

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



**ГРАНИЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ КОНЦЕНТРАЦИИ ГОРНЫХ РАБОТ
ПРИ ОТРАБОТКЕ СБЛИЖЕННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ
ЗАПАДНОГО ДОНБАССА**

Монография

Днепропетровск
НГУ
2015

УДК 622.272.6

ББК 33.31

Г77

Рекомендовано до друку вченою радою Державного ВНЗ «НГУ»
(протокол № 11 від 29.12.2014).

Рецензенти:

М.С. Четверик – доктор технічних наук, професор, завідувач відділу геомеханічних основ технологій розробки родовищ Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України;

В.І. Голінько – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри аерології та охорони праці Державного ВНЗ «Національний гірничий університет»;

Л.Н. Ширін - доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри транспортних систем і технологій праці Державного ВНЗ «Національний гірничий університет».

Граничные параметры концентрации горных работ при отработке
Г77 сближенных угольных пластов Западного Донбасса : монография /
В.И. Бузило, В.Е. Васильев, Е.А. Яворская, А.В. Яворский, А.Г. Кошка,
В.П. Сердюк ; М-во образования и науки Украины; Нац. горн. ун-т. – Д.:
НГУ, 2015. – 99 с.

ISBN 978 – 966 – 350 – 536 – 7

Посвящена вопросам обоснования параметров концентрации очистных и подготовительных работ при отработке двух сближенных пластов с опережающей надработкой в условиях шахт Западного Донбасса.

На основе метода граничных элементов произведена оценка влияния одновременной отработки двух сближенных угольных пластов на напряженно-деформированное состояние горного массива при опережающей надработке. Результаты расчетов по разработанному алгоритму обобщены и представлены в виде соотношений, характеризующих закономерности проявления горного давления при выемке сближенных пластов в рассматриваемых горно-геологических условиях. Полученные зависимости дают возможность определить безопасное расстояние между подготовительными выработками и очистными работами смежных пластов.

Для студентов, инженерно-технических работников, сотрудников высших учебных заведений, научно-исследовательских институтов и проектных организаций угольной промышленности.

Ил. 45. Библиогр.: 143 назв.

УДК 622.272.6

ББК 33.31

© В.І. Бузило, В.Є. Васильєв, О.О. Яворська,
А.В. Яворський, О.Г. Кошка, В.П. Сердюк, 2015

ISBN 978 – 966 – 350 – 536 - 7

© Державний ВНЗ «Національний
гірничий університет», 2015

ВВЕДЕНИЕ

Характерной особенностью залегания пластов Западного Донбасса является то, что разрабатываемая свита, состоит преимущественно из трех - шести пар сближенных пластов, мощность междупластья которых составляет менее 12 м. В таких пластах сосредоточено около 40% балансовых запасов шахт. Максимальные расстояния между смежными пластами не превышают 50 м. Еще одной особенностью региона является то, что практически все запасы сосредоточены в тонких и весьма тонких угольных пластах.

В связи с небольшой мощностью пород междупластий отработка сближенных пластов ведется в нисходящем порядке. При этом, до последнего времени, горные работы по надрабатывающему (верхнему) пласту велись с опережением как минимум на один - два выемочных столба. Это позволяло размещать горные выработки нижнего пласта в надработанной зоне, вне зоны влияния очистных работ верхнего пласта.

Согласно положениям «Энергетической стратегии Украины до 2030 года», одним из основных направлений экономического и социального развития Украины является повышение эффективности работы угледобывающей отрасли за счет увеличения объемов добычи угля, снижения его себестоимости и повышения уровня рентабельности шахт. Решение этих задач в условиях Западного Донбасса невозможно без увеличения интенсивности отработки пластов. Поэтому, уже сегодня, на ряде шахт возникает необходимость максимального сокращения расстояний между очистными и подготовительными работами, выполняемыми на смежных пластах, то есть стоит вопрос о концентрации горных работ. В частности, на шахте «Степная» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» при отработке сближенных пластов c_6 и c_6' с мощностью междупластья 10...11 м, было принято решение о заложении бортового штрека пласта c_6 на расстоянии 15 м по нормали от краевой части пласта c_6' . Это решение базировалось на рекомендациях существующей нормативной методики УкрНИМИ. В результате выработка попала в зону влияния очистных работ вышерасположенной лавы пласта c_6' . Для ее восстановления была произведена подрывка пород почвы и последующее перекрепление по всей длине. При этом фактические затраты на восстановление 1 п.м. выработки составили 1928,35 грн., в то время как затраты на проведение 1 п.м. новой выработки составляли 2039,43 грн. Это показало, что существующие нормативные методики не обеспечивают необходимой устойчивости выемочных выработок и не могут быть использованы для обоснования безопасных границ концентрации горных работ на сближенных пластах в условиях шахт Западного Донбасса.

Вопросы обоснования безопасных границ концентрации горных работ при отработке сближенных пластов до сих пор остаются открытыми. В связи с этим актуальной научной и практической задачей является оценка влияния горных работ на напряженно-деформированное состояние породного массива, определения границ безопасного и экономически целесообразного расположения очистных и подготовительных выработок при ведении горных работ на сближенных пластах. Этому и посвящена монография.

В проведении натурных исследований участвовали сотрудники кафедры «Подземной разработки месторождений» Государственного ВУЗ «Национальный горный университет» и работники шахты «Степная» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь». Разработка вычислительных программ выполнялась совместно с сотрудниками кафедры высшей математики Национального горного университета профессором Л.В. Новиковой и доцентом Л.И. Заславской. Всем им авторы выражают искреннюю благодарность.

