 1 м штреков в месяц по прямой заработной плате за перекрепление.

По способу охраны штреки разделены на шесть групп:

первую, включавшую выработки с охраной "массив угля—массив угля" (56-й и 57-й конвейерные и 54-й и 32-й откаточные штреки);

вторую — выработки с охраной "целик и выработанное пространство — массив угля" (33-й восточный откаточный и 32-й западный вентиляционный штреки);

третью — выработки с охраной "целик угля и выработанное пространство — бутовая полоса и выработанное пространство" (33-й восточный вентиляционный штрек);

четвертую — выработки с охраной "бутовая полоса и массив угля — бутовая полоса и выработанное пространство" (12-й и 12-бис восточные вентиляционные штреки);

пятую — выработки с охраной двусторонними целиками угля и выработанным пространством (30-й западный откаточный штрек);

шестую — полевые выработки.

Графики зависимости расходов на поддержание 1 м штреков первых четырех групп от их средней длины приведены на рис. 5.10.

В первую группу вошли штреки, которые пройдены в массиве угля для отработки лав в обратном порядке от границ панели с погашением выработок вслед за лавой. В свою очередь, они были разделены на две подгруппы, в первой из которых штреки погашали сразу же после прохода лавы и над ними не оставляли целики угля (56-й и 57-й конвейерные штреки), а во второй погашение штреков производилось на расстоянии 40—60 м от лавы при оставлении целиков шириной 15—35 м (54-й и 32-й откаточные штреки). Как видно из графика (рис. 5.10, б), увеличение средней длины поддерживаемых выработок первой группы с 350 до 800 м сопровождалось снижением расходов на поддержание 1 м штреков.

Устойчивость штреков второй группы рассмотрена на примере поддержания 33-го восточного откаточного штрека на шахте им. Челюскинцев. Несмотря на то что над ним был оставлен целик угля шириной 35—45 м, он требовал большого объема работ по перекреплению (рис. 5.10, а). В отличие от штреков предыдущей группы увеличение его длины приводило не к уменьшению, а к увеличению расходов на поддержание 1 м

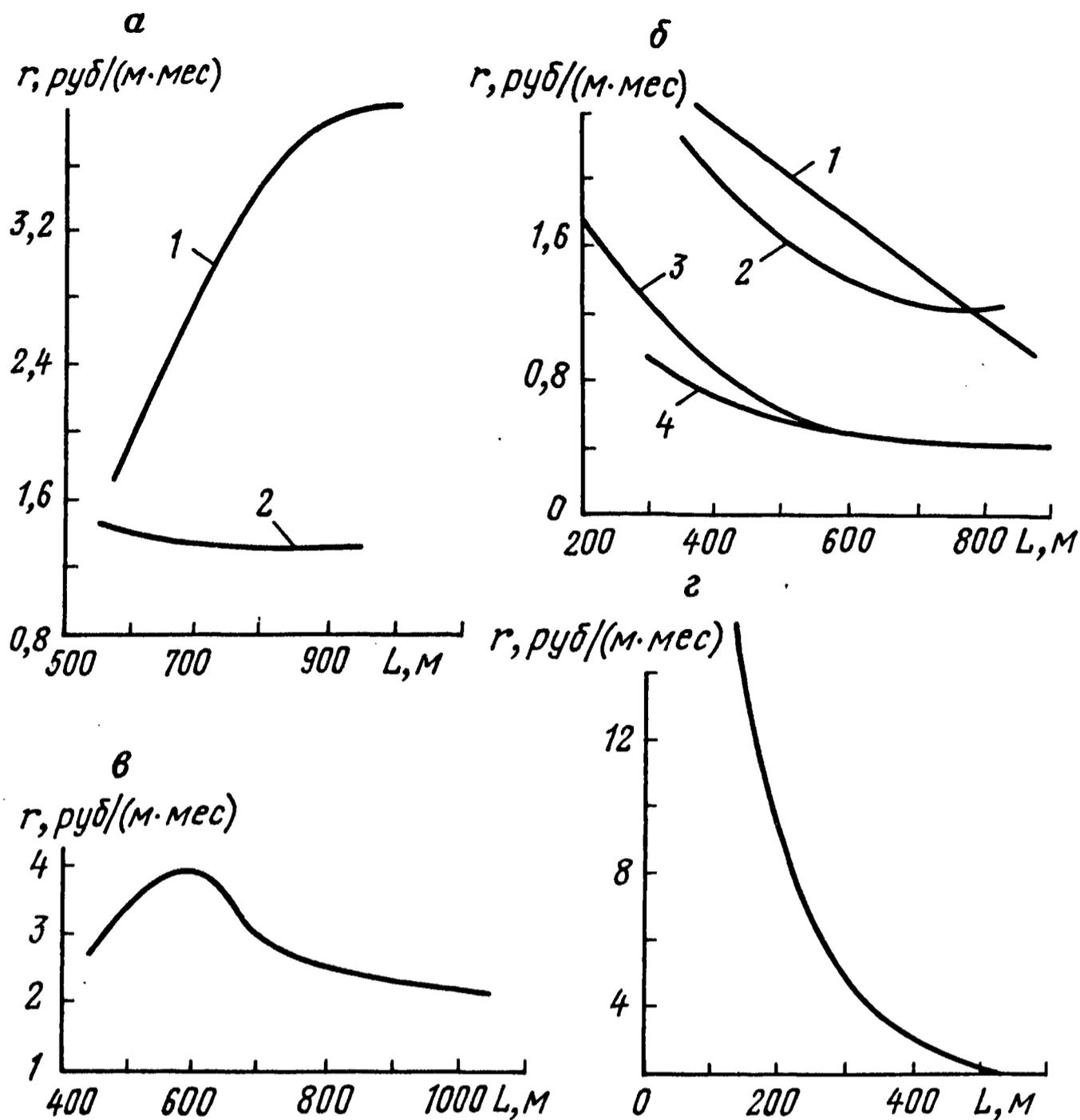


Рис. 5.10. Графики зависимости удельных расходов  $r$  на поддержание штреков по пласту  $1_4$  от их средней длины  $L$ :

*а* — 33-го восточного (1) и 32-го западного (2) вентиляционных штреков; *б* — 32-го (1), 54-го (2), 56-го (3) и 57-го (4) откаточных штреков; *в* — 33-го восточного вентиляционного штрека; *г* — 12-го восточного вентиляционного штрека

выработки. При изменении его длины от 600 до 1000 м стоимость поддержания 1 м растет в два раза. Затраты на подрывку почвы составляют 12–25 % общих расходов на поддержание.

По способу охраны 32-й западный вентиляционный штрек включен во вторую группу. Однако в связи с оставлением над ним целика угля шириной 100 м охрана его почти не отличается от условий охраны штреков в массиве угля. Затраты на поддержание этого штрека соответствуют расходам по штрекам первой группы. Вместе с тем очевидна нецелесообразность достижения устойчивости выработок ценой столь больших потерь угля.

Вентиляционный штрек 33-й восточной лавы на шахте им. Челюскинцев по условиям охраны отнесен к третьей группе. При отработке лавы в прямом порядке он охранялся на всем протяжении с верхней стороны целиком угля шириной 55—75 м, с нижней — бутовой полосой шириной 10—12 м. С ростом длины штрека до 550 м суммарные затраты достигают максимума, а затем уменьшаются, оставаясь, однако, высокими даже при длине выработки 1000 м. Затраты на подрывку почвы штрека составляют примерно 30 % общих затрат на поддержание.

На шахте им. Абакумова 12-й и 12-бис восточные вентиляционные штреки, отнесенные к четвертой группе, проводили вслед за лавой и охраняли с верхней стороны бутовой полосой шириной 10—15 м и массивом угля, а с нижней — бутовой полосой и выработанным пространством. Затраты на поддержание 1 м штреков с изменением их средней длины от 100 до 500 м уменьшаются в 8 раз, однако и при длине 500 м они остаются высокими (рис. 5.10, з).

Охрана штреков целиками угля с обеих сторон (пятая группа) не обеспечивает устойчивости выработок и приводит к большим затратам на их поддержание. Это подтверждается опытом поддержания 30-го западного откаточного штрека на шахте им. Челюскинцев. Во время отработки 30-й западной лавы над штреком оставляли целик угля шириной 30—60 м, а ниже его при выемке угля в 91-й восточной и 32-й западной лавах — целик шириной 35—50. В течение всего периода наблюдений (два года) штрек сохранялся в целиках угля. Попикетный учет объемов работ по перекреплению и подрывке почвы, а также затрат на поддержание по прямой заработной плате показал, что годовые расходы на перекрепление 1 м штрека составили 15 руб., а на подрывку — 10 руб. На участке штрека, подвергавшемся влиянию очистных работ в 32-й западной лаве, средняя стоимость перекрепления 1 м выработки достигала 40—45 руб/год. Следовательно, защита штреков с двух сторон целиками угля шириной 30—50 м при глубине горных работ более 450 м не обеспечивает достаточной устойчивости выработок и сопряжена с большими затратами на их поддержание. Наибольшие объемы работ по перекреплению наблюдаются на участках штрека, ниже которых год-два назад велись очистные работы. По истечении указанного срока они снижаются в 2—3 раза.

Полевые штреки, отнесенные по способу охраны к шестой группе, находят применение только на шахте "Трудовская" при разработке пласта  $1/4$ . Штреки проводили буровзрывным способом в породах почвы на расстоянии 25—35 м по нормали от

пласта и располагали, как правило, под выработанным пространством лавы.

С ростом средней длины затраты на поддержание и перекрепление полевых штреков увеличиваются. Почву в них подрывали от одного до четырех раз в год. Суммарные расходы на поддержание 1 м выработок составляли 10–50 руб/год. Указанное свидетельствует о том, что уже при глубине разработки 500–550 м достаточная устойчивость полевых выработок, располагаемых в слабых породах почвы, не обеспечивается.

Сопоставление затрат на поддержание 1 м штреков при разных способах их охраны (табл. 5.5) показывает, что на достигнутых глубинах наиболее эффективным способом охраны выработок является расположение их в массиве угля.

Таблица 5.5

Группа охраны	Способ охраны	Расходы на поддержание 1 м штреков (руб/мес) при их длине, м				
		400	500	600	700	800
1	С двух сторон массив угля, штреки погашаются вслед за лавой	1,36	1,08	0,88	0,83	0,75
1а	С двух сторон массив угля, штреки погашаются на расстоянии 40–60 м за лавой	2,21	1,88	1,61	1,41	1,25
2	Целик и выработанное пространство—массив угля	—	—	1,9	2,8	3,46
3	Целик и выработанное пространство—бутовая полоса и выработанное пространство	—	3,9	4,1	3	2,6
4	Бутовая полоса и массив угля—бутовая полоса и выработанное пространство	2,7	2	—	—	—
5	С двух сторон целики угля и выработанное пространство	4,37	4,37	4,37	4,37	4,37

## 5.9. Смещения пород на контуре штреков

Величина смещений пород по контуру выработок была определена инструментальными наблюдениями в вентиляционном и конвейерном штреках 4-й восточной лавы по пласту  $1_4$  на шахте "Трудовская". Штреки пройдены узким забоем с подрывкой пород почвы. Вентиляционный штрек охранялся с одной стороны целиком и выработанным пространством, с другой — массивом угля. Конвейерный штрек располагался в массиве угля. Наблюдательная станция в вентиляционном штреке состояла из 7 секций, в конвейерном — из 6.

Интенсивные смещения кровли, почвы и боков в вентиляционном штреке начинались на расстоянии 140 м от лавы. При этом сближение кровли и почвы вызывалось в основном пучением почвы (рис. 5.11).

Граница зоны влияния опорного давления в конвейерном штреке проходила на расстоянии 100–120 м впереди лавы (рис. 5.12). На одинаковом расстоянии от забоя лавы сближение кровли и почвы почти равнялось сближению боков штрека. Вне зоны влияния очистных работ смещения пород контура конвейерного штрека за время наблюдений не превышало 200–220 мм. Величина пучения почвы и сближения боков штреков находилась в прямой зависимости от времени их поддержания.

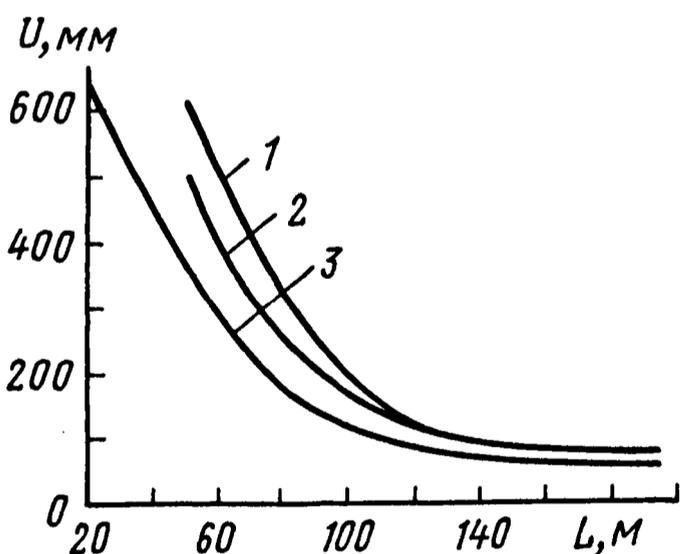


Рис. 5.11. График конвергенции почвы и кровли (1), смещения почвы (2) и сближения боков (3) в вентиляционном штреке 4-й восточной лавы по пласту  $1_4$  в зависимости от расстояния от забоя

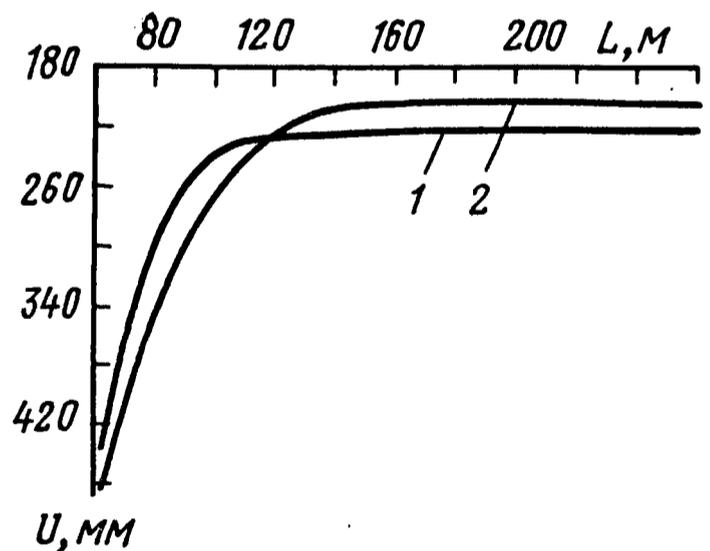


Рис. 5.12. График конвергенции кровли и почвы (1) и выработки (2) в конвейерном штреке 4-й восточной лавы по пласту  $1_4$  в зависимости от расстояния до забоя

## 6. ВЛИЯНИЕ ПОРЯДКА РАЗРАБОТКИ ПЛАСТОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

### 6.1. Влияние нисходящего порядка отработки пластов

Исследования устойчивости штреков по пласту  $k_8$ , проведенных и поддерживаемых в ранее надработанной пластом  $l_4$  толще, проводили на шахте "Трудовская". Штреки, как и при разработке одиночного пласта, проводили широким забоем вслед за лавой и охраняли двусторонними бутовыми полосами. В связи с тем что затраты на поддержание штреков при этом способе охраны в значительной степени зависят от ширины раскоски, устойчивость штреков, поддерживаемых в предварительно надработанной толще, изучали с учетом указанного фактора. Исходным материалом служили попикетные затраты на поддержание штреков.

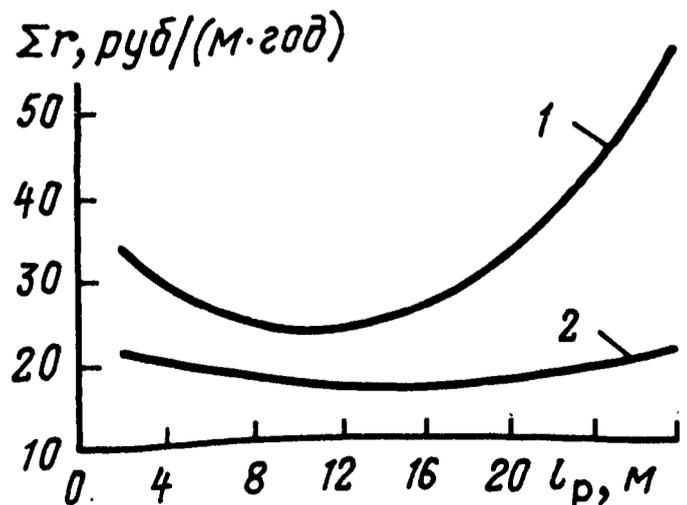
Обработка исходных данных методом корреляционного анализа позволила установить взаимосвязь между суммарными расходами на поддержание 1 м штрека в год  $\Sigma r$  (руб.) и шириной раскоски  $l_p$  (м). Эта взаимосвязь выражается уравнением регрессии (рис. 6.1, кривая 2):

$$\Sigma r = 0,025/l_p^2 - 0,78/l_p + 23,2. \quad (6.1)$$

Ее сопоставление с кривой 1, отображающей зависимость суммарных расходов на поддержание 1 м штрека в год для штреков по пласту  $k_8$ , поддерживаемых в ненадработанной пластом  $l_4$  толще, показывает, что при оптимальной ширине раскоски стоимость поддержания 1 м штреков, пройденных по пласту  $k_8$  после его надработки пластом  $l_4$ , в 1,5 раза меньше, чем без надработки. С увеличением ширины раскоски разница в стоимости поддержания увеличивается за счет более интенсивного роста расходов на поддержание штреков, проведенных по ненадработанному пласту.

Рис. 6.1. График зависимости суммарных расходов  $r$  на поддержание 1 м штрека в зависимости от ширины раскоски  $l_p$ :

1 и 2 — расположенного соответственно под угольным массивом и под выработанным пространством



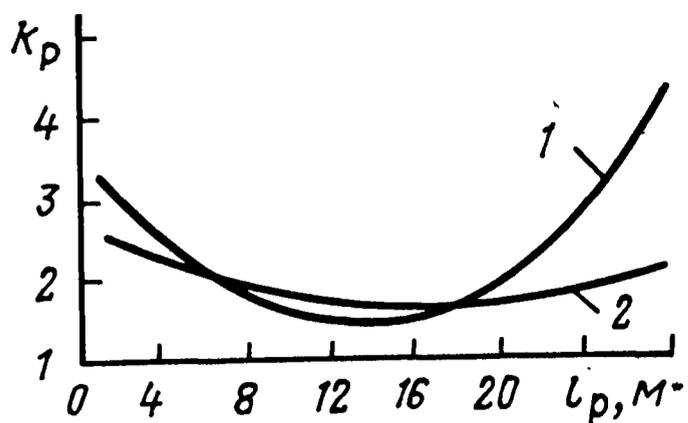


Рис. 6.2. График зависимости частоты перекрепления 1 м штрека  $k_p$  от ширины раскоски  $l_p$ :  
1 и 2 — расположенного соответственно по угольным массивам и под выработанным пространством

Корреляционным анализом установлена следующая зависимость между частотой перекрепления 1 м штреков по пласту  $k_8$  в год, поддерживаемых под ранее отработанным пластом  $l_4$ , и шириной раскоски:

$$k_p = 0,004 e_p^2 - 0,13 l_p + 2,7. \quad (6.2)$$

На графике (рис. 6.2) отражена эта зависимость для штреков по пласту  $k_8$  при восходящем и нисходящем порядках отработки пластов (соответственно кривые 1 и 2).

Кратность перекрепления по обеим группам штреков отличается незначительно при изменении ширины раскоски от 0 до 16–18 м. При дальнейшем ее увеличении объемы перекрепления штреков, проведенных по пласту  $k_8$  без предварительной наработки пластом  $l_4$ , резко возрастают. При ширине раскоски 26–28 м они в два раза превышают объемы перекрепления штреков, проведенных по пласту  $k_8$  в наработанной пластом  $l_4$  толще. Затраты на перекрепление и подрывку почвы штреков при нисходящем и восходящем порядках разработки характеризуются данными табл. 6.1.

При опережающей выемке пласта  $l_4$  доля затрат на подрывку почвы штреков по пласту  $k_8$  составляет 11–20 % суммарных затрат, а в условиях без наработки — 30–46 %.

Анализ показывает, что расходы на перекрепление штреков практически не зависят от порядка отработки пластов (при ширине раскоски 4–16 м). Суммарные же расходы при восходящем порядке разработки в 1,3–2,7 раза больше за счет высоких затрат на подрывку почвы.

О проявлении горного давления в выработках, пройденных по предварительно наработанным пластам, можно судить по результатам инструментальных наблюдений, которые проведены в выработках по пласту  $k_5$ , наработанному очистными работами по пласту  $k_7$  на шахтах ПО "Донбассантрацит" [44]. Эти пласты расположены на расстоянии 100 м один от другого по нормали. На первом из них применяется столбовая система разработки, на втором — сплошная. Глубина горных работ

Таблица 6.1

Выполняемые работы	Затраты по прямой заработной плате на поддержание штреков по пласту $k_8$ [руб/ (м · год) ] при ширине раскоски, м						
	4	8	12	16	20	24	28
<i>Восходящий порядок отработки</i>							
Перекрепление	21,8	16,6	13,1	17,6	17,5	24	36,3
Подрывка почвы	8,2	7,4	9,4	11,4	15	18	20
Итого	30	24	22,5	25	32,5	42	56,3
<i>Нисходящий порядок отработки</i>							
Перекрепление	19,7	16	14,5	13,6	14	14,9	17
Подрывка почвы	0,3	2	3	3,4	3,5	3,1	4
Итого	20	18	17,5	17	17,5	17	21

соответственно равна 360–500 и 260–400 м. Общая мощность пласта  $k_5$  составляет 2,2 м, пласта  $k_7$  – 0,8–0,9 м. Угол их падения 9–15°. Непосредственная кровля пластов представлена аргиллитами мощностью 8–20 м, выше которых залегают песчаники. Основные штреки по пласту  $k_5$  крепят металлом, промежуточные – деревянными рамами. Штреки поддерживают только впереди очистных работ. Наблюдения показали, что при разработке пласта  $k_5$  под выработанным пространством пласта  $k_7$  размер зоны опорного давления у границ очистных работ уменьшается в 2 раза, а сближение кровли и почвы и боков выработок – соответственно в 9,6 и 2,1 раза по сравнению с разработкой одиночного пласта.

## 6.2. Влияние восходящего порядка отработки пластов

Влияние порядка отработки пластов  $k_8$  и  $l_4$  на устойчивость выработок по пласту  $l_4$  может быть установлено путем сравнения расходов на поддержание или величин деформаций контура выработок. Сравнимые выработки при этом должны охраняться в одинаковых горно-геологических условиях и отличаться тем, что одни проведены и поддерживаются в ранее подработанной толще, а другие – в неподработанной. Этим требова-

ниям отвечают условия поддержания вентиляционных штреков 3-й западной и 4-й восточной лав и конвейерного штрека 141-й лавы по пласту  $l_4$  на шахте "Трудовская".

Вентиляционный штрек 3-й западной лавы проведен узким забоем площадью сечения в свету  $7,5 \text{ м}^2$  и закреплен металлической арочной податливой крепью, установленной через  $0,8 \text{ м}$ . С верхней стороны он охраняется целиком углем шириной  $40\text{--}45 \text{ м}$ , с нижней — массивом угля. Штрек проведен на глубине  $465 \text{ м}$  и поддерживается в подработанной пластом  $k_8$  толще. С момента подработки этого участка очистными работами по пласту  $k_8$  и пуском в эксплуатацию 3-й прошло  $27 \text{ мес}$ . В связи с погашением вентиляционного штрека после прохода лавы инструментальные наблюдения вели только в опережающей очистной забой части выработки.

Вентиляционный штрек 4-й восточной лавы проведен на глубине  $465 \text{ м}$  площадью сечения в свету  $7,5 \text{ м}^2$ . Над штреком оставлен целик угля шириной  $40\text{--}45 \text{ м}$ , выше которого располагалось выработанное пространство.

Основное отличие в условиях поддержания указанных штреков заключалось в наличии подработки нижележащим пластом  $k_8$  одного из них (3-го западного) и отсутствии подработки другого (4-го восточного).

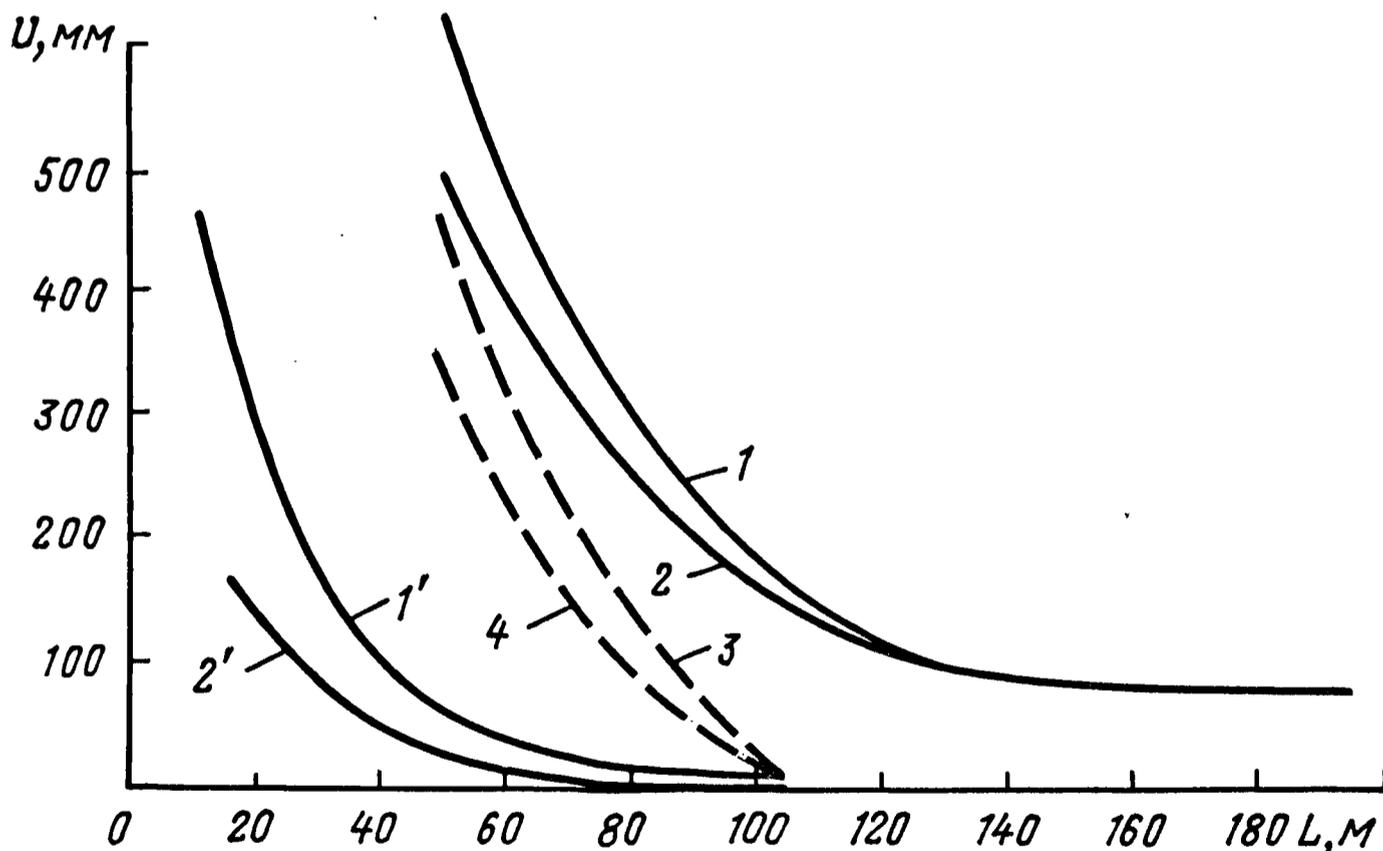


Рис. 6.3. График смещений кровли и почвы в 4-м восточном (1, 2, 3, 4) и 3-м западном (1', 2') вентиляционных штреках в зависимости от расстояния до лавы:

1, 1' — конвергенция; 2, 2' — пучение почвы; 3, 4 — соответственно конвергенция и пучение почвы с расстояния до забоя  $105 \text{ м}$

Замеры смещения кровли и почвы вентиляционных штреков под влиянием очистных работ в 3-й западной и 4-й восточной лавах проводили на специально заложенных наблюдательных станциях. Результаты замеров величин смещения пород контура штреков на различном расстоянии от забоя лавы приведены на рис. 6.3.

Кровля и почва начинали интенсивно сближаться в 4-м восточном вентиляционном штреке на расстоянии 100–120 м от забоя лавы, а в 3-м западном — на расстоянии 50–55 м. Указанные расстояния являются границами зоны влияния опорного давления, развивающегося впереди. Следовательно, размер зоны влияния опорного давления в подработанной толще в два раза меньше, чем в неподработанной.

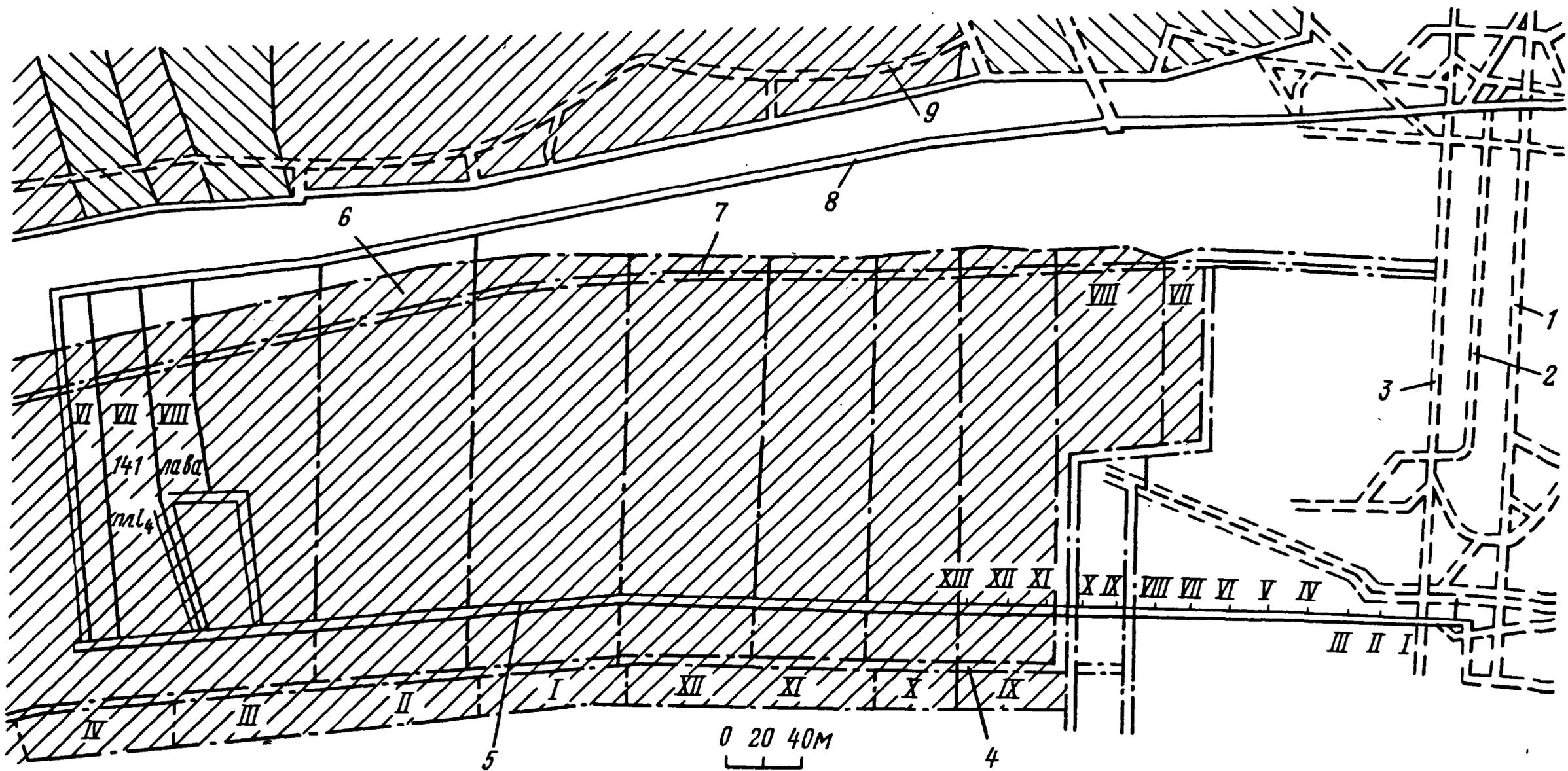
Из приведенных в табл. 6.2 данных видно, что на одних и тех же расстояниях от лавы в штреке, поддерживаемом в неподработанной толще, сближение кровли и почвы и боков выработок в 8–10 раз, а пучение почвы в 20 раз больше, чем в штреке, находившемся в подработанной толще.

Это свидетельствует о том, что восходящий порядок разработки пластов в свите уменьшает напряженное состояние вышележащих пород, снижает проявление горного давления в подготовительных выработках по пласту  $l_4$  и создает более благоприятные условия для его последующей выемки.

Таблица 6.2

Деформация выработки	Смещение пород контура штреков (мм) на расстоянии от лавы, м							
	90	80	70	60	50	40	30	20
Сближение кровли и почвы	80	150	245	340	450	—	—	—
В том числе пучение почвы	10	15	25	38	55	—	—	—
Сближение боков	55	100	160	235	350	—	—	—
	—	—	5	10	20	—	—	—
	—	65	120	180	260	350	440	540
		12	15	20	30	55	90	150

Примечание. В числителе приведены данные по 4-му восточному вентиляционному штреку, в знаменателе — по 3-му западному вентиляционному.



**Рис. 6.4. Выкопировка из плана горных работ по пластам  $l_4$  и  $k_8$  на шахте "Трудовская":**

1 — транспортный полевой уклон; 2 — центральный квершлаг гор. 570 м; 3 — центральный полевой уклон; 4 и 7 — соответственно конвейерный и вентиляционный штреки 4-й восточной лавы по пласту  $k_8$ ; 5 и 8 — соответственно конвейерный и вентиляционный штреки 141-й лавы по пласту  $l_4$ ; 6 — выемочный столб 4-й восточной лавы по пласту  $k_8$ ; 9 — восточный полевой откаточный штрек гор. 557 м; I—XIII — секции наблюдательной станции

Примером положительного влияния восходящего порядка разработки пластов  $k_8$  и  $l_4$  на состояние подготовительных выработок по пласту  $l_4$  может служить поддержание конвейерного штрека 141-й восточной лавы на шахте "Трудовская". Первые 200 м его длины поддерживались на участке, неподработанном пластом  $k_8$ , а остальные 540 м — на подработанном (рис. 6.4).

Штрек площадью сечения в свету  $8,5 \text{ м}^2$  был проведен спустя год после подработки толщи очистными работами по нижнему пласту и закреплен смешанной крепью (металлические верхняки и деревянные стойки). Визуальные наблюдения за состоянием штрека и поикетный учет затрат на его поддержание вели как в период проведения, так и во время эксплуатации. Объем перекрепления штрека на участке, неподработанном пластом  $k_8$ , за 17 мес составил 752 м, а подрывки почвы — 885 м. На подработанном участке штрека ремонт и подрывку почвы не проводили. Штрек сохранил площадь поперечного сечения, заданную ему при проведении. Поломы крепи и деформации в узлах соединений отсутствовали.

### **6.3. Распределение напряжений в массиве при нисходящем и восходящем порядках отработки пластов**

*Методика исследований.* Постановка и проведение натуральных наблюдений за распределением напряжений в толще пород при восходящем и нисходящем порядках отработки пластов — задача практически невозможная. В связи с этим исследование проявлений горного давления при нисходящем и восходящем порядках отработки пластов  $k_8$  и  $l_4$  проводилось на моделях из эквивалентных материалов, на которых можно получить не только качественные, но и количественные характеристики процесса сдвижений в массиве и проявлений горного давления [20, 23, 35].

Изготовление и испытание моделей осуществляли на плоском стенде размером  $3 \times 2, \times 0,2 \text{ м}$ . Из-за сравнительно небольшого размера стенда с учетом поставленных задач масштаб моделирования принят  $1 : 200$ . В двух моделях (№ 7 и 8) воспроизводили геологический разрез толщи пород в пределах поля шахты "Трудовская". Модели закатывали отдельными слоями. Толщину слоя для аргиллитов и алевролитов принимали равной 2 мм, для угольных пластов и песчаников — 5 мм. С целью уменьшения спаянности слоев последние отделяли друг от друга расслоечным материалом, состоявшим из 50 % графита и 50 % мики. Трещиноватость имитировалась путем насечки слоев

тупым ножом из плексигласа с последующей засыпкой образовавшихся следов мелким кварцевым песком и слюдяной пылью и закаткой катком. Выемку угля в пластах производили при помощи специальных обойм и пил, которые одновременно служили крепью для предотвращения обрушения. Напряжения в моделях измеряли пластинчатыми датчиками трения конструкции Н.М. Зори [20].

Отработанные модели отличались между собой только порядком отработки пластов  $k_8$  и  $l_4$ : в модели № 7 был принят нисходящий, в модели № 8 — восходящий порядок. На каждом пласте отработывали по две лавы длиной 120 м каждая. При этом в пласте  $l_4$  оставляли межлавный целик угля шириной 60 м.

Для приведения показаний датчиков к сопоставимому виду в каждой модели определяли относительные изменения распределения напряжений при ведении очистных работ. Показания датчиков в нетронутом массиве принимали за исходные, равные  $\gamma H$ . После отработки каждой лавы рассчитывался коэффициент изменения первоначального напряжения. Сравнением его значений по моделям № 7 и 8 устанавливалось влияние порядка отработки пластов в свите на изменение напряженного состояния массива.

Схемы отработки лав в моделях и графики распределения напряжений в толще пород, определенных по датчикам в почве пласта  $l_4$ , при нисходящем и восходящем породах отработки приведены соответственно на рис. 6.5 и 6.6.

*Нисходящий порядок отработки.* Выемка 1-й лавы по пласту сопровождалась перераспределением горного давления с образованием зон повышенной и пониженной концентрации напряжений. Напряжения на границе очистных работ по восстанию составили  $1,96 \gamma H$ , по падению —  $1,25 \gamma H$ . В выработанном пространстве лавы наблюдалось снижение напряжений до  $(0,16—0,18) \gamma H$  на участках, примыкающих к массиву угля, и до  $0,5 \gamma H$  — посередине лавы.

Выемка 2-й лавы по пласту  $l_4$  привела к некоторому увеличению напряжений по восстанию 1-й лавы (до  $1,99 \gamma H$ ) и перемещению его максимума в сторону массива. Под межлавным целиком концентрация напряжений достигла  $2,67—2,72$ . Напряжения под выработанным пространством 2-й лавы были примерно такими же, как и у 1-й лавы [ $(0,14—0,25) \gamma H$ ].

После выемки 3-й лавы по пласту  $k_8$  несколько увеличилось давление в опорной зоне по восстанию 1-й и падению 2-й лавы в средней части 1-й лавы по пласту  $l_4$ . В связи с частичной подра-

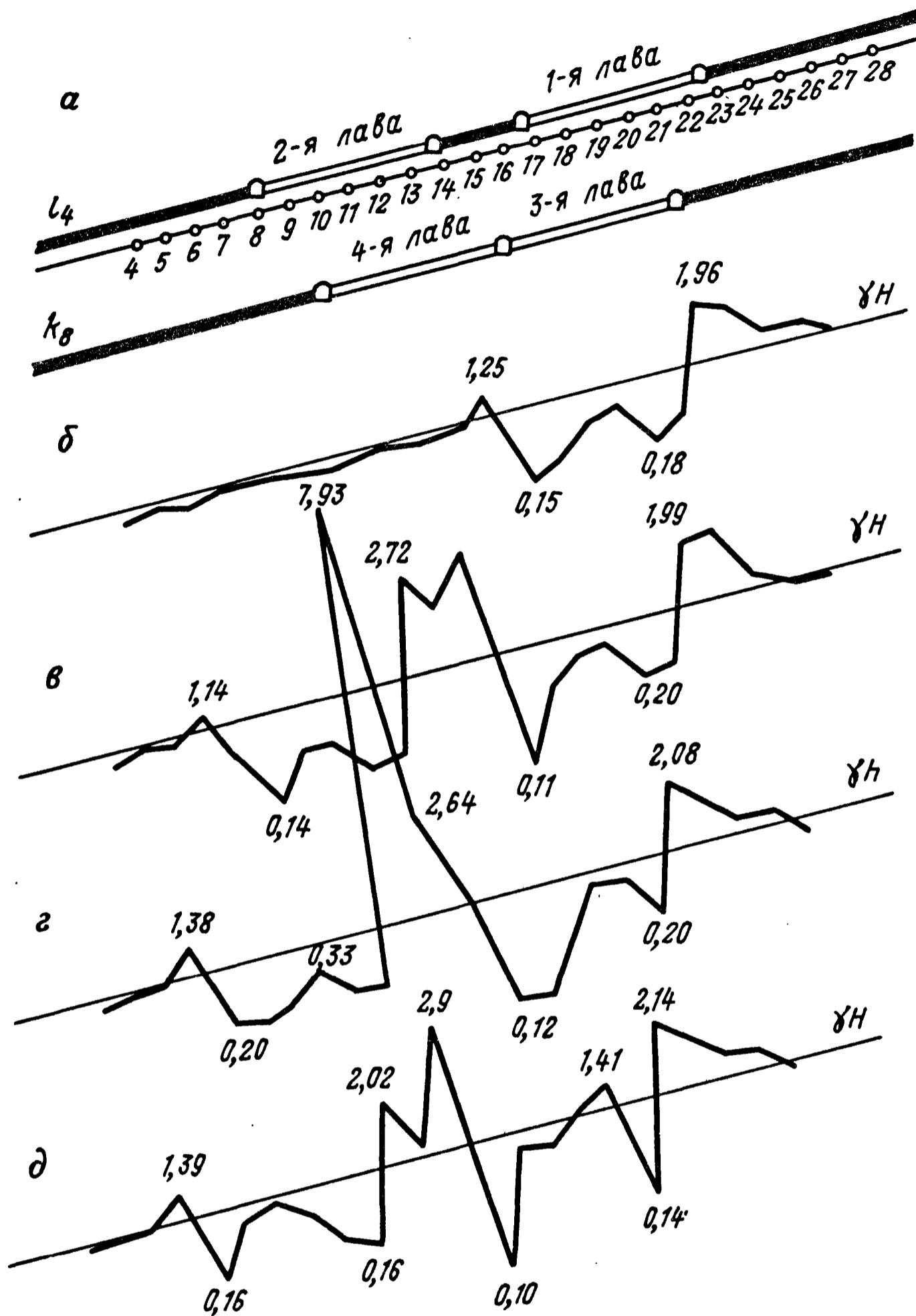


Рис. 6.5. Схема отработки лав в модели (а) и распределение напряжений в почве пласта  $l_4$  при нисходящем порядке отработки пластов  $l_4$  и  $k_8$  после выемки 1-й (б), 2-й (в), 3-й (г) и 4-й (д) лав: 4–28 — номера датчиков давления

боткой целика по пласту  $l_4$  3-й лавой по пласту  $k_8$  концентрация напряжений под целиком возросла до 7,93.

Выемка 4-й лавы по пласту  $k_8$  привела к полной подработке целика. Концентрация напряжений под ним уменьшилась до

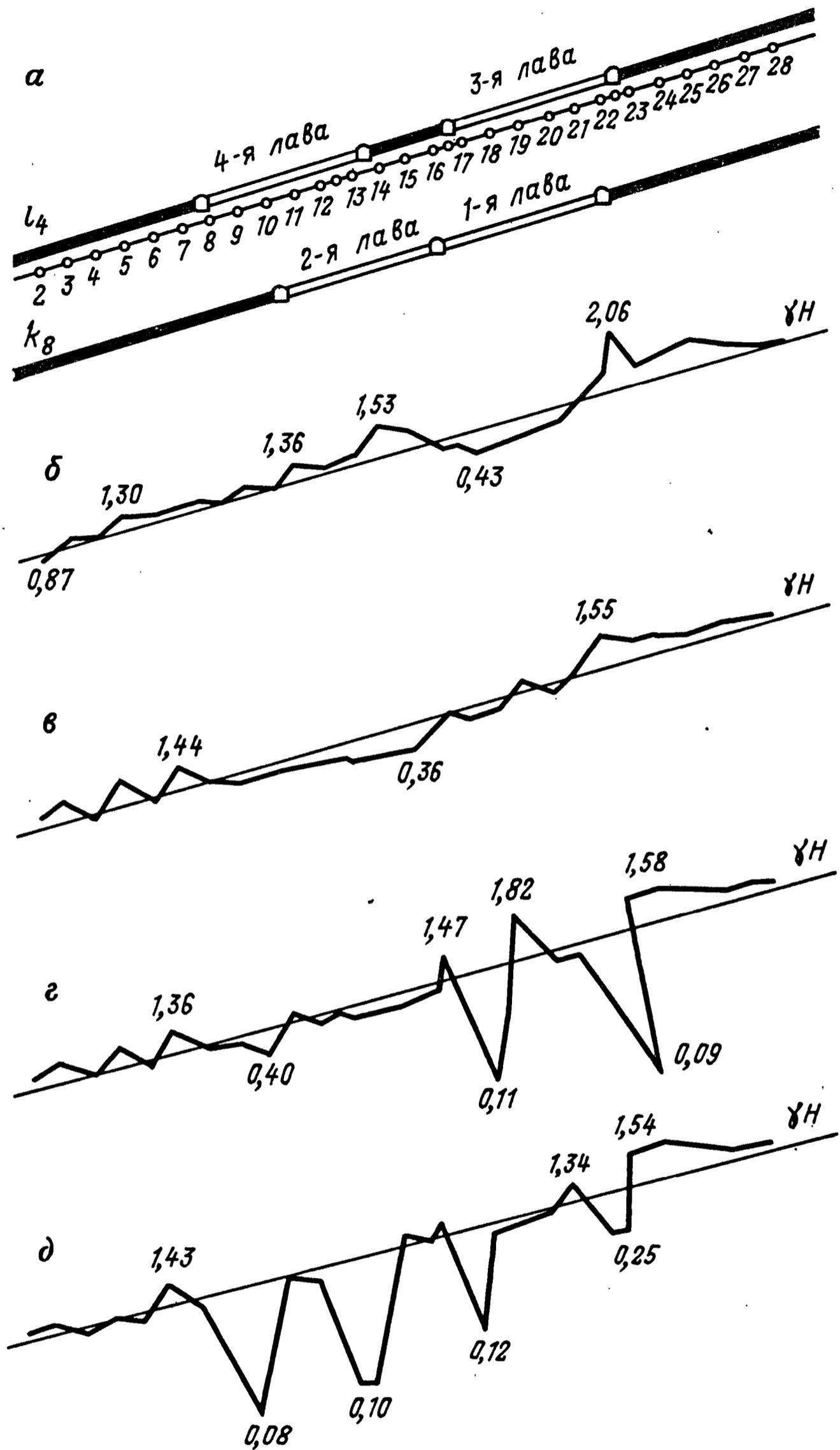


Рис. 6.6. Схема отработки лав модели (а) и распределение напряжений в почве пласта  $l_4$  при восходящем порядке отработки пластов  $k_8$  и  $l_4$  после выемки 1-й (б), 2-й (в), 3-й (г) и 4-й (д) лав: 2–28 — номера датчиков давления

2,0—2,9. Напряжения в средней части выработанного пространства 1-й и 2-й лав по пласту  $l_4$  увеличились, оставшись практически неизменными у границ выработанного пространства  $[(0,1—-0,14) \gamma H]$ .

*Восходящий порядок отработки.* После выемки 1-й лавы по пласту  $k_8$  напряжения в зонах опорного давления достигли  $1,53 \gamma H$  со стороны падения и  $2,06 \gamma H$  со стороны восстания. Под выработанным пространством в средней части лавы напряжения не превышали  $0,43 \gamma H$ .

После выемки 2-й лавы по пласту  $k_8$  напряжения, превышающие  $\gamma H$ , наблюдались только в зонах опорного давления по восстанию 1-й ( $1,55 \gamma H$ ) и падению 2-й ( $1,44 \gamma H$ ) лав. Под выработанным пространством в связи с увеличением пролета подработки и большим опусканием пород напряжения несколько увеличились, но не превысили  $\gamma H$ .

Выемка 3-й лавы привела к некоторому повышению напряжений в зоне опорного давления по восстанию пласта  $l_4$  и напряжений в выработанном пространстве 3-й лавы. Повышенные напряжения ( $1,47 \gamma H$ ) со стороны падения 3-й лавы наблюдались лишь по одному датчику.

После выемки 4-й лавы по пласту  $l_4$  напряжения со стороны восстания 3-й лавы сохранялись прежними ( $1,54 \gamma H$ ), со стороны падения 4-й лавы они составляли  $1,43 \gamma H$ . Концентрация напряжений под целиком по пласту  $l_4$  не превышала 1,15, что в 2,3 раза меньше, чем при нисходящем порядке отработки пластов. На границе очистных работ в выработанном пространстве подработанных лав сохранялись напряжения не более  $0,25 \gamma H$ .

Аналогичные изменения коэффициента концентрации напряжений зафиксированы по показаниям датчиков, расположенных в почве пласта  $k_8$ .

Сопоставление полученных данных показывает, что концентрация напряжений и ширина зоны опорного давления у границ очистных работ по подработанному пласту меньше, чем при разработке обособленного, концентрация напряжений под целиками по верхнему пласту при восходящем порядке отработки пластов уменьшается в 2,3 раза по сравнению с нисходящим.

Следовательно, при разработке свиты пластов и одинаковыми горно-геологическими условиями предпочтение следует отдавать восходящему порядку отработки и вести выемку без оставления целиков угля.



600 мм, из которых 470 мм приходится на опускание кровли, а остальное — на поднятие почвы. Сближение боков выработки не превышает 270 мм. После прохода лавы сближение боков выработки прекращается, что свидетельствует о снижении горного давления на подготовительную выработку.

Если через точку *B* полевого штрека, в которой начинает проявляться заметное влияние надработки, и точку *A*, расположенную на кромке забоя надрабатываемой лавы, провести прямую *AB*, то ее можно считать примерной границей влияния надработки (см. рис. 7.1). Угол между вертикалью *AC*, проведенной через кромку забоя, и линией *AB* — угол влияния надработки. Для условий выемки пласта  $I_4$  он равен  $70^\circ$ .

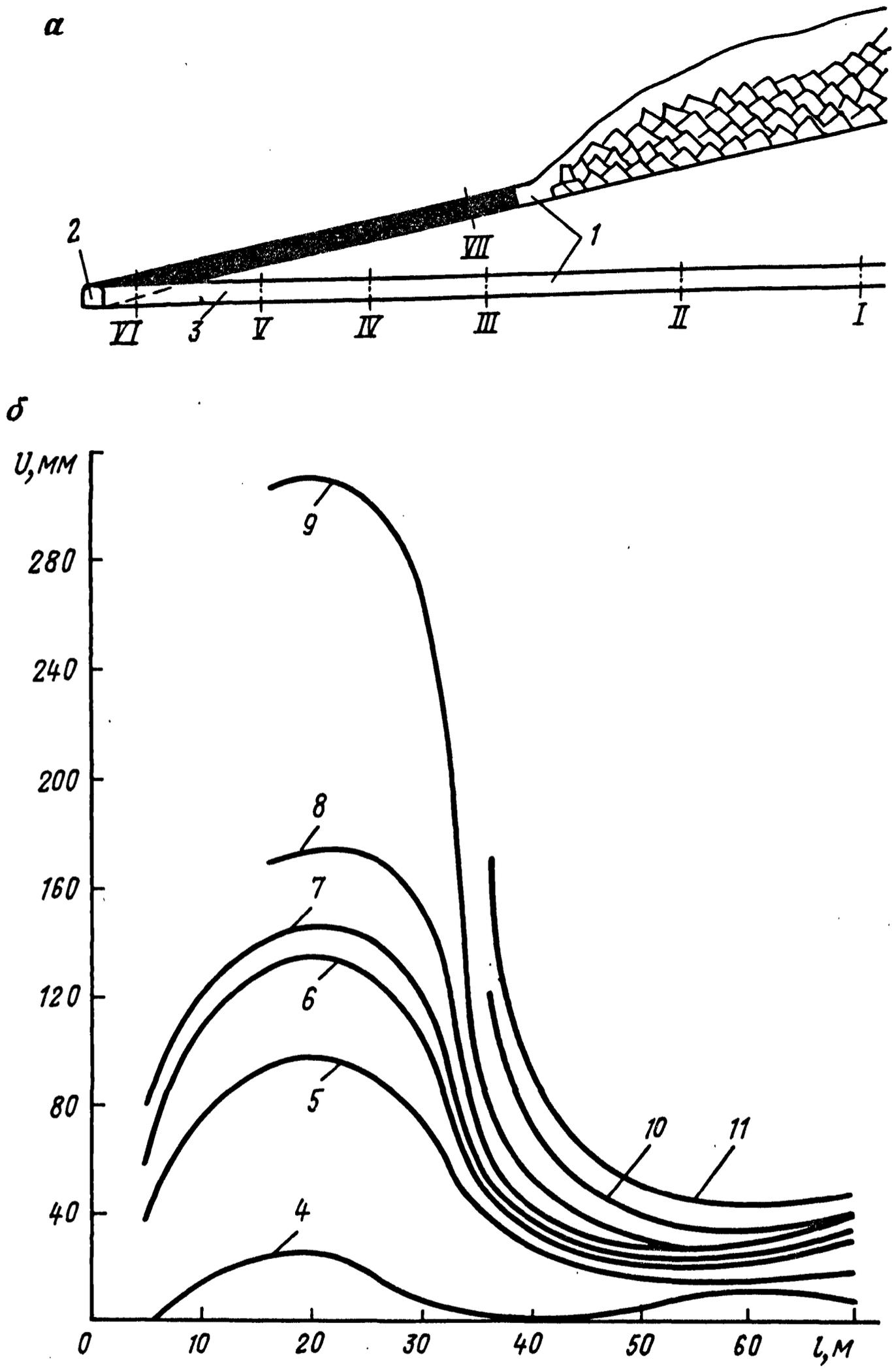
Угол влияния надработки, равный  $65-70^\circ$ , был также получен при проведении натуральных наблюдений за проявлением горного давления при надработке подготовительных выработок на шахте им. Артема ПО "Ростовуголь" [33].

*Влияние по восстанию.* Граница влияния выемки пласта  $I_4$  по восстанию определена по результатам инструментальных наблюдений, проведенных на шахте "Трудовская" в 1-м западном вентиляционном квершлага. Квершлаг площадью сечения в свету  $8,5 \text{ м}^2$  закреплен металлическими арками при расстоянии между ними 0,8 м. Наблюдательная станция состояла из шести секций и была заложена в период, когда забой 3-й западной лавы по пласту  $I_4$  находился от оси квершлага на расстоянии 100 м. Последнее исключало влияние очистных работ в лаве на сдвигение пород в квершлагае.

Особенность выработки заключалась в том, что она была пройдена в надработанных пластом  $I_4$  и подработанных пластом  $K_8$  породах. Со времени надработки участка расположения квершлага прошло 5 лет, а подработки — один год. Квершлаг подработан по всей длине, а надработан частично (рис. 7.2, а). Секции III — VI наблюдательной станции располагались под угольным массивом пласта  $I_4$ , а секции I и II — под выработанным пространством 1-й западной лавы.

Замеры сближения боков выработки показали, что участок квершлага, расположенный под массивом угля, подвергался значительным деформациям. На секциях же I и II смещения практически не было (рис. 7.2, б). Так, при уменьшении расстояния от 3-й западной лавы до квершлага со 110 до —10 м сближение боков выработки на секциях же IV и V составило 300 мм, а на секциях I и II — всего 40 мм.

Распределение сближения боковых реперов по секциям наблюдательной станции отражало распределение стационарного



**Рис. 7.2. Схема наработки 1-го западного вентиляционного квершлага (а) и график сближения боков квершлага по его длине  $l$  (б):**

**1** – 1-я западная лава; **2** – вентиляционный штрек 3-й западной лавы; **3** – 1-й западный вентиляционный квершлаг; **4–9** – сближение боков при приближении лавы к квершлагу на расстояние соответственно 80, 65, 55, 45, 35 и 5 м; **10, 11** – то же при удалении лавы от квершлага на расстояние 10 и 15 м

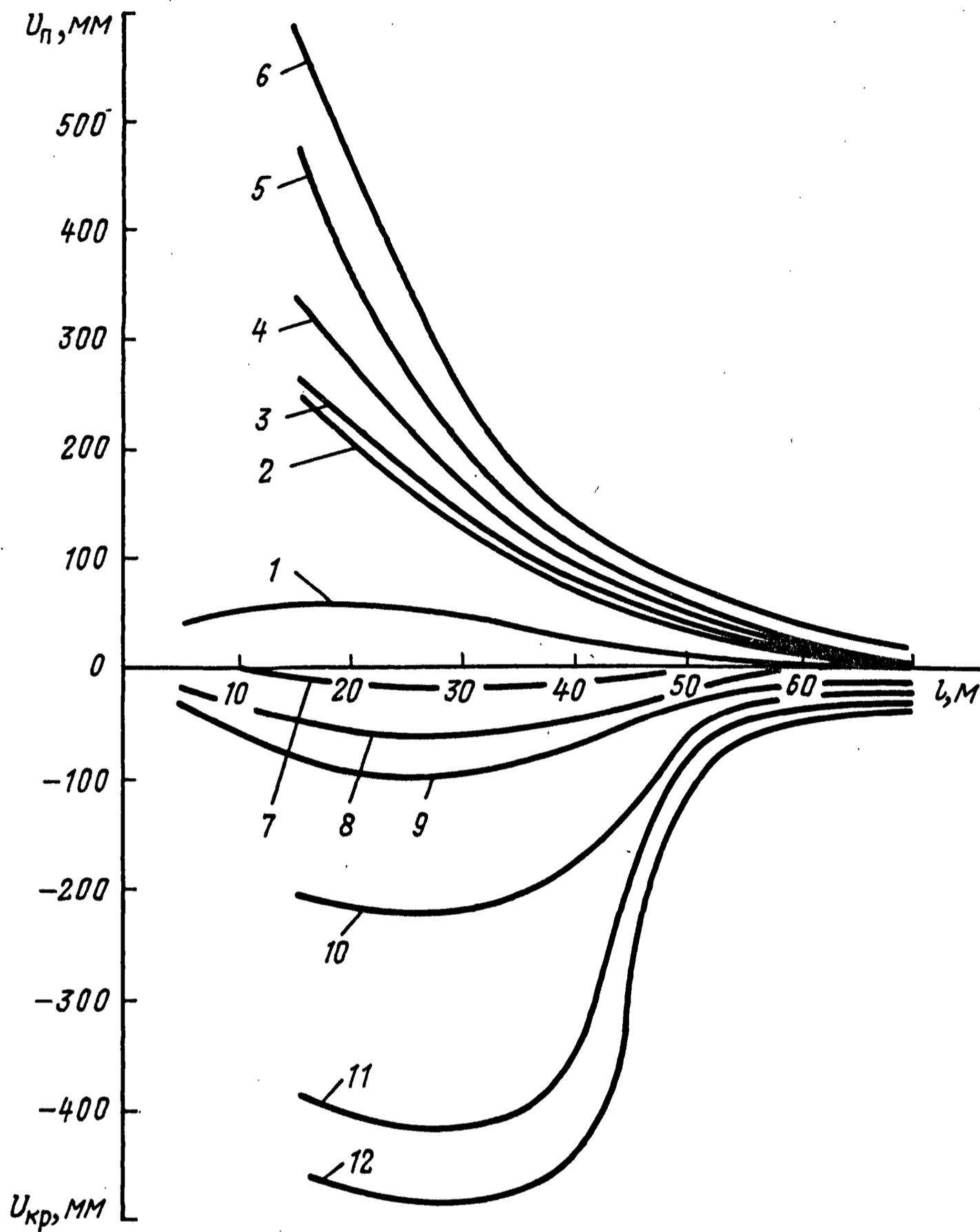


Рис. 7.3. График поднятия почвы  $u_n$  и опускания кровли  $u_{кр}$  в 1-м западном вентиляционном квершлагае по его длине:

1-6 — при приближении лавы на расстояние 80, 65, 55, 45, 35 и 25 м;  
 7-10 — при приближении лавы на расстояние 80, 35, 25 и 5 м; 11, 12 —  
 при удалении лавы на расстояние 10 и 15 м

опорного давления на кромке угольного массива по падению пласта. Максимум опорного давления по падению пласта располагался на расстоянии 10–15 м от кромки массива. Ширина зоны опорного давления превышала 35 м.

Аналогичные замеры сближения боков выработки были осуществлены в просеке, проведенному по пласту  $l_4$ . За время наблюдений сближение его боков (секция VII) составило 53 мм,

а боков квершлага (секция III) — 44 мм. Уменьшение смещений свидетельствует о снижении напряженного состояния пород с удалением от пласта в породы почвы.

Максимум поднятия почвы и опускания кровли в квершлагае также наблюдался на участке, расположенном под угольным массивом (рис. 7.3). За период наблюдений опускание кровли в квершлагае на секции V (см. рис. 7.2) составило 400 мм, пучения почвы — 600 мм. За то же время суммарное сближение кровли и почвы вне зоны влияния опорного давления не превысило 50 мм.

Опорное давление, развивавшееся у границ очистных работ по пласту  $l_4$ , сказывалось в квершлагае до секции II. Прямая, проведенная от кромки угольного массива до секции II (см. рис. 7.2 и 7.3), — линия влияния надработки по восстанию. Вертикаль, опущенная через кромку пласта, и линия влияния надработки образуют угол влияния надработки по восстанию. По результатам инструментальных наблюдений, проведенных в 1-м западном вентиляционном квершлагае, он равен  $55^\circ$ . Угол такой же величины был получен в условиях данной шахты при определении места расположения полевых штреков из условия минимальной стоимости их поддержания [30].

## 7.2. Влияние очистных работ по пласту $k_8$ при восходящем порядке отработки

Граница влияния очистных работ по пласту  $k_8$  в породах междупластья по простиранию определялась методом инструментальных наблюдений в западном полевом откаточном штреке гор. 493 м. Штрек площадью сечения  $8,5 \text{ м}^2$  проведен на расстоянии 25–30 м ниже пласта  $l_4$  и 50–55 м выше пласта  $k_8$ . Крепь — металлические податливые арки из спецпрофиля.

Опускание кровли и сближение боков полевого штрека под влиянием очистных работ подрабатывающей 3-й западной лавы по пласту  $k_8$  были зафиксированы на расстоянии более 130 м (рис. 7.4). С приближением проекции забоя подрабатывающей лавы к наблюдательной станции происходило интенсивное уменьшение площади поперечного сечения полевого штрека. На расстоянии 10 м впереди лавы сближение боков и опускание кровли штрека достигало соответственно 1600 и 1400 мм. Прямая, соединяющая точку начала интенсивного сближения боков полевого откаточного штрека с точкой на кромке забоя подрабатывающей лавы, — линия влияния очистных работ по пласту  $k_8$  на породы междупластья. Угол между линией простирания

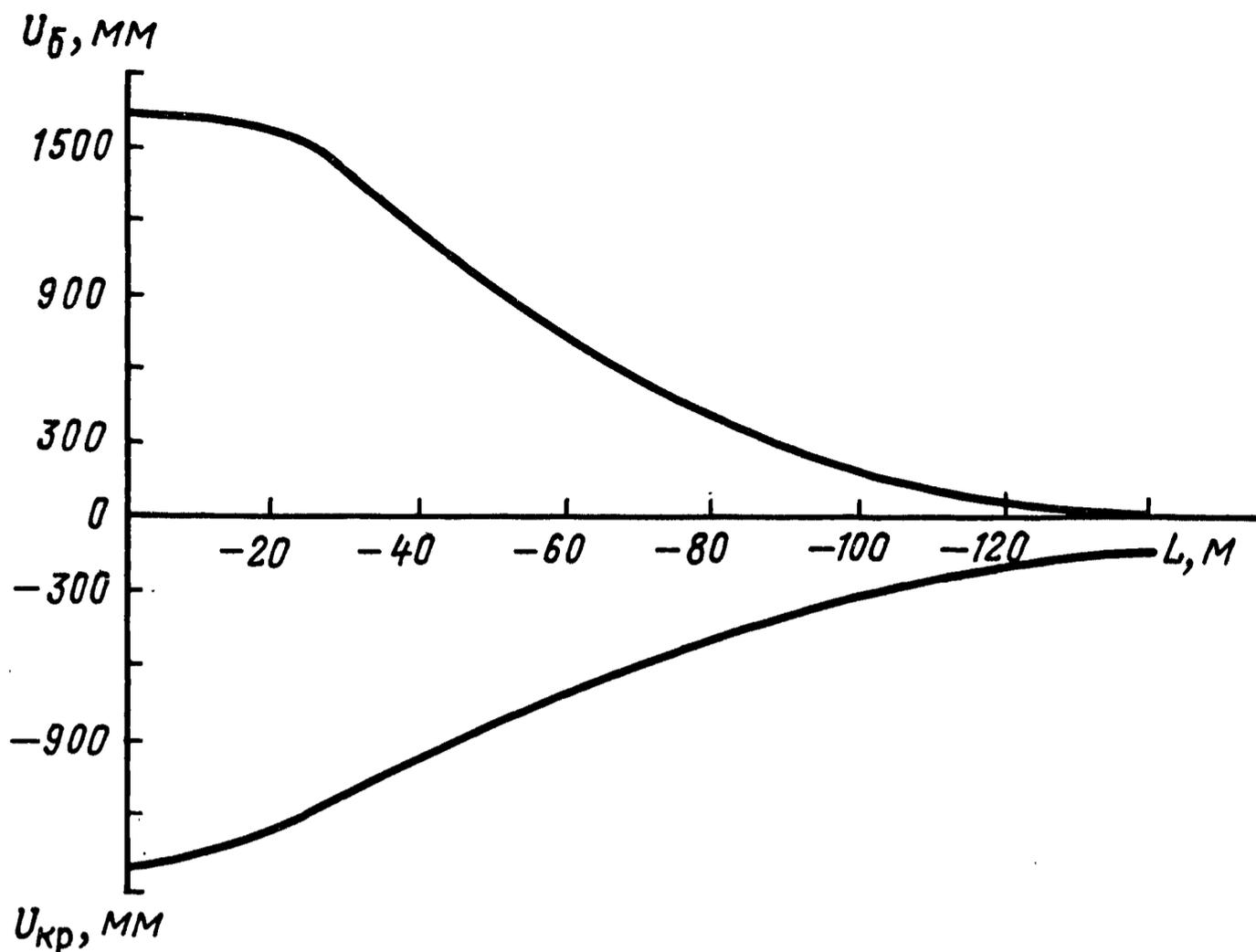


Рис. 7.4. График сближения боков  $U_b$  и опускания кровли  $U_{кр}$  в западном поле откаточном штреке гор. 493 м в зависимости от расстояния  $L$  до подрабатывающей лавы по пласту  $k_8$

пласта и линией влияния очистных работ — угол влияния подработки. По данным проведенных инструментальных наблюдений от равнялся  $24^\circ$ .

### 7.3. Расположение подготовительных выработок относительно границ очистных работ по пластам свиты

Одним из условий успешной одновременной разработки свиты пологих пластов является увязка горных работ на смежных пластах, исключая вредное влияние очистной выемки по одним пластам на выработки других. Выполнение этого условия возможно при наличии данных о закономерностях сдвижений и проявлений горного давления в толще пород и у границ очистных работ.

Ранее было показано, что в результате очистной выемки в толще пород происходит прераспределение напряжений с образованием зон повышенного и пониженного горного давления. Над очистной выработкой и под ней располагаются сводообразные зоны пониженного горного давления. Зона разгрузки над очистной выработкой ограничивается углами полных сдвижений  $\psi_1$ ,  $\psi_2$  и  $\psi_3$ . Значения этих углов, по данным лабораторных и

натурных наблюдений, для условий разработки пологих пластов примерно равны  $70^\circ$ . Область разгрузки под выработанным пространством ограничивается углом  $55^\circ$ . Располагая этими параметрами, можно дать принципиальные рекомендации по выбору порядка и рациональному расположению подготовительных выработок при разработке свиты пологих пластов.

Выбор порядка отработки пластов в свите осуществляется исходя из обеспечения минимального проявления горного давления на подготовительные выработки. Первым в свите необходимо отрабатывать пласт, залегающий в крепких боковых породах. Пласты с относительно слабыми вмещающими породами следует отрабатывать после предварительной подработки или надработки.

По пласту, разрабатываемому первым в свите, необходимо создавать опережение очистных работ. Горные работы в пластах, разрабатываемых с отставанием, должны располагаться в зонах разгрузки первого пласта.

При нисходящем порядке отработки пластов очистные и подготовительные выработки по надрабатываемому пласту должны быть расположены в пространстве таким образом, чтобы они не оказались в зоне вредного влияния очистных работ по надрабатываемому пласту. Зона, за пределами которой должны располагаться очистные и подготовительные выработки по нижнему пласту, может быть определена ориентировочно на основании результатов инструментальных наблюдений за проявлением горного давления в почве пласта у границ очистных работ. Расстояние от нормали  $NN$ , проведенной через кромку угольного массива верхнего пласта до места расположения подготовительных выработок на нижнем пласте, должно быть не меньше значения  $x$  (рис. 7.5):

по простиранию  $x \geq x_1 \geq h_M \operatorname{tg} 55^\circ$ ;

по восстанию  $x \geq x_1 \geq h_M \operatorname{tg} (55 - \alpha)$ ;

по падению  $x \geq x_1 \geq h_M \operatorname{tg} (55 + \alpha)$ ,

где  $h_M$  — расстояние между пластами по нормали (мощность междупластья), м;  $\alpha$  — угол падения пласта, градус.

При восходящем порядке отработки пластов очистные работы по нижнему пласту по простиранию, восстанию и падению должны опережать очистные и подготовительные работы по верхнему пласту. Это опережение может быть определено исходя из закономерностей сдвижения пород и проявления горного давления над очистной выработкой по нижнему пласту. Очистные и подготовительные выработки по верхнему пласту должны располагаться в пределах зоны полных сдвижений, образуя-

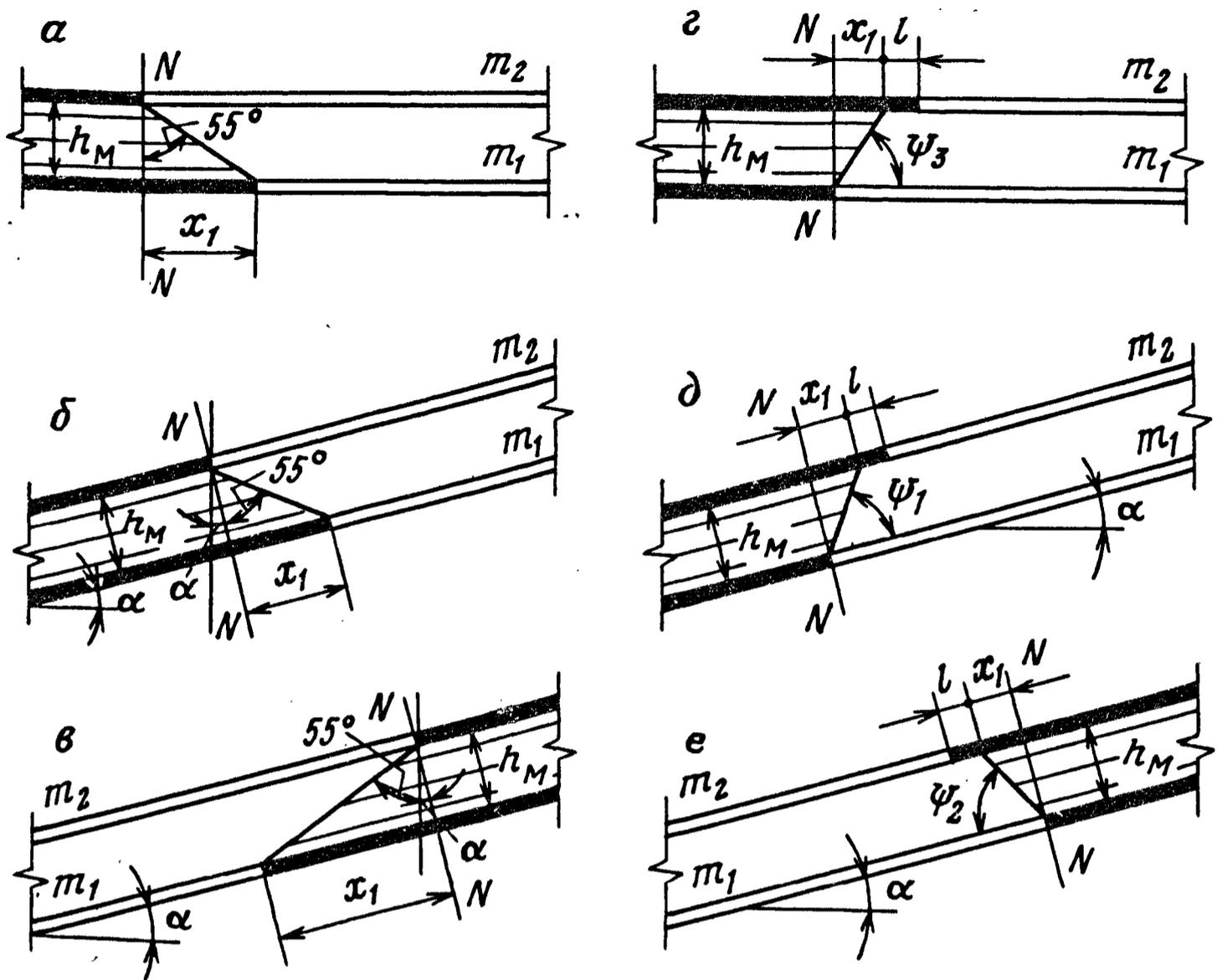


Рис. 7.5. Схемы к определению границ влияния очистных работ при нисходящем (а, б, в) и восходящем (з, д, е) порядках отработки пластов в свите:

а, з — по простиранию; б, д — по восстанию; в, е — по падению

щейся над очистной выработкой по нижнему пласту. Расстояние для подобных условий должно быть:

по простиранию  $x \geq h_M \operatorname{ctg} \psi_3 + l$ ;

по восстанию  $x \geq h_M \operatorname{ctg} \psi_2 + l$ ;

по падению  $x \geq h_M \operatorname{ctg} \psi_1 + l$ ;

где  $\psi_1$ ,  $\psi_2$  и  $\psi_3$  — углы полных сдвижений у границ очистных работ соответственно по восстанию, падению и простиранию, градус;  $l$  — запас опережения, принимаемый равным 40–50 м.

При одновременной разработке свиты, включающей три пласта, месторасположение подготовительных выработок относительно очистных работ в смежных пластах определяется аналогичным образом.

## 8. ПОДДЕРЖАНИЕ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ ПУЧАЩИХ ПОРОДАХ ПОЧВЫ\*

### 8.1. Характер смещений пород вокруг подготовительной выработки

При разработке свиты пластов часто наблюдается явление пучения породных слоев в почве подготовительных выработок. Опыт показывает, что при правильном расположении и соответствующей охране выработок затраты на подрывку почвы можно снизить до минимума.

Натурные наблюдения за смещением пород вокруг подготовительных выработок проводили по контурным реперным станциям. Каждая такая станция состояла из двух секций. Секция включала пять реперов, из которых два располагались в боках и три в почве выработки (рис. 8.1).

Измерение вертикальных смещений контура почвы выработок осуществлялось по методике ВНИМИ. Абсолютные вертикальные смещения почвы определяли относительно нити, натянутой между боковыми реперами. Такой способ измерения является простым и дает точность, достаточную для практических целей [27].

Горизонтальные смещения слоев почвы измеряли следующим образом. На натянутую металлическую ленту рулетки проектировались с помощью отвеса положения реперов, расположенных в почве пласта, и одновременно брались отсчеты. Величина горизонтальных смещений боковых реперов в почве выработки определялась как разность расстояний между первым и последующим замерами.

Бортовой ходок № 3 по пласту  $I_1$ , проведенный на гор. 610 м шахты им. Батова ПО "Макеевуголь" с помощью комбайна ПК-3м, имел площадь сечения в свету  $9,2 \text{ м}^2$ . Непосредственная почва пласта — глинистый сланец мощностью 1,3–2 м с пределом прочности на сжатие 50 МПа, основная — песчаник; непосредственная кровля пласта — глинистый сланец мощностью 2–3 м с пределом прочности на сжатие 50–60 МПа, выше которого залегал песчанистый сланец такой же прочности.

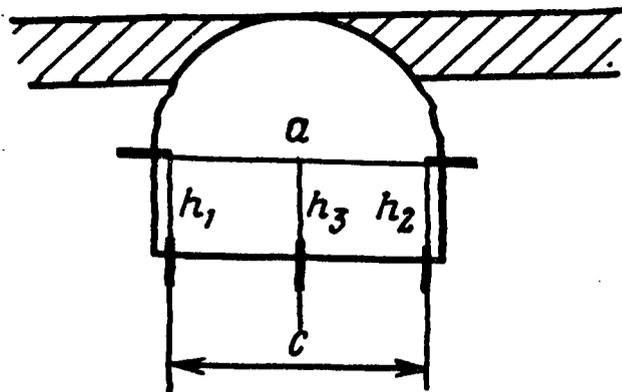
Замерная станция в течение 9 мес находилась вне зоны влияния очистных работ. После прохода лавы выработка была погашена.

---

\* Написан совместно с Н.Н. Касьяном.

Рис. 8.1. Схема расположения реперов в контурной замерной станции:

$a$  — смещение боков выработки;  $h_1, h_2$  и  $h_3$  — вертикальные смещения почвы по бокам выработки и в ее центре;  $c$  — горизонтальные смещения пород почвы



Из графика, приведенного на рис. 8.2, видно, что в течение 90 сут наблюдалось резкое увеличение смещений контура почвы выработки  $h$ , составившее 420 мм. Максимальная скорость смещения, зафиксированная на 30-е сутки (10 мм/сут). В дальнейшем наблюдалось уменьшение скорости смещения почвы до 0,5–2 мм/сут.

За 310 сут наблюдений общие смещения контура почвы  $h$ , боков выработки  $a$  и горизонтальные смещения боковых реперов в почве  $c$  составили соответственно 530, 170 и 130 мм. Подход лавы вызвал увеличение смещений соответственно до 650, 300 и 170 мм. Соотношение между горизонтальным смещением слоев контура почвы и ее вертикальным поднятием равнялось 1 : 4.

Бортовой уклон № 4 по пласту  $l_1$  на шахте им. Батова проводили с подрывкой пород кровли вслед за 15-й северной па-

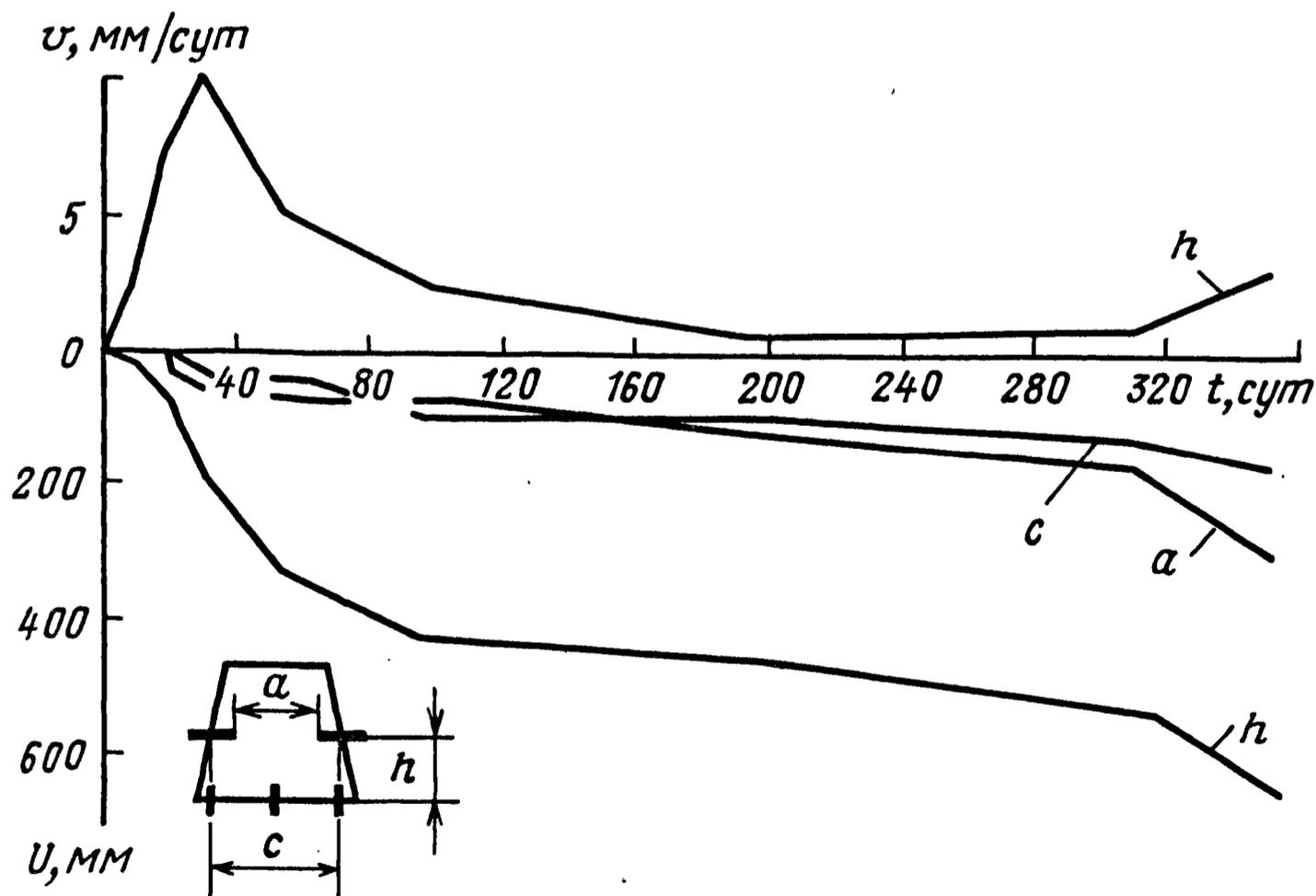


Рис. 8.2. График смещения  $U$  и скорости смещения  $v$  контура пород в бортовом ходе № 3 по пласту  $l_1$  на шахте им. Батова во времени  $t$

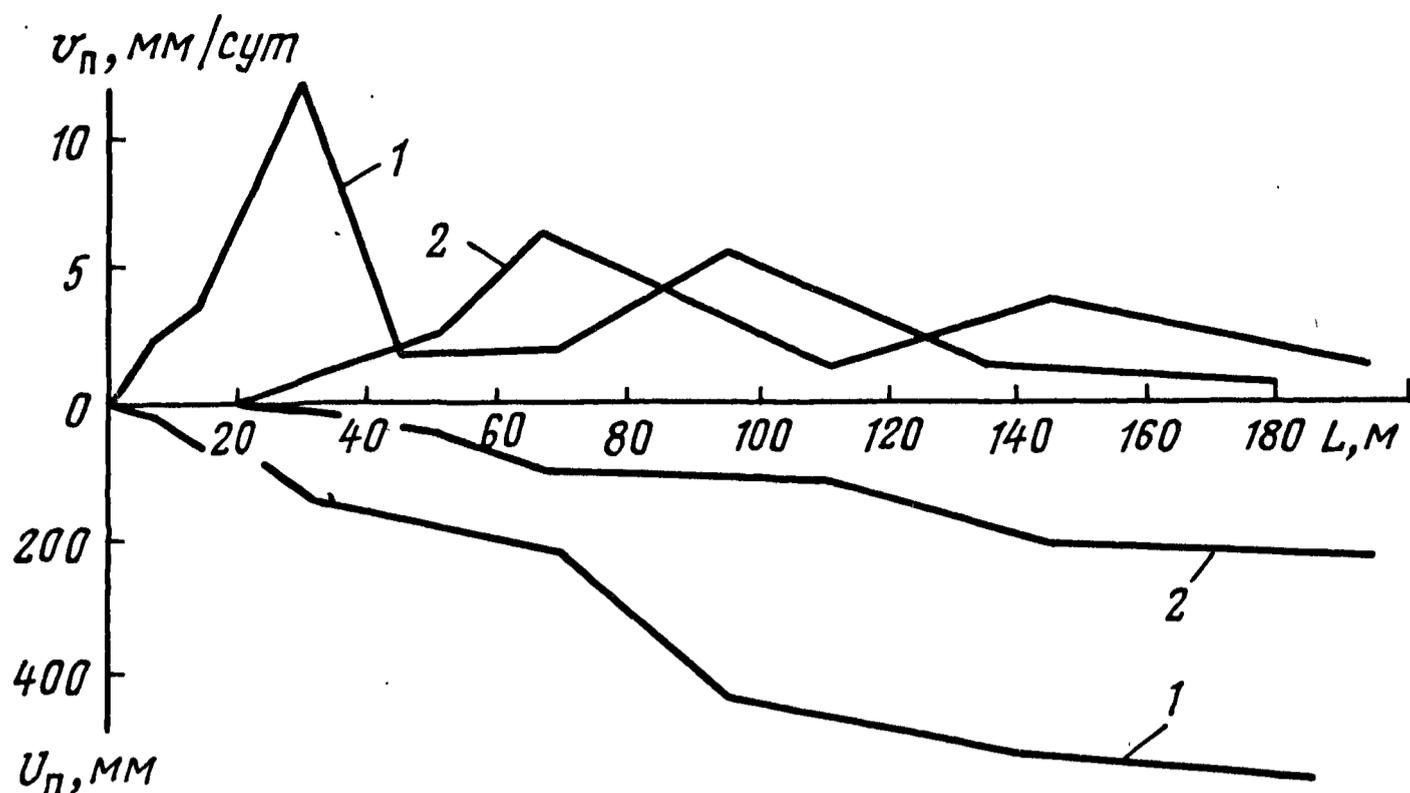


Рис. 8.3. График смещения  $U_n$  и скорости смещения почвы  $v_n$  в бортовом уклоне № 4 по пласту  $l_1$  на шахте им. Батова в зависимости от расстояния до лавы  $L$ :

1 и 2 — соответственно на контрольном и экспериментальном участках.

нельной лавой и крепили металлической арочной податливой крепью. Замерная станция была оборудована в забое выработки.

Максимальная скорость смещения почвы в выработке наблюдалась при отходе лавы на 30 м и составляла 12 мм/сут (рис. 8.3). Этому расстоянию соответствовало смещение почвы, равное 140 мм. В дальнейшем пучение почвы продолжалось, но скорость его уменьшилась до 1–6 мм/сут.

При отходе лавы на 180 м пучение почвы достигло 560 мм, причем контур почвы выработки приобрел форму свода.

Восточный магистральный ходок 1-й панельной лавы по пласту  $l_1$  на гор. 810 м шахты им. Орджоникидзе ПО "Макеев-уголь" проводился буровзрывным способом (в режиме сотрясательного взрывания) с опережением лавы на 75–80 м. Он имел площадь сечения в свету  $9,2 \text{ м}^2$  и крепился металлической арочной податливой крепью. Почва пласта — песчанистый сланец мощностью 1,6–2 м.

До подхода лавы ходок поддерживался в массиве угля. Замерная станция была оборудована в его забое.

При подходе лавы к ходку на расстояние 70–75 м пучение почвы достигло 400 мм (рис. 8.4). Максимальная его скорость составила 34 мм/сут. В выработке была произведена подрывка почвы на 0,4 м. Сразу после подрывки в почве выработки были установлены новые реперы.

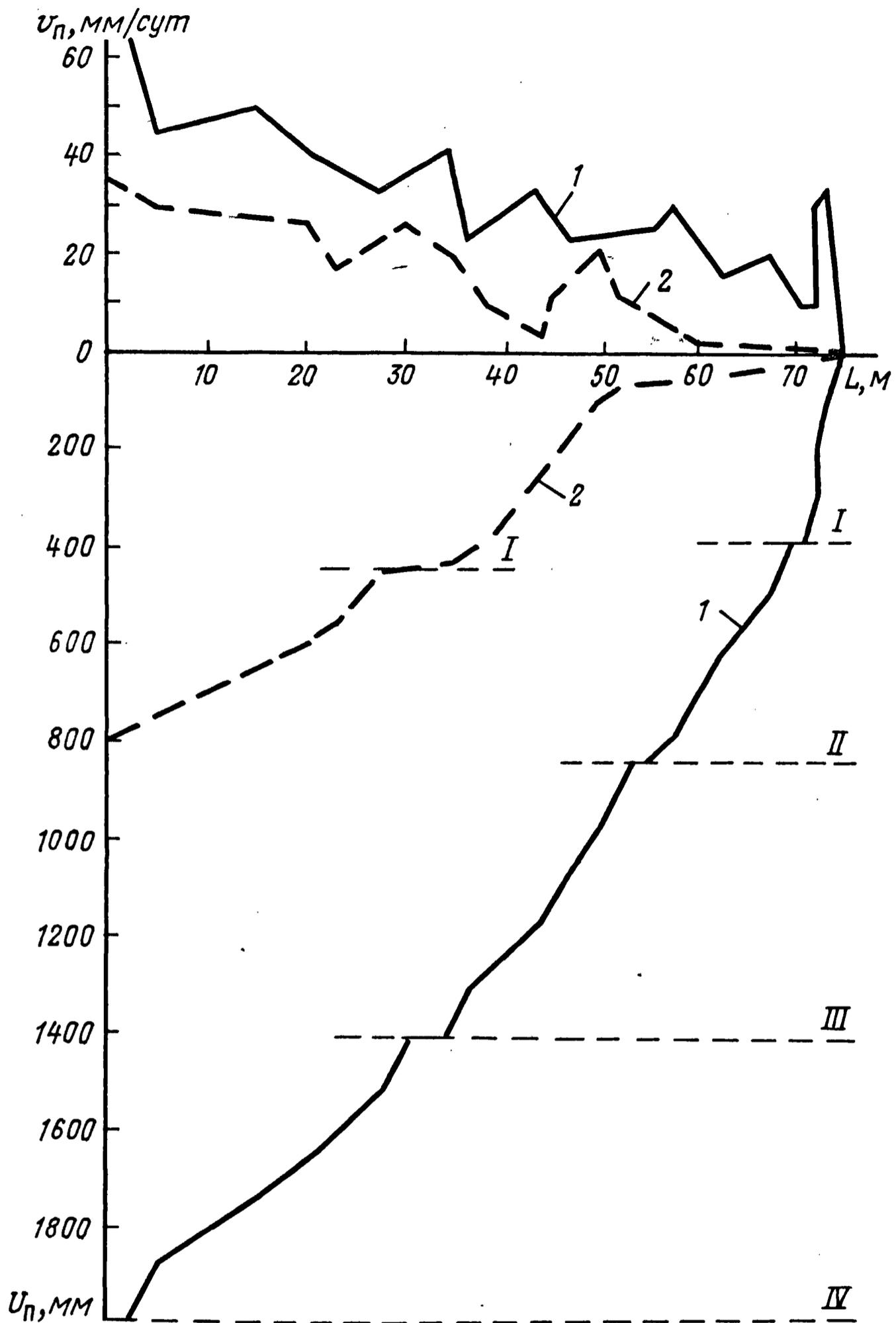


Рис. 8.4. График смещения  $U_n$  и скорости смещения почвы  $v_n$  в восточном магистральном ходке 1-й панельной лавы по пласту  $I_1$  на шахте им. Орджоникидзе в зависимости от расстояния до лавы  $L$ :  
 1, 2 — соответственно на контрольном и экспериментальном участках;  
 I—IV — номера подрывок

Приближение лавы с 70 до 55 м привело к пучению почвы еще на 450 мм. Суммарное смещение почвы достигло 850 мм. В выработке была вновь произведена подрывка почвы на 0,45 м.

Приближение лавы к ходку на расстояние до 35 м привело к дальнейшему пучению почвы на 570 мм. Общая его величина достигла 1420 мм. По мере приближения лавы скорость пучения почвы увеличилась до 40 мм/сут. В выработке была произведена третья подрывка почвы.

Подход лавы на расстояние до 5 м вызвал рост скорости пучения почвы до 60 мм/сут. Общее пучение почвы за время наблюдений составило 1870 мм.

Наибольшие смещения наблюдались по центру выработки, в результате чего ее почва приобрела свободную форму. Смещения боков и кровли выработки за рассматриваемый период соответственно составили 300 и 500 мм.

Таким образом, смещения почвы выработки (за рассматриваемый период) превысили смещения боков и кровли соответственно в 6,2 и 3,7 раза.

5-й южный вентиляционный штрек по пласту  $k_8$  на шахте "Добропольская" ПО "Добропольеуголь" был проведен площадью сечения в свету  $9,2 \text{ м}^2$  (с подрывкой пород кровли) и закреплен металлической крепью. Почва пласта — песчанистый сланец мощностью 5—9 м с пределом прочности на сжатие 40—50 МПа, ниже которого залегал песчаник. Непосредственная кровля была представлена песчанистым сланцем мощностью 3—4 м с пределом прочности на сжатие 35 МПа, основная — песчаником и песчанистым сланцем.

Штрек охранялся со стороны восстания междуэтажным целиком угля шириной 20—25 м и погашался вслед за лавой.

Замерная станция была оборудована на расстоянии 115 м от лавы. Данные нивелировки почвы, проведенной в вентиляционном штреке, свидетельствовали об отсутствии смещений почвы вне зоны влияния очистных работ.

Подход лавы с 115 до 65 м не вызвал смещения контура выработки (рис. 8.5). Интенсивное смещение почвы началось при подходе лавы на расстояние 30—5 м, составив соответственно 100 и 400 мм. Наибольшая скорость смещения почвы наблюдалась при подходе лавы на расстояние 15 м и равнялась 23 мм/сут.

Приближение лавы вызвало увеличение смещения всех точек контура выработки. В результате пучения почва выработки приобрела форму шатрового перекрытия. Наибольшие ее смещения наблюдались в средней ее части ( $h_3$ ), вертикальные смещения боковых реперов почвы со стороны восстания ( $h_1$ ) и падения ( $h_2$ ) пласта равнялись соответственно 200 и 80 мм. Соотношение между смещением контура почвы в плоскос-

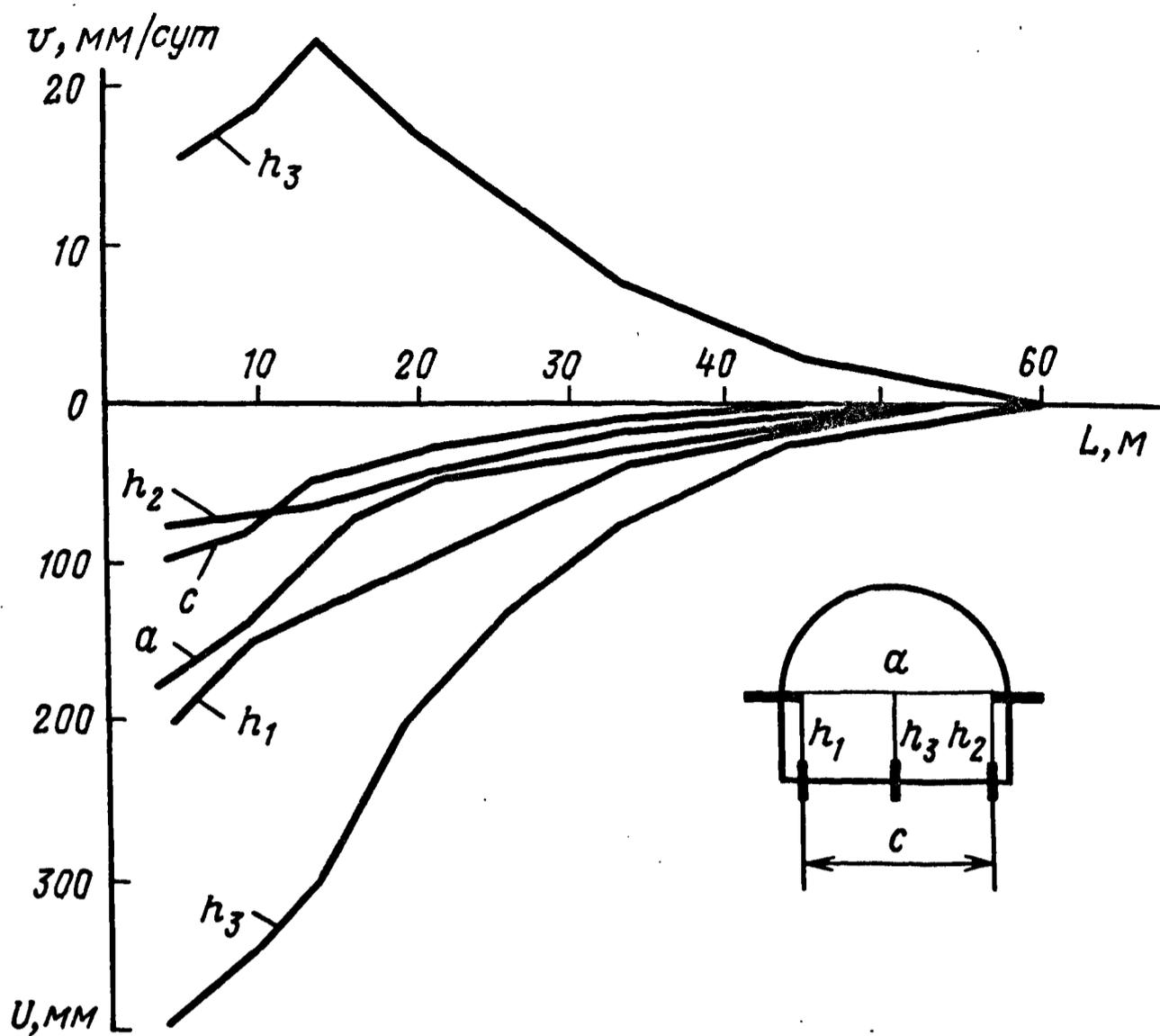


Рис. 8.5. График смещения  $U$  и скорости смещения  $v$  контура пород в 6-м южном вентиляционном штреке по пласту  $k_8$  на шахте "Добропольская" в зависимости от расстояния до лавы  $L$

ти напластования и ее вертикальным поднятием составило 1 : 4.

16-й западный вентиляционный штрек по пласту  $m_3$  на шахте "Чайкино" ПО "Макеевуголь" проводился вслед за 16-й западной лавой. Площадь его сечения в свету составляла  $11,2 \text{ м}^2$ . Он крепился арочной податливой крепью. Со стороны выработанного пространства штрек охранялся чураковой стенкой и бутовой полосой шириной 16 м. Почва пласта — песчанистый сланец мощностью 7,3 м с пределом прочности на сжатие 60 МПа. Непосредственно под пластом залегал "кучерявчик" мощностью 0,4 м. Непосредственная кровля пласта — слоистый глинистый сланец с пределом прочности на сжатие 40 МПа и мощностью 11,5 м, выше которого залегал песчанистый сланец.

При отходе лавы на расстояние 60 м вертикальное поднятие почвы достигло 300 мм, причем скорость ее смещения увеличилась от 2 до 9 мм/сут (рис. 8.6). В выработке была произведена подрывка почвы на 0,3 м. После восстановления реперов в почве выработки наблюдения продолжались. С отходом лавы на расстояние до 180 м смещение почвы составило 830 мм. В момент отхода лавы на 100 м наблюдалась макси-

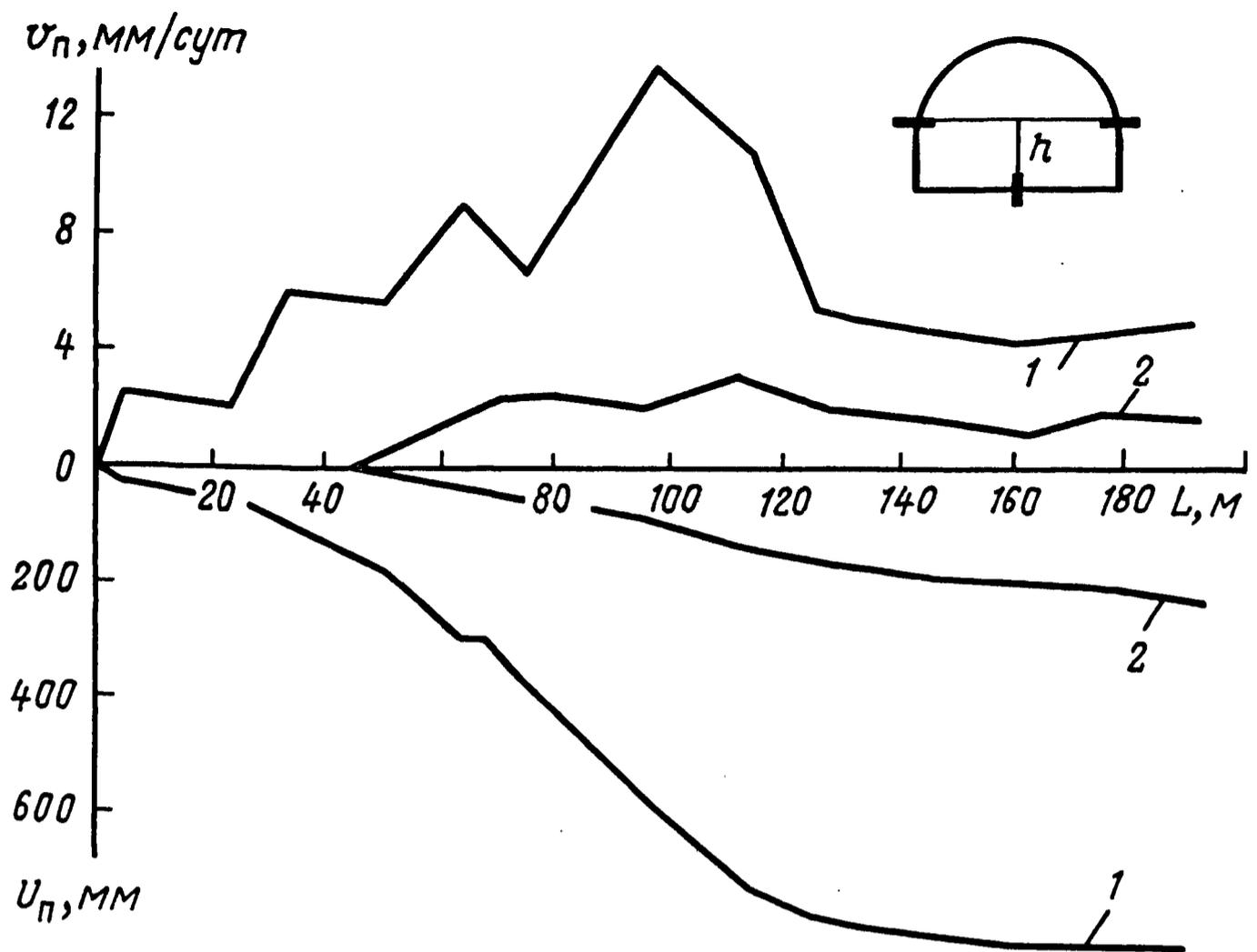


Рис. 8.6. График смещения  $U_n$  и скорости смещения  $v_n$  почвы в 16-м западном вентиляционном штреке по пласту  $k_8$  на шахте "Чайкино" в зависимости от расстояния до лавы:

1, 2 — соответственно на контрольном и экспериментальном участках

мальная скорость смещения почвы, составлявшая 13,5 мм/сут. С увеличением расстояния до лавы она уменьшилась до 4 мм/сут. В результате пучения почва выработки приобрела шатровую форму. Разлом слоев в почве выработки происходил на расстоянии 0,7 м со стороны целика угля.

Проведенные натурные наблюдения подтвердили выводы о том, что в подготовительных выработках при сплошной и столбовой системах разработки пучение почвы представляет собой складкообразование пород. Соотношение между смещением слоев пород в плоскости напластования и их вертикальным поднятием составляет 1 : 4—1 : 6.

Результаты замеров по контурным и глубинным наблюдательным станциям свидетельствуют о распространении пучения почвы с течением времени от контура выработки в глубь массива и образовании вокруг выработки зоны разрушенных пород размером до 4—6 м.

Величина вертикальных смещений пород почвы резко затухает с удалением в глубь массива и на глубине 2 м составляет 10—15 % смещения на ее контуре.

Разработку мероприятий по борьбе с пучением почвы подготовительных выработок необходимо вести в направлении

устранения эффекта складкообразования пород в плоскости их напластования.

## 8.2. Способы разгрузки пород почвы выработок

Рост глубины разработки ведет к ухудшению состояния подготовительных выработок, что во многих случаях вызвано пучением пород почвы. Если на малых и средних глубинах разработки пучение почвы наблюдалось в выработках со слабыми вмещающими породами, то с переходом горных работ на более глубокие горизонты оно происходит также в выработках, почвой которых являются песчанистые сланцы и песчаники.

Мероприятия по борьбе с пучением почвы можно разделить на две группы. Первая из них объединяет мероприятия, направленные на обеспечение разгрузки окружающего выработку массива, и включает региональные и локальные способы разгрузки.

Региональные способы разгрузки массива, окружающего выработку, с использованием защитного действия надработки и подработки пластов являются радикальным мероприятием по повышению устойчивости подготовительных выработок: Практика их применения показывает, что они обеспечивают безремонтное поддержание выработок в течение длительного срока службы. Однако использование этих способов возможно лишь в условиях отработки свиты пластов или применения полевой подготовки.

Локальные способы разгрузки предполагают создание разгруженных от горного давления зон непосредственно в окрестности горной выработки. Указанные зоны могут быть образованы посредством проведения разгрузочных щелей, бурения разгрузочных скважин, рыхления вмещающих пород взрывом, проведения выработок по обрушенным породам и широким забоем.

Ко второй группе относятся мероприятия, которые направлены на упрочнение массива пород, вмещающего выработки. Как установлено, пучение почвы вызвано складкообразованием пород в результате сдвижения их по плоскостям напластования.

Эффект складкообразования можно устранить созданием компенсирующей полости на пути смещения слоев почвы по плоскостям напластования. При этом для устранения пучения почвы на 400—600 мм достаточно компенсировать смещения

слоев в плоскости напластования всего лишь на 100 мм.

В зависимости от мощности пород почвы выработки и их прочности указанного можно добиться двумя методами.

При небольшой мощности слабых пород в почве выработки и интенсивном ее пучении выработку следует проводить с разрушением породы почвы взрывом до крепких подстилающих пород и уборкой "лишнего" ее объема. При этом для уменьшения концентрации напряжений вокруг выработки необходимо несущему контуру пород почвы придать округлое очертание.

При породах почвы, склонных к пучению и имеющих большую мощность, разгрузку почвы подготовительных выработок следует производить при помощи компенсационных щелей, расположенных в перпендикулярном напластованию пород направлении. В данном случае щелевая разгрузка почвы будет способствовать компенсации смещения слоев в плоскости напластования и уменьшению концентрации напряжений в боках выработки.

Изучение указанных способов разгрузки почвы выработки на моделях из эквивалентных материалов показало, что радиус зоны наиболее активных смещений вокруг подготовительной выработки приблизительно равен ширине выработки.

Разгрузка пород почвы выработки путем разрушения ее взрывом уменьшает напряженное состояние массива в боках выработки в 1,4—1,5 раза и уменьшает пучение в 3—4 раза [29].

Разгрузка почвы выработки при помощи компенсационной щели предотвращает эффект складкообразования и снижает пучение почвы в 4 раза [26].

### **8.3. Промышленные испытания способов разгрузки пород почвы выработок**

*Разгрузка почвы разрушением пород взрывом* испытывалась на шахте им. Орджоникидзе ПО "Макеевуголь" в восточном магистральном ходке 1-й панельной лавы по пласту  $I_1$  на гор. 810 [28]. За время подхода лавы к участку наблюдения с 75 до 2 м почва в ходке подрывалась 3—4 раза. Интенсивное пучение почвы наблюдалось в 6—8 м от забоя ходка.

Схема расположения шпуров при разгрузке почвы разрушением пород приведена на рис. 8.7. Масса заряда каждого шпура составляла 0,6—0,9 кг угленита Э-6. Эти шпуры взрывались одновременно со шпурами в забое выработки.

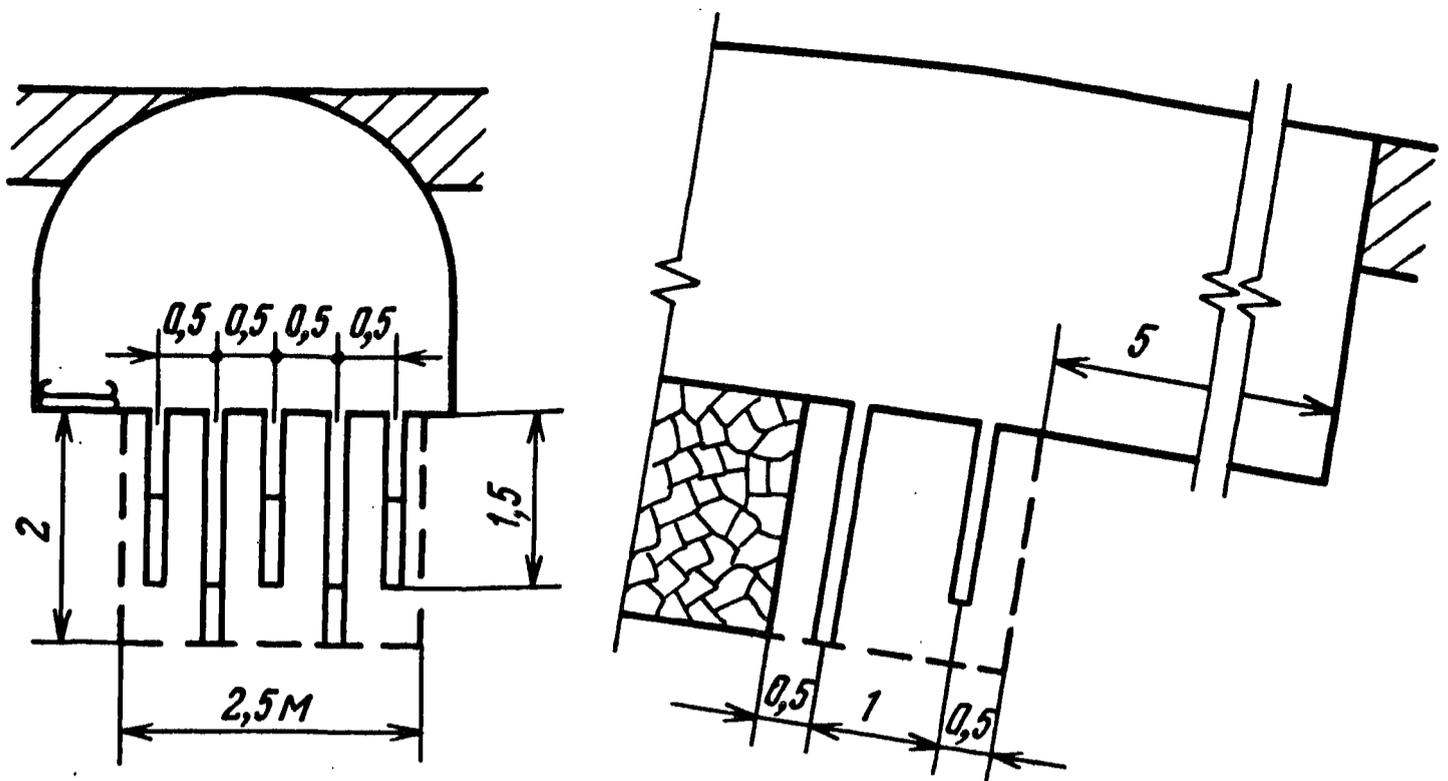


Рис. 8.7. Схема расположения шпуров при разгрузке почвы разрушением пород

Разгрузка почвы в ходке была осуществлена на участке 50 м. Замеры, проведенные в ходке до и после взрывания, показали, что при разрыхлении почвы наблюдается поднятие ее контура на 13–15 см.

В центре экспериментального участка была оборудована контурная замерная станция и проведены инструментальные наблюдения за смещением почвы выработки, результаты которых приведены выше (см. рис. 8.4).

При подходе лавы к замерной станции с 75 до 50 м пучение почвы ходка на опытном участке составляло 100 мм, а на обычном — 975 мм.

Приближение лавы к ходку на расстояние 30–40 м привело к резкому росту скорости смещения почвы: от 2–10 до 20–25 мм/сут. Это свидетельствовало об исчерпании податливости разрыхленного в почве выработки массива. Пучение почвы на опытном участке достигло 450 мм, а на участке без защитных мероприятий 1420 мм. К этому времени на экспериментальном и обычном участках были сделаны соответственно одна и три подрывки почвы.

Подход лавы на расстояние 5 м вызвал увеличение скорости пучения почвы до 30 мм/сут. Общее пучение почвы на экспериментальном участке составило 750 мм, на обычном — 1880 мм.

Применение разгрузки почвы выработки разрушением позволило уменьшить пучение в 2,5 раза.

Разгрузка пород почвы компенсационной щелью испытывалась на шахтах "Чайкино" и им. Батова ПО "Макеевуголь".

На шахте "Чайкино" щелевая разгрузка почвы применялась в 16-м западном вентиляционном штреке по пласту  $m_3$ , проводившемся вслед за лавой с подрывкой кровли. Глубина расположения выработки 765–770 м. Почва пласта песчанистый слоистый сланец мощностью 17 м с пределом прочности на сжатие 60 МПа. Непосредственно у пласта залегал "кучерявчик" мощностью 0,3–0,4 м.

В связи с тем что интенсивное смещение слоев почвы в плоскости напластования наблюдалось со стороны массива угля, разгрузочную щель располагали с этой стороны.

Схема расположения шпуров для образования щели приведена на рис. 8.8. Часть разрушенных взрывом пород почвы выбрасывалась в выработку. Однако объем ее был невелик (0,15–0,2 м<sup>3</sup> на 1 м выработки) и она использовалась в качестве балласта для рельсового пути.

Смещение пород на участках с разгрузкой и без разгрузки почвы характеризуется графиком (см. рис. 8.6). Из него видно, что на участке с разгрузкой почвы ее смещение отсутствовало до момента отхода лавы на 45 м. На контрольном участке смещение почвы составило 150 мм.

При отходе лавы на расстояние 190 м пучение почвы на участке с щелевой разгрузкой увеличилось до 250 мм, а на контрольном — до 850 мм.

Испытания показали, что при склонных к пучению породах большой мощности, когда ее величина не превышает 1 м, применение щелевой разгрузки обеспечивает устойчивое состояние выработки без подрывки почвы.

На шахте им. Батова щелевая разгрузка почвы испытывалась в бортовом уклоне № 4 по пласту  $l_1$ , который проводился вслед за лавой с подрывкой пород кровли. Со стороны массива и выработанного пространства он охранялся бутовыми полосами шириной соответственно 5 и 16 м. Непосредственная почва пласта — глинистый сланец мощностью 1,5 м с пределом

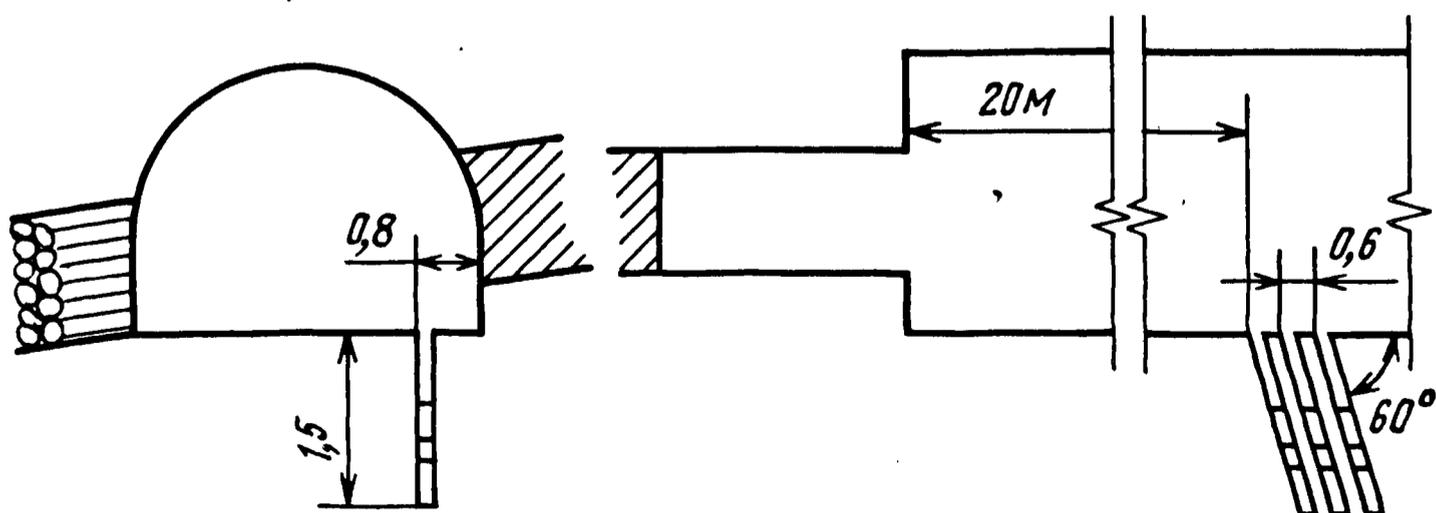


Рис. 8.8. Схема расположения шпуров при щелевой разгрузке почвы

прочности на сжатие 50 МПа. Ниже залегал крепкий песчаник. Глубина расположения выработки 610–700 м.

До отхода лавы на 40 м смещение почвы на экспериментальном участке отсутствовало (см. рис. 8.3), на контрольном же оно составило 180 мм. При дальнейшем отходе лавы появилось смещение контура почвы на экспериментальном участке. Максимальная его скорость (6,3 мм/сут) наблюдалась на расстоянии 68 м от очистного забоя. При отходе лавы на расстоянии 195 м общее смещение почвы на этом участке составило 230 мм, а на контрольном 560 мм (на нем была произведена подрывка почвы).

Применение в выработках щелевой разгрузки почвы, представленной склонными к пучению породами небольшой мощности, когда пучение почвы не превышает 0,6–0,7 м, позволяет обеспечить устойчивость выработки без подрывки почвы.

Анализ результатов промышленных испытаний способов разгрузки показывает, что эти мероприятия уменьшают пучение почвы в 2–3,4 раза.

При небольшой мощности пучащих пород и пучении почвы до 1 м следует применять щелевую разгрузку почвы, при пучении более 1 м — разгрузку разрушением (до подстилающих крепких пород).

При пучащих породах большой мощности рациональнее применять щелевую разгрузку почвы, так как она способствует не только компенсации смещения слоев в плоскости напластования, но и уменьшению объема пород, участвующего в складкообразовании. При значительном пучении почвы необходимо предусматривать повторную щелевую разгрузку.

Экономический эффект при испытаниях рассмотренных способов разгрузки изменялся от 4 до 12 руб/год на 1 м выработки в зависимости от конкретных условий.

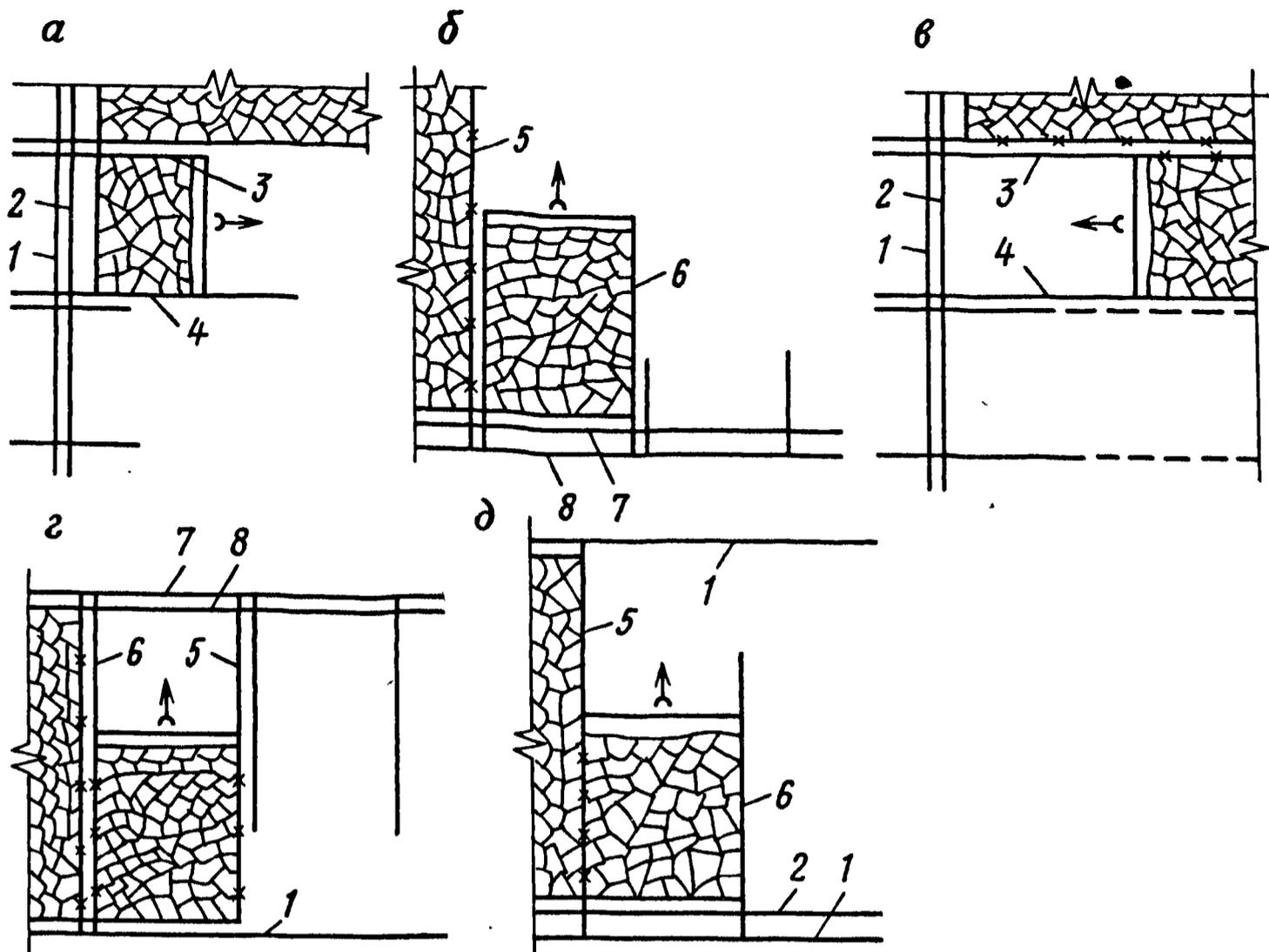
## **9. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СПОСОБОВ БЕЗРЕМОНТНОГО ПОДДЕРЖАНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК\***

### **9.1. Варианты поддержания выработок при различных системах разработки**

На шахтах Донбасса, разрабатывающих пологие пласты, в настоящее время применяются различные варианты сплошной, столбовой и комбинированной систем разработки (рис.

---

\* Написан совместно с В.Ф. Андрушко и И.К. Сапицкой.



**Рис. 9.1. Варианты систем разработки:**

*а* и *б* — сплошная с подвиганием лав соответственно по простиранию и восстанию; *в* и *г* — столбовая с подвиганием лав по простиранию и восстанию; *д* — комбинированная; 1 — уклон (бремсберг); 2 — ходок; 3, 4 — соответственно вентиляционный и откаточный штреки; 5, 6 — соответственно вентиляционный и конвейерный ходки; 7, 8 — соответственно откаточный и вентиляционный магистральные штреки

9.1). При этом на каждую группу этих систем приходится примерно треть общей добычи угля из пологих пластов.

Подготовительные выработки, примыкающие к очистным забоям, занимают главенствующее положение в общей сети горных выработок шахты по протяженности и, следовательно, по трудоемкости ремонтов и по затратам на них.

Экспертный анализ подтверждает возможность и необходимость безремонтного содержания подготовительных выработок в определенных условиях. Если в отношении капитальных горных выработок эксперты единодушны в своих выводах о возможностях безремонтного их содержания, то в части подготовительных выработок делаются оговорки. В силу этого экономико-математический анализ целесообразно провести именно для этой категории горных выработок.

Из всех возможных способов безремонтного содержания для такого анализа принят способ завышения площади сечения выработки, как наиболее апробированный. Правда, наряду с

ним в последние годы в опытным порядке внедряются новые способы безремонтного содержания выработок: химическое упрочнение пород и использование подвешного оборудования в выработках с интенсивным пучением почвы. Однако из-за отсутствия достаточно обоснованных стоимостных параметров и ограниченного объема данных экономическая оценка их пока затруднена.

Наиболее благоприятные условия для применения способа завышения площади поперечного сечения выработок могут иметь место при сплошной и комбинированной системах разработки, так как эти системы характеризуются лучшими возможностями для оставления породы в выработанном пространстве. Конечно, складирование в выработанное пространство породы от проведения подготовительных выработок может осуществляться и при столбовой системе, однако это требует наличия довольно сложной транспортной цепочки от проходческого забоя до места закладки.

За последние годы на шахтах Донбасса широкое распространение получила комбинированная система разработки с подвиганием лав по восстанию и прямоточной схемой проветривания (рис. 9.1, д). При ее применении порода транспортируется на поверхность только от проведения первого бортового хода при подготовке лавы, в дальнейшем она складывается в выработанное пространство. Для нее характерна такая планировка горных выработок, при которой закладочные работы не мешают погрузочному пункту на конвейерном ходе.

Перспективность указанной системы дает возможность применять ее в качестве одного из рассматриваемых вариантов.

## **9.2. Экономико-математические модели способов безремонтного поддержания выработок**

В связи с тем что безремонтное содержание подготовительных выработок, обеспеченное увеличением площади их сечения, связано с ростом стоимости проведения, необходимо с учетом условий поддержания найти такую площадь поперечного сечения, при которой сумма затрат на проведение выработки с минимально допустимой площадью сечения и на ремонт ее за весь период эксплуатации была бы равна затратам на проведение выработки, имеющей запас площади сечения для обеспечения безремонтного содержания.

Для решения данной задачи были составлены экономико-математические модели проведения и поддержания выработок.

В процессе моделирования использовали стоимостные параметры, разработанные ИГД им. А.А. Скочинского, Центрогипрошахтом, ДонУГИ, ДПИ. Известно много работ, в которых уточняется влияние различных факторов на стоимость поддержания выработок. Большинство авторов в качестве основных выделяют следующие: мощность пласта, протяженность поддерживаемой выработки, близость очистных забоев, глубину разработки, физические свойства вмещающих пласт пород, тип применяемой крепи.

На основе обработки результатов выполненных ранее исследований проведена систематизация и разработаны основные модели затрат на поддержание выработок при различных технологических схемах (см. рис. 9.1).

При разработке моделей учитывали факторы, которые можно систематизировать по двум группам: неуправляемые (горно-геологические) и управляемые (горнотехнические). К неуправляемым относятся глубина разработки, мощность и угол падения пластов, а также устойчивость окружающих выработку пород. Управляемые — это способ проведения выработки, площадь ее сечения, вид крепи, влияние очистных работ, система разработки, способ охраны выработки, длина очистного забоя, скорость подвигания очистных забоев.

К рассмотрению приняты следующие типы горных выработок: уклоны, ходки, бремсберги, магистральные и пластовые штреки, бортовые ходки при сплошной, столбовой и комбинированной системах разработки.

С технологической точки зрения поддержание выработок может осуществляться:

в массиве угля и пород при отсутствии влияния очистных работ;

в выработанном пространстве в зоне установившегося горного давления (при отсутствии влияния очистных работ);

в массиве угля и породы при наличии влияния очистных работ впереди забоя лавы (в зоне временного опорного давления);

в выработанном пространстве в зоне установившегося горного давления при наличии влияния очистных работ впереди лавы (в зоне временного опорного давления);

в комбинированных условиях при влиянии очистных работ как впереди, так и позади очистного забоя.

На основе проведенного технико-экономического анализа получены следующие расчетные модели для указанных технологических схем.

*Уклоны, ходки и бремсберги, не подверженные влиянию очистных работ:*

в массиве угля и пород (пластовые и полевые)

$$R = 0,0008HFk_y k_{1к} l t, \quad (9.1)$$

в выработанном пространстве (пластовые)

$$R = (0,003H - 0,28) Fk_y k_{1к} l t. \quad (9.2)$$

*Магистральные штреки постоянной длины, не подверженные влиянию очистных работ:*

в массиве угля и пород

$$R = 0,0069HFk_y k_{1к} l t, \quad (9.3)$$

в выработанном пространстве

$$R = 1,1F(0,02H - 0,24)k_y k_{yк} l t. \quad (9.4)$$

*Пластовые штреки (бортовые ходки) при сплошной системе разработки:*

не опережающие лаву

$$R = [m(0,0014/l_{л} + 0,23 + 0,87/l_{л}/v_0 + 142/v_0) Fk_y k_0 k_{3к} l + (0,002H - 0,24) Fk_y k_{yк} l t], \quad (9.5)$$

опережающие лаву,

$$R = [m(0,0001H - 0,2) + 0,08/v_0 - 14,4/v_0] Fk_y k_{2к} l + m(0,0014/l_{л} + 0,23 + 0,87/l_{л}/v_0 + 142/v_0) Fk_y k_{3к} k_0 l + (0,002H - 0,24) Fk_y k_{4к} l t. \quad (9.6)$$

*Пластовые штреки (бортовые ходки) при столбовой системе разработки с погашением их позади лавы*

$$R = 0,0069HFk_y k_{1к} l t + [m(0,0001H - 0,02) + (0,08H/v_0 - 14,4/v_0)] k_y k_{2к} l; \quad (9.7)$$

*Пластовые штреки (бортовые ходки) при комбинированной системе разработки*

$$R = 0,0069HFk_y k_{1к} l t + [m(0,0001H - 0,02) + 0,08/v_0 - 14,4/v_0] Fk_y k_{2к} l + m(0,0014/l_{л} + 0,23 + 0,87/l_{л}/v_0 + 142/v_0) Fk_y k_{3к} k_0 l + (0,002H - 0,24) Fk_y k_{4к} l t. \quad (9.8)$$

В приведенных выражениях приняты следующие обозначения:  $F$  — площадь сечения выработки в свету,  $\text{м}^2$ ;  $H$  — глубина разработки,  $\text{м}$ ;  $k_y$  — коэффициент, учитывающий влияние устойчивости окружающих выработку пород на затраты по ее поддержанию;  $k_{1к}$ ,  $k_{2к}$ ,  $k_{3к}$  и  $k_{4к}$  — коэффициенты, учитывающие влияние вида крепи на стоимость поддержания выработки соответственно в массиве угля и пород, в зоне влияния временного опорного давления впереди лавы, в зоне интенсивных смещений пород позади лавы, в зоне установившегося горного давления в выработанном пространстве;  $m$  — мощность пласта,  $\text{м}$ ;  $l$  — длина выработки,  $\text{м}$ ;  $t$  — время, за которое определяются затраты на поддержание выработки, лет;  $\overline{l}_л$  — длина лавы,  $\text{м}$ ;  $v_0$  — скорость подвигания лавы,  $\text{м/мес}$ ;  $k_0$  — коэффициент, учитывающий влияние способа охраны выработки на затраты по ее поддержанию.

В приведенных моделях выделены параметры, изменение которых может в различной степени обеспечить безремонтное содержание выработок. Все эти параметры систематизируют в следующие четыре характерные группы, которые обозначены  $X_j$ :

$$x_1 = Fk_y k_{1к} l t; \quad (9.9)$$

$$x_2 = Fk_y k_{2к} l t; \quad (9.10)$$

$$x_3 = Fk_y k_{3к} k_0 l; \quad (9.11)$$

$$x_4 = Fk_y k_{4к} l t. \quad (9.12)$$

В результате подстановки в модели и выражения (9.1) — (9.8) систематизированных переменных получаем.

*Для уклонов, ходков, бремсбергов, поддерживаемых:*  
в массиве угля и пород (пластовые, полевые)

$$R = 0,0008 H X_1, \quad (9.13)$$

в выработанном пространстве

$$R = (0,003 H - 0,28) X_4. \quad (9.14)$$

*Для магистральных штреков, поддерживаемых:*  
в массиве угля и пород

$$R = 0,0069 H X_1, \quad (9.15)$$

в выработанном пространстве

$$R = (0,003 H - 0,28) X_4. \quad (9.16)$$

*Для пластовых штреков (бортовых ходков) при сплошной системе разработки:*

не опережающих лаву

$$R = m(0,0014l_{\text{л}} + 0,23 + 0,87l_{\text{л}}/v_0 + 142/v_0)X_3 + (0,002H - 0,24)X_4, \quad (9.17)$$

опережающих лаву

$$R = [m(0,0001H - 0,02) + 0,08H/v_0 - 14,4/v_0]X_2 + m(0,0014l_{\text{л}} + 0,23 + 0,87l_{\text{л}}/v_0 + 142/v_0) + (0,002H - 0,24)X_4. \quad (9.18)$$

*Для пластовых штреков (бортовых ходков) при столбовой системе разработки*

$$R = 0,0069HX_1 + [m(0,0001H - 0,02) + 0,08H/v_0 - 14,4/v_0]X_2. \quad (9.19)$$

*Для пластовых штреков (бортовых ходков) при комбинированной системе разработки*

$$R = 0,0069HX_1 + [m(0,0001H - 0,02) + 0,08H/v_0 - 14,4/v_0]X_2 + m(0,0014l_{\text{л}} + 0,23 + 0,87l_{\text{л}}/v_0 + 142/v_0)X_3 + (0,002H - 0,24)X_4. \quad (9.20)$$

В моделях (9.13) — (9.20) можно выделить следующие коэффициенты, учитывающие параметры технологии ведения очистных работ, мощность пласта, глубину разработки, скорость подвигания лавы и ее длину. Так как эти параметры не определяют возможности безремонтного содержания выработок, объединим их в следующие группы и представим величинами  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  и  $K_4$ , которые соответственно

$$K_1 = 0,0008H; \quad (9.21)$$

$$K_2 = (0,003H - 0,28); \quad (9.22)$$

$$K_3 = 0,0069H; \quad (9.23)$$

$$K_4 = (0,002H - 0,24); \quad (9.24)$$

$$K_5 = m(0,0001H - 0,02) + 0,08H/v_0 - 14,4/v_0; \quad (9.25)$$

$$K_6 = m(0,0014l_{\text{л}} + 0,23 + 0,87l_{\text{л}}/v_0 + 142/v_0). \quad (9.26)$$

Подставляя различные значения коэффициентов  $K$  в выражения (9.13) – (9.20), получаем окончательные выражения моделей.

*Для уклонов, ходков и бремсбергов, поддерживаемых:  
в массиве угля и пород*

$$R = K_1 X_1, \quad (9.27)$$

в выработанном пространстве

$$R = K_2 X_2. \quad (9.28)$$

*Для магистральных штреков, поддерживаемых:  
в массиве угля и пород*

$$R = K_3 X_1, \quad (9.29)$$

в выработанном пространстве

$$R = K_4 X_4. \quad (9.30)$$

*Для пластовых штреков (бортовых ходков) при сплошной системе разработки:*

не опережающих лаву

$$R = K_6 X_3 + K_4 X_4, \quad (9.31)$$

опережающих лаву

$$I = K_5 X_2 + K_6 X_3 + K_4 X_4. \quad (9.32)$$

*Для пластовых штреков (бортовых ходков) при столбовой системе разработок*

$$R = K_3 X_1 + K_5 X_2. \quad (9.33)$$

*Для пластовых штреков (бортовых ходков) при комбинированной системе разработки*

$$R = K_3 X_1 + K_5 X_2 + K_6 X_3 + K_4 X_4. \quad (9.34)$$

Полученные экономико-математические модели затрат позволили разработать блок-схему оценки безремонтного содержания горных выработок для решения задачи с помощью ЭВМ (рис. 9.2).

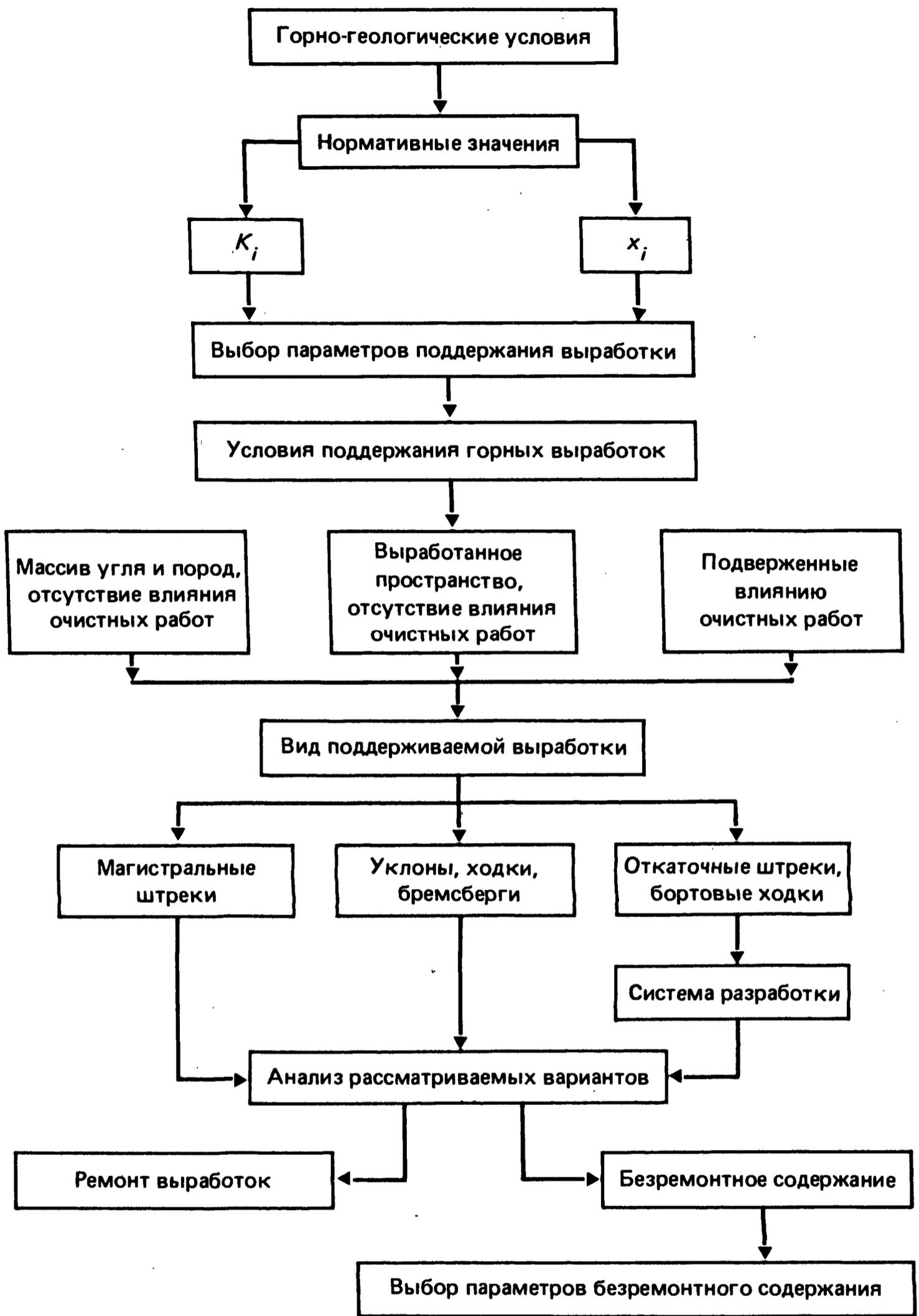


Рис. 9.2. Блок-схема оценки безремонтного поддержания горных выработок

Граничными условиями функционирования модели являются мощность пласта 0,6–2,5 м, длина лавы 140–300 м, глубина разработки 300–1000 м, скорость подвигания очистного забоя 25–150 м/мес, площадь сечения выработки 7,5–18 м<sup>2</sup>.

### 9.3. Оценка способа завышения площади поперечного сечения выработок

Основное назначение проведения выработок с заранее увеличенной площадью поперечного сечения — учет уменьшения этой площади за весь срок содержания до минимально допустимой величины, регламентируемой Правилами безопасности.

Рассмотрим первоначально эффективность проведения выработок с заранее увеличенной площадью сечения для случаев содержания их в массиве угля и пород и в выработанном пространстве при отсутствии влияния очистных работ. В таких условиях могут поддерживаться следующие выработки: вспомогательные бремсберги (ходки), фланговые выработки, основные откаточные и вентиляционные штреки, вспомогательные уклоны при подвигании по восстанию или падению и прямоточной схеме проветривания с подсвежением исходящей струи. Все эти выработки могут охраняться целиками угля достаточных размеров, что равноценно поддержанию их в массиве, или проводиться по выработанному пространству.

В соответствии с моделями (9.13) — (9.20) стоимость содержания  $1 \text{ м}^3$  таких выработок за весь срок службы в зависимости от предела завышения минимально допустимой площади сечения

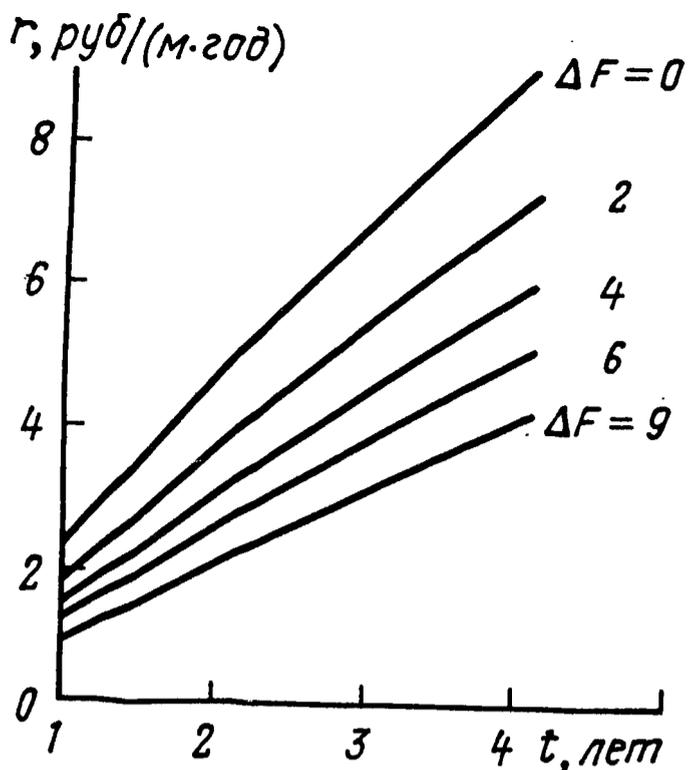
$$r_{i\max} = K_i X_i F_{\min} / F_{\max}, \quad (9.35)$$

где  $F_{\min}$  — минимально допустимая площадь поперечного сечения выработки согласно требованиям ПБ,  $\text{м}^2$ ;  $F_{\max}$  — заранее завышенная площадь поперечного сечения выработки,  $\text{м}^2$ .

Методику экономико-математического анализа рассмотрим на примере содержания основного вентиляционного штрека, длина которого по мере отработки запасов непрерывно изменяется. Штрек охраняется целиками угля таких размеров, что на него не оказывают влияния очистные работы. Мощность разрабатываемого пласта 1,4 м, угол падения  $8^\circ$ , глубина разработки 400 м, вмещающие пласт породы средней устойчивости, минимально допустимая площадь сечения штрека  $7,6 \text{ м}^2$ , крепь — трехзвенная металлическая арка из спецпрофиля.

Для указанных условий  $r'_1 = 0,55 \text{ руб}/(\text{м}^3 \cdot \text{год})$ ,  $k_{1к} = 1$ ,  $k_n = 1$ ,  $k_y = 1$ . Приняв в качестве исходной площадь сечения штрека  $7,6 \text{ м}^2$  (при условии непрерывно изменяющейся длины), находим, что при  $t = 1$  году  $r_1 = 2,1 \text{ руб}/\text{м}$ , а при  $t = 4$  года  $r_1 = 8,4 \text{ руб}/\text{м}$ . Если указанный штрек пройти площадью сечения  $9,6 \text{ м}^2$ , то стоимость содержания 1 м его уменьшится, так как

Рис. 9.3. График зависимости стоимости ремонта  $r$  1 м выработки, поддерживаемой в массиве угля и пород вне зоны влияния очистных работ, от срока службы  $t$  при увеличении на  $\Delta F$  ( $\text{м}^2$ ) минимально необходимой площади поперечного сечения



определенное время происходящие в нем осадки не вызовут нарушения требований ПБ к сечению выработки. Для тех же сроков службы эта стоимость составит соответственно 1,66 и 6,65 руб/м. Изменение стоимости ремонта 1 м выработки, поддерживаемой в массиве угля и пород, в зависимости от срока службы и предела завышения площади сечения до  $16,6 \text{ м}^2$  характеризуется графиком (рис. 9.3).

Если этот штрек содержится в выработанном пространстве, то стоимость его ремонта увеличивается примерно в два раза, но характер ее изменения остается прежним (рис. 9.4).

Таким образом, проведенные расчеты показывают, что предварительное увеличение площади поперечного сечения выработки снижает стоимость ее содержания. Однако необходимо выяснить, в каких условиях и до каких пределов это снижение (соответственно завышение площади сечения) выгодно.

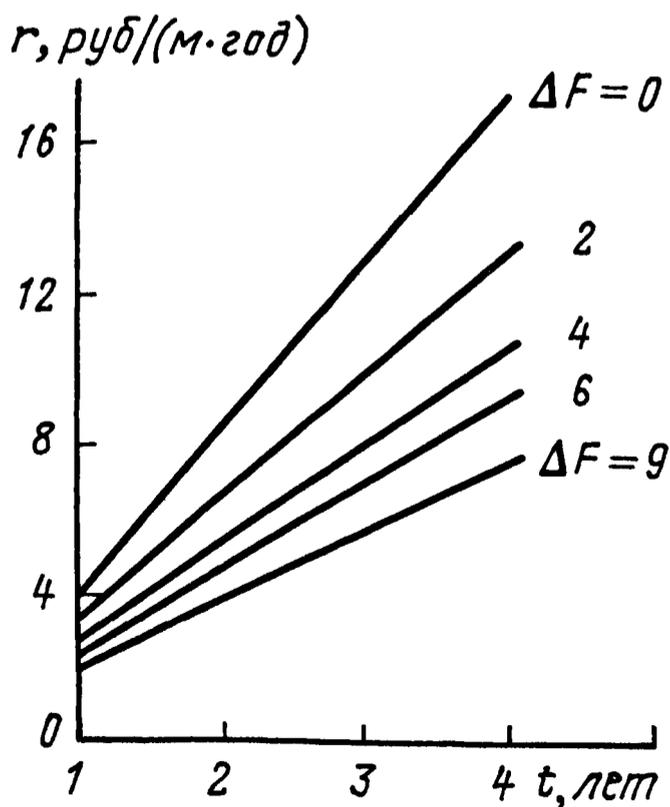


Рис. 9.4. График зависимости стоимости ремонта  $r$  1 м выработки, поддерживаемой в выработанном пространстве в зоне установившегося горного давления от срока службы  $t$  при увеличении на  $\Delta F$  ( $\text{м}^2$ ) минимально необходимой площади поперечного сечения

Известно, что любое увеличение площади поперечного сечения выработки приводит к увеличению стоимости 1 м его проведения, которая определяется из выражения

$$K = (C_1 + C_2 F + C_3 \eta F) \rho k_H k_B k_I, \quad (9.36)$$

где  $C_1$  — стоимость проведения выработки по постоянным на 1 м ее затратам, руб;  $C_2$  — то же по постоянным на 1 м<sup>3</sup> затратам, руб.;  $C_3$  — разница в стоимости проведения 1 м<sup>3</sup> выработки смешанным (по углю и породе) забоем или только по углю по сравнению с проведением ее по породе, руб;  $\eta$  — отношение площади забоя по углю к полной площади сечения выработки к свету;  $\rho$  — коэффициент, учитывающий период работы шахты;  $k_H$  — коэффициент влияния глубины работ;  $k_{O3}$  — коэффициент влияния обводненности забоя;  $k_B$  — коэффициент влияния выбросоопасности пород и угля;  $k_I$  — коэффициент влияния длины транспортирования горной массы.

Для указанных ранее условий при буровзрывном способе проведения выработки с  $F = 7,6 \text{ м}^2$   $K = 174 \text{ руб/м}$ , а при  $F = 8,6 \text{ м}^2$   $K = 194 \text{ руб/м}$ . При комбайновом способе проведения для этих же площадей сечений стоимость проведения 1 м соответственно составит 100 и 115 руб.

Из графика (рис. 9.5) видно, что завышение минимально допустимой площади сечения выработки для обеспечения безремонтного содержания практически неэффективно как при поддержании ее в массиве угля и пород, так и в выработанном пространстве вне зоны влияния очистных работ при любых сроках службы. Расчеты показывают, что любое завышение площади поперечного сечения выработки приводит к значительному росту стоимости проведения 1 м по отношению к стоимости ремонта.

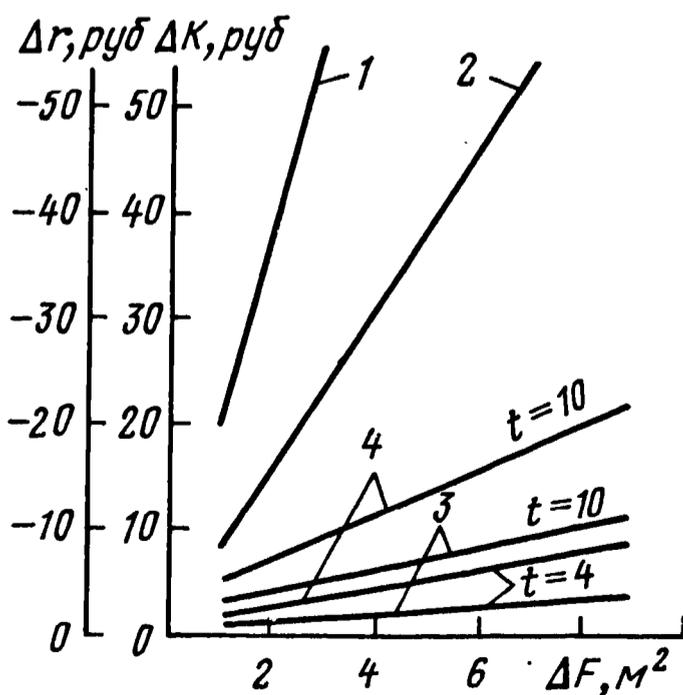


Рис. 9.5. График прироста стоимости проведения  $\Delta K$  и снижения затрат на ремонт  $\Delta r$  1 м выработки за весь срок ее службы  $t$  (лет) в зависимости от увеличения минимально необходимой площади поперечного сечения на  $\Delta F$ :

1, 2 — соответственно при буровзрывном и комбайновом способах проведения; 3 — при поддержании в массиве угля и пород; 4 — при поддержании в выработанном пространстве в зоне установившегося горного давления

Таким образом, при содержании горных выработок вне зоны влияния очистных работ целесообразно предусматривать их ремонт. По объему и стоимости он невелик и соответствует обычному уходу за состоянием выработки (периодическая зачистка почвы, замена отдельных элементов крепи и затяжек, подрывка почвы и др.).

Рассмотрим более общий случай, когда выработка в процессе содержания подвергается влиянию очистных работ. К таким выработкам в первую очередь относятся откаточные и вентиляционные штреки при сплошной системе разработки и столбовой (при оставлении выработок для повторного использования), а также бортовые наклонные выработки при отработке запасов лавами по восстанию-падению, если они поддерживаются позади очистного забоя в выработанном пространстве. Для указанных выработок характерны следующие условия поддержания: в массиве угля и пород впереди лавы (с влиянием временного опорного давления); в выработанном пространстве в зоне установившегося горного давления (при выходе из зоны влияния очистных работ).

Применительно к сплошной или комбинированной системе разработки, когда откаточный штрек или бортовой ходок опережает лаву на 100–150 м, и с учетом того, что в зоне установившегося горного давления нецелесообразно иметь завышенную площадь сечения выработки, общая формула для определения стоимости ремонта 1 м ее за весь срок службы с учетом построенных моделей имеет следующий вид:

$$r_{\max} = K_5 X_2 + K_6 X_3 + K_4 X_4. \quad (9.37)$$

Если предположить, что в зонах опорного давления впереди и позади лавы содержание выработки безремонтное, то в выражении (9.37) сумма первых двух слагаемых будет равна нулю.

По аналогии с предыдущим случаем для расчетов принимаем следующие условия: глубина работ 400 м, мощность пласта 1,4 м, угол его падения  $8^\circ$ , вмещающие породы средней устойчивости, минимально допустимая площадь сечения штрека (бортового ходка)  $7,6 \text{ м}^2$ , крепь — металлическая трехзвенная арка из спецпрофиля, способ охраны — с одной стороны массив угля, а с другой — бутовая полоса (со стороны выработанного пространства). Переменные: скорость подвигания лавы (срок службы выработки) и площадь сечения выработки (с пределом  $18 \text{ м}^2$ ).

Для указанных условий  $k_{2к} = 1$ ,  $k_{2н} = 1$ ,  $k_y = 1$ ,  $k_{1к} = 1,4$ ,

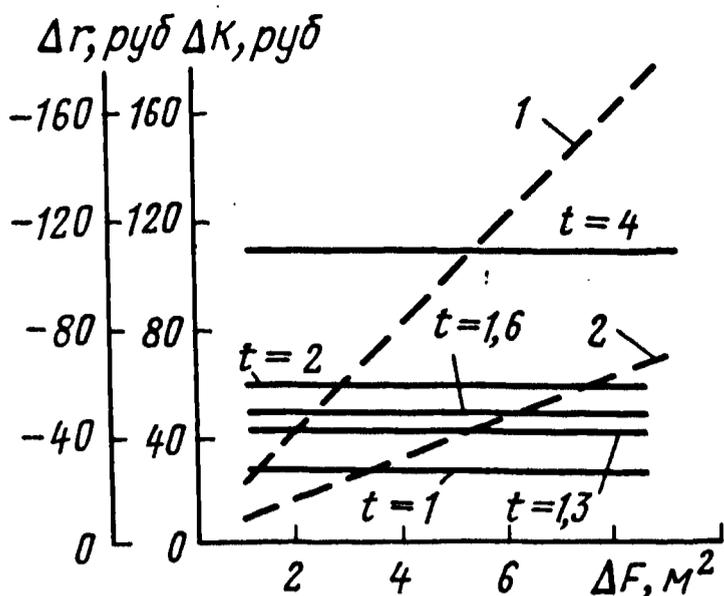


Рис. 9.6. График прироста стоимости проведения  $\Delta K$  и снижения затрат на ремонт  $\Delta r$  1 м выработки, поддерживаемой в зоне влияния очистных работ, за весь срок ее службы  $t$  (лет) в зависимости от увеличения минимально необходимой площади поперечного сечения на  $\Delta F$ :  
1, 2 — соответственно при буровзрывном и комбайновом способах проведения

$k_{3к} = 1, k_{3н} = 1, k_0 = 1, k_1 = 1,38, k_{4к} = 1, k_{4н} = 1, r'_{2\min} = 0,3, r'_{3\min} = 6,1, r'_{4\min} = 1,1.$

При скорости подвигания лавы 32–125 м/мес при длине выемочного участка (столба) 1500 м срок службы будет равен 1–4 годам.

Для определения исходного положения (ремонт выполняют во всех зонах) считаем, что первая площадь сечения выработки соответствует минимально допустимой ( $7,6 \text{ м}^2$ ). В этом случае стоимость ремонта 1 м выработки за срок службы (1; 1,3; 1,6; 2 и 4 года) согласно формуле (9.37) составит соответственно 31,3; 47,7; 35; 67,5 и 127 руб/м.

Как было доказано выше, заранее увеличивать площадь сечения выработки следует только для ликвидации ремонта ее в зонах влияния очистных работ, т.е. для устранения перекрепления выработки.

Установим предел целесообразного увеличения площади поперечного сечения выработки. На графике (рис. 9.6) показано изменение стоимости проведения и ремонта выработки за весь срок ее службы в зависимости от предела завышения минимально допустимой площади сечения. Считается, что если при любом увеличении площади сечения оно приведет к ликвидации ремонта в зоне влияния лавы, то экономия выразится разницей между общей стоимостью ремонта 1 м за соответствующий срок и стоимостью ремонта 1 м в зоне установившегося горного давления за тот же срок. Например, при сроке службы 1 год общая стоимость ремонта 1 м (без увеличения площади сечения) составляет 31,3 руб. Если увеличение площади сечения (на любую величину) устраняет необходимость в перекреплении, то стоимость 1 м равна 4,2 руб. Таким образом, экономия на содержании 1 м составит  $31,3 - 4,2 = 27,1$  руб. при сроке службы выработок 1 год (рис. 9.7). Аналогично определены уровни снижения стоимости ремонта и при других сроках службы.

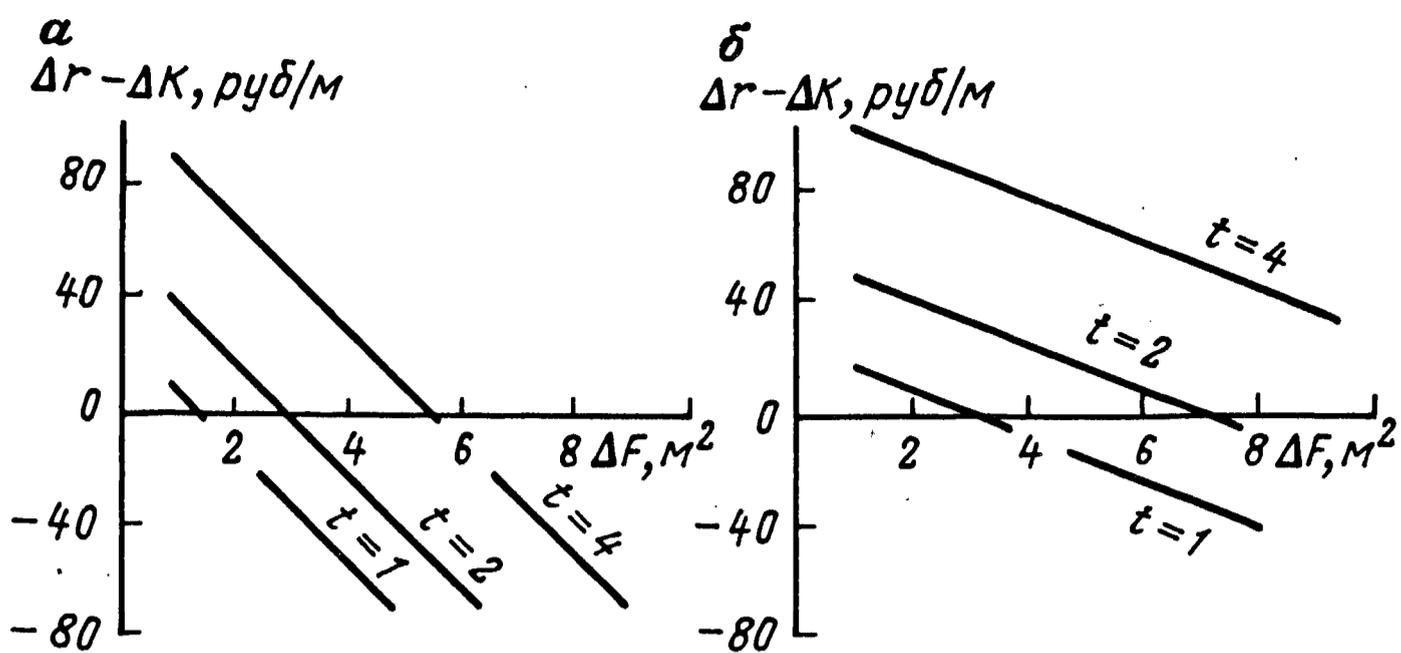


Рис. 9.7. Графики изменения экономического эффекта от поддержания в зоне влияния очистных работ 1 м выработки с заранее увеличенной на  $\Delta F$  площадью поперечного сечения за весь срок ее службы  $t$  (лет):  
 а и б — проводимой соответственно буровзрывным и комбайновым способами

Как видно из графиков (см. рис. 9.7), наиболее целесообразно увеличивать площадь сечения выработок с большим сроком службы, особенно проводимых буровзрывным способом. При комбайновом способе проведения область применения выработок с заранее увеличенной площадью сечения значительно расширится. Для четкого ее ограничения определим величину эффекта, получаемого за счет снижения стоимости ремонта выработок в зоне влияния очистных работ. В расчете на 1 м выработки за весь срок службы этот эффект

$$\mathcal{E}_{\text{под}} = \Delta r - \Delta k, \quad (9.38)$$

где  $\Delta r$  — снижение стоимости ремонта 1 м выработки за весь срок службы (практически оно соответствует стоимости перекрепления 1 м выработки в зоне временного опорного давления впереди забоя лавы и в зоне интенсивных смещений пород позади забоя лавы), руб.;  $\Delta k$  — прирост стоимости проведения 1 м выработки за счет увеличения площади поперечного сечения, руб.

Применительно к рассматриваемому случаю поддержания изменение эффекта в зависимости от срока службы и предела завышения минимально допустимой площади сечения характеризуется графиком (см. рис. 9.7).

Приведенные экономические расчеты учитывают только прямые затраты на проведение и содержание выработок. Наряду с прямым экономическим эффектом увеличение сечений горных

выработок дает и косвенный эффект. Это достигается за счет снижения простоев комплекса горных машин в лаве по вневальным причинам. Кроме того, большая ширина выработок, примыкающих к очистному забою, позволяет полностью механизировать выемку угля в нишах.

Таким образом, достижение безремонтного содержания выработок за счет завышения площади поперечного сечения экономически выгодно для большинства типичных геологических и технических условий шахт Донбасса.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Авершин С.Г.* Расчет деформаций массива горных пород под влиянием подземных выработок. Л., ВНИМИ, 1960.

2. *Бажин Н.П., Зяблицкий В.С.* Распространение влияния опорного давления в толще пород междупластья и в штреке при их наработке. — В кн.: Сборник трудов по вопросам исследования горного давления и сдвижения горных пород. Л., ВНИМИ, 1960, вып. 38, с. 102—112.

3. *Бажин Н.П.* О наработке подготовительных выработок. — В кн.: Сборник трудов по вопросам исследования горного давления и сдвижения горных пород. Л., ВНИМИ, 1959, вып. 36, с. 48—56.

4. *Бажин Н.П.* К определению деформаций пород и крепи в наработываемых выработках. — В кн.: Сборник трудов по вопросам исследования горного давления и сдвижения горных пород. Л., ВНИМИ, 1961, вып. 42, с. 96—103.

5. *Бажин Н.П.* К установлению параметров зоны влияния наработки на подготовительные выработки. — В кн.: Труды по вопросам горного давления, сдвижения горных пород и методика маркшейдерских работ. Л., ВНИМИ, 1962, сб. XLVII, с. 10—21.

6. *Бажин Н.П.* Охрана подработываемых подготовительных выработок. М., Недра, 1978.

7. *Барановский В.И.* Влияние природных факторов на выбор способов разработки угольных пластов на глубоких горизонтах. М., Госгортехиздат, 1963.

8. *Бахтин А.Ф.* О сплошной системе разработки с проведением откаточных штреков вслед за лавами на шахтах Донбасса. — Уголь, 1965, № 7, с. 23—26.

9. *Борисов А. А.* Исследование и расчет несущей способности кровли и характеристик крепей. — В кн.: Записки Ленинградского горного института им. Г.В. Плеханова. Госгортехиздат, 1960, том XIII, вып. 1, Горное дело, с. 87—111.

10. *Борисов А.А.* Механика горных пород и массивов. М., Недра, 1980.

11. *Братишко А.С., Прокофьев В.П.* Влияние длины лавы на устойчивость штреков при разработке пологих пластов Донбасса. — Уголь Украины, 1964, № 7, с. 15—17.

12. *Горное* давление в подготовительных выработках угольных шахт /И.А. Давидович, Н.П. Бажин, Ю.П. Коренной и др. М., Недра, 1971.

13. *Горное* давление, сдвижение горных пород и методика маркшейдерских работ. — В кн.: Общие методические положения комплексного исследования проблем горной геомеханики. Л., ВНИМИ, 1970, сб. LXXXI.

14. *Гмошинский В.Г.* Горное давление на пологий угольный пласт в окрестности выработки. — Уголь, 1957, № 6, с. 16—23.

15. *Давидянц В.Т.* Управление кровлей в глубоких шахтах. — В кн.: Разработка угольных месторождений на больших глубинах. М., Углетехиздат, 1956.

16. *Задачник* по подземной разработке угольных месторождений /К.Ф. Сапицкий, Д.В. Дорохов, М.П. Зборщик, В.Ф. Андрушко. М., Недра, 1981.

17. *Защитные* пласты /И.М. Петухов, А.М. Линьков, И.А. Фельдман и др. Л., Недра, 1972.
18. *Зборщик М.П., Братишко А.С., Прокофьев В.П.* Выбор способов охраны и места расположения подготовительных выработок. Киев, Техника, 1970.
19. *Земисев В.Н.* Расчеты деформаций горного массива. М., Недра, 1973.
20. *Зоря Н.М.* О некоторых условиях применения плоского моделирования эквивалентными материалами для изучения процесса сдвижения горных пород и земной поверхности. Тр. ДПИ, 1959, т. XIV, вып. 6, с. 41–46.
21. *Зоря Н.М., Кренив Н.И.* Общие закономерности процесса сдвижения горных пород при разработке пологопадающих пластов угля. Тр. ДПИ, 1959, т. XIV, вып. 6, с. 5–26.
22. *Зоря Н.М., Музафаров Ф.И.* Схема механизма сдвижения толщи пород при выемке пологих пластов угля одиночной лавой. — Уголь Украины, 1966, № 12, с. 9–12.
23. *Кузнецов Г.Н.* Изучение проявления горного давления на моделях. М., Углетехиздат, 1959.
24. *Куклин Б.К.* Выбор совместной разработки пологих пластов Донбасса. М., Госгортехиздат, 1963.
25. *Коренной Ю.П.* Влияние надработки на горные выработки в условиях Карагандинского бассейна. — Уголь, 1961, № 10, с. 23–25.
26. *Костоманов А.И., Касьян Н.Н.* Разгрузка почвы подготовительных выработок при помощи компенсационных щелей. — В кн.: Разработка месторождений полезных ископаемых. Киев, Техника, 1976, вып. 45, с. 24–26.
27. *Костоманов А.И., Касьян Н.Н.* Закономерности смещения контура почвы выработок в зоне влияния очистных работ. — В кн.: Разработка месторождений полезных ископаемых. Киев, Техника, 1975, вып. 42, с. 21–23.
28. *Костоманов А.И., Папоноз В.А., Касьян Н.Н.* Опыт применения способа разгрузки почвы подготовительных выработок взрывом. — В кн.: Охрана горных выработок на шахтах Украины. М., ЦНИЭИуголь, 1976, с. 16–17.
29. *Липкович С.М., Костоманов А.И., Касьян Н.Н.* Пучение почвы подготовительных выработок. — В кн.: Разработка месторождений полезных ископаемых. Киев, Техника, 1975, вып. 42, с. 17–21.
30. *Липкович С.М., Пономарев И.М.* О расположении полевых выработок при разработке пологих пластов в Донбассе. — Уголь, 1962, № 11, с. 20–24.
31. *Липкович С.М., Прокофьев В.П.* Разработка сближенных пластов на шахтах комбината Луганскуголь. — Уголь Украины, 1962, № 3, с. 19–21.
32. *Липкович С.М., Пономарев И.М., Костоманов А.И.* Влияние последовательности отработки пластов на устойчивость штреков в глубоких шахтах. — Уголь Украины, 1963, № 2, с. 3–5.
33. *Лунов Э.П., Снегирев Ю.Д., Вяльцев М.М.* Проявление горного давления при надработке горных выработок. — Уголь, 1961, № 5, с. 20–29.
34. *Медянцев А.Н., Мазурова А.И.* Определение исходных параметров процесса сдвижений земной поверхности в Донбассе. — В кн.: Сборник

трудов по вопросам исследования горного давления и сдвижения горных пород. Л., ВНИМИ, 1961, № XLII, с. 140—155.

35. *Музафаров Ф.И.* Некоторые закономерности процесса сдвижения горных пород при разработке свиты пологопадающих пластов угля. — В кн.: Разработка месторождений полезных ископаемых. Киев, 1964, вып. 11, с. 65—72.

36. *Музафаров Ф.И.* Исследование общих закономерностей процесса сдвижения толщи горных пород и земной поверхности методом объемного моделирования для условий разработки пологих пластов Донбасса. Автореф.канд.дис. Донецк, ДПИ, 1965.

37. *Найдыш А.М., Братишко А.С., Чуйков Г.Л.* Влияние глубины разработки на стоимость поддержания штреков в пологих угольных пластах Донбасса. — Уголь, 1963, № 7, с. 20—22.

38. *Петухов И.А.* Некоторые вопросы влияния угла падения пласта на процесс сдвижения горных пород. — Тр. ВНИМИ, Л., 1958, т. XXXII, с. 3—22.

39. *Пиховкин В.С.* Размеры зон проявления опорного давления на пологих пластах Донбасса. — Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 1974, № 6, с. 115—116.

40. *Сдвижение горных пород при подземной разработке угольных и сланцевых месторождений /А.Г. Акимов, В.И. Земисев, Н.Н. Каннельсон и др. М., Недра, 1970.*

41. *Уокер А.* Теория управления давления горных пород. — В кн.: Горное давление. М., Госгортехиздат, 1961, с. 200—226.

42. *Федько А.М.* Рациональные параметры расположения полевых выработок при разработке пологих пластов. — Уголь Украины, 1965, № 5, с. 19—20.

43. *Цыба Ф.М.* Разработка сближенных пластов. М., Госгортехиздат, 1962.

44. *Черняев В.И.* Об устойчивости подготовительных выработок, пройденных по пластам  $k_5$  и  $k_7$  на шахтах треста Краснолучуголь. — В кн.: Горное давление, сдвижение горных пород и методика маркшейдерских работ. Л., ВНИМИ, 1964, сб. I, II, с. 278—287.

45. *Черняк И.Л., Бурчаков Ю.И.* Управление горным давлением в подготовительных выработках глубоких шахт. М., Недра, 1984.

46. *Шумейко В.И., Тиминский В.Н., Орешкин В.Д.* Исследования сдвижения пород при надработке штреков на шахтах треста Нововолынск-уголь. — Уголь, 1962, № 12, с. 14—17.

47. *Шушков А.М.* Прогнозирование проявлений горного давления и определение размеров предохранительных целиков у основных наклонных выработок в условиях Донецкого бассейна. Автореф.канд.дис. Л., ЛГИ, 1971.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	3
<b>1. Закономерности сдвижения толщи пород при разработке пологих пластов . . . . .</b>	<b>4</b>
1.1. Сдвижение толщи массива горных пород . . . . .	4
1.2. Распределение горного давления в толще пород . . . . .	10
1.3. Влияние порядка отработки пластов в свите на подготовительные выработки . . . . .	12
<b>2. Шахтные и лабораторные исследования проявлений горного давления . . . . .</b>	<b>14</b>
2.1. Измерения горного давления в выработанном пространстве . . . . .	14
2.2. Особенности сдвижения толщи пород при разработке свиты пластов . . . . .	20
<b>3. Дополнительное горное давление у границ очистных работ . . . . .</b>	<b>23</b>
3.1. Исходные положения . . . . .	23
3.2. Определение дополнительного горного давления при разработке одиночного пласта . . . . .	26
3.3. Определение дополнительного горного давления при разработке свиты пластов . . . . .	28
3.4. Выбор порядка отработки пластов в свите . . . . .	31
3.5. Влияние опорного давления на стоимость поддержания подготовительных выработок . . . . .	33
<b>4. Анализ опыта разработки свиты пластов на шахтах Донецко-Макевского района Донбасса . . . . .</b>	<b>35</b>
4.1. Краткая горно-геологическая характеристика . . . . .	35
4.2. Системы разработки и способы охраны подготовительных выработок . . . . .	36
4.3. Порядок разработки пластов . . . . .	37
<b>5. Устойчивость штреков при раздельной разработке пластов . . . . .</b>	<b>39</b>
5.1. Методика исследований . . . . .	39
5.2. Влияние расстояния до очистных работ . . . . .	42
5.3. Влияние ширины бутовой полосы . . . . .	48
5.4. Расчет ширины бутовой полосы (раскоски) . . . . .	50
5.5. Влияние длины лавы . . . . .	56
5.6. Влияние разработки смежного горизонта . . . . .	59
5.7. Влияние ширины межъярусных целиков . . . . .	61
5.8. Устойчивость штреков при различных способах их охраны . . . . .	63
5.9. Смещение пород на контуре штреков . . . . .	68
<b>6. Влияние порядка разработки пластов на устойчивость подготовительных выработок . . . . .</b>	<b>69</b>
6.1. Влияние нисходящего порядка отработки пластов . . . . .	69
6.2. Влияние восходящего порядка отработки пластов . . . . .	71
6.3. Распределение напряжений в массиве при нисходящем и восходящем порядках отработки пластов . . . . .	75

<b>7. Границы влияния очистной выемки при различном порядке отработки пластов . . . . .</b>	<b>80</b>
7.1. Влияние очистных работ по пласту $l_4$ при нисходящем порядке отработки . . . . .	80
7.2. Влияние очистных работ по пласту $k_8$ при восходящем порядке отработки . . . . .	84
7.3. Расположение подготовительных выработок относительно границ очистных работ по пластам свиты . . . . .	85
<b>8. Поддержание подготовительных выработок при пучащих породах почвы . . . . .</b>	<b>88</b>
8.1. Характер смещений пород вокруг подготовительной выработки .	88
8.2. Способы разгрузки пород почвы выработок . . . . .	95
8.3. Промышленные испытания способов разгрузки пород почвы выработок . . . . .	96
<b>9. Экономическая оценка способов безремонтного поддержания горных выработок . . . . .</b>	<b>99</b>
9.1. Варианты поддержания выработок при различных системах разработки . . . . .	99
9.2. Экономико-математические модели способов безремонтного поддержания выработок . . . . .	101
9.3. Оценка способа завышения площади поперечного сечения выработок . . . . .	108
Список литературы . . . . .	115

**ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ИЗДАНИЕ**

**Афанасий Иванович Костоманов  
Константин Федорович Сапицкий**

**УСТОЙЧИВОСТЬ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК  
ПРИ РАЗРАБОТКЕ СВИТЫ ПОЛОГИХ ПЛАСТОВ**

Редактор издательства *Г.Ф. Григорьев*  
Обложка художника *В.И. Казаковой*  
Художественный редактор *О.Н. Зайцева*  
Технические редакторы *Л.Д. Агапонова, С.В. Китаева*  
Корректор *Н.Г. Гаспарян*  
Оператор *Е.А. Орехова*  
ИБ № 6329

---

Подписано в печать 25.11.86.Т — 22572. Формат 84 x 108 <sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Бумага офсетная № 1. Набор выполнен на наборно-пишущей машине. Гарнитура "Универс". Печать офсетная. Усл.печ.л. 6,30. Усл.кр.-отт. 6,41. Уч.-изд.л. 6,60. Тираж 2600 экз. Заказ *288* /539—7. Цена 35 коп.

---

Ордена "Знак Почета" издательство "Недра",  
125047, Москва, пл. Белорусского вокзала, 3.

Тульская типография Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли,  
300600, г. Тула, проспект Ленина, 109.

35 коп.

НЕДРА