ГЛАВА 1. СПЕЦИФИКА ОТРАБОТКИ СБЛИЖЕННЫХ ПЛАСТОВ В УСЛОВИЯХ ШАХТ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА

1.1 Горно-геологическая характеристика условий отработки сближенных пластов в Западном Донбассе

Продуктивная толща Западного Донбасса сложена палеозойскими, мезозойскими и кайнозойскими осадочными образованиями, залегающими на породах докембрийского кристаллического фундамента (Украинский кристаллический щит).

Каменноугольные отложения представлены тремя отделами карбона – нижним, средним и верхним. Общая мощность карбона изменяется от 3000...3500 м на востоке и до 150 м на западе. Промышленная угленосность в пределах осваиваемой площади приурочена к каменноугольным отложениям Самарской свиты C_I^3 нижнего отдела карбона [1 - 4].

Промышленное значение имеют от 6 до 24 пластов. К числу наиболее выдержанных с преобладающей мощностью от 0,7 до 1,2 м относятся пласты c_{10}^6 , c_9 , c_8^6 , c_8^H , c_7^H , c_6^1 , c_6 , c_5 , c_4^1 , c_4^6 , c_2 и c_1 , которые в настоящее время разрабатываются 10-ю шахтами ОАО ГХК “Павлоградуголь” [5,6,7]. Углы падения угольных пластов – $0...6^0$, глубина залегания – от 60 до 900 м.

В свите, как правило, залегают 3...6 пар сближенных пластов при минимальной мощности междупластьев 10...12 м и максимальной – 50...85м.

Подробный геолого-промышленный очерк Западного Донбасса представлен в отчете [1]. Геологические условия региона описаны также в публикациях, связанных с обоснованием способов подготовки смежных пластов и их разработки [8, 9, 10]. Литологически углевмещающая толща сложена аргиллитами, алевролитами и песчаниками, содержание которых составляет соответственно 32,5; 41,5 и 18,0%. Содержание углей в толще колеблется в пределах 2,2...7,4% [2].

Прочностные свойства вмещающих пород существенно зависят от их пористости, трещиноватости и влажности, и изменяются в широком диапазоне. Например, пределы прочности на одноосное сжатие аргиллитов, алевролитов и песчаников составляют соответственно 12...33 МПа, 8...28 МПа и 10...44 МПа. Естественная влажность пород составляет 2...10% и уменьшается с глубиной. Усредненные физико-механические характеристики угля и пород кровли и почвы для условий действующих шахт Западного Донбасса по данным работ [7,11,12] приведены в таблице 1.1.

Приведенные в таблице 1.1. данные свидетельствуют, что в рассматриваемых горно-геологических условиях вмещающие породы имеют меньшую прочность, чем уголь. По этой причине разработка пластов сопровождается пучением почвы, выдавливанием пород с боков и кровли в выработки. Натурные наблюдения показали, что мощность слоев, охваченных пучением, может достигать 6...7 м причем пучение почвы подготовительных выработок в зонах влияния очистных работ составляет 60...70% от величины конвергенции [10, 13, 14].

Таблица 1.1

Характеристика условий залегания тонких пластов на шахтах Западного Донбасса

Шахта	Пласт	Глубина разра-ботки, м	Мощ-ность, м	Физико-механические свойства													
				Уголь				Кровля				Почва					
				$\sigma_{сж.}$, МПа	γ , т/м ³	$E \cdot 10^{-3}$, МПа	ν	порода	$\sigma_{сж.}$, МПа	γ , т/м ³	$E \cdot 10^{-3}$, МПа	ν	порода	$\sigma_{сж.}$, МПа	γ , т/м ³	$E \cdot 10^{-3}$, МПа	ν
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Юбилейная	C ₆	130...370	0,91	30	1,38	3,3	0,35	алевр. ср.уст.	35	2,8	2,9	0,3	алевр. ср.уст.	35	2,9	2,9	0,3
	C ₆ ¹	120...360	0,71...0,73	30	1,44	3,1	0,33	аргил., алевр. ср.уст.	30	2,9	2,9	0,3	алевр. ср.уст.	30	2,8	2,9	0,3
Степная	C ₆	140...200	0,9	30	1,40	3,5	0,36	песч.	40	3,1	2,8	0,3	алевр.	40	3,1	2,8	0,3
	C ₆ ¹	130...190	0,67	30	1,44	3,6	0,38	аргил. ср.уст.	30	2,8	2,9	0,3	алевр., аргил.	30	2,8	2,9	0,3
Павлоград-ская	C ₅	140	1,00...1,55	25...30	1,4...1,5	3,4	0,39	аргил. неуст.	10	2,6	2,8	0,3	аргил. неуст.	10	2,6	2,8	0,3
	C ₂ ^B	160	0,78	30	1,37	3,3	0,4	аргил. неуст.	10...15	2,6	2,7	0,3	аргил., алевр. ср.уст.	10...15	2,6	2,7	0,3
Героев Космоса	C ₁₀ ^B	350	1,03	30	1,48	3,5	0,4	аргил. неуст.	8...12	2,9	3,0	0,3	аргил. неуст.	8...12	2,9	3,0	0,3
	C ₁₁	370	1,03	30	1,5	3,6	0,4	песч. неуст.	15...20	3,0	3,0	0,3	аргил. неуст.	15...20	3,0	3,0	0,3

Продолжение табл 1.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Самарская	C ₁	160... 185	0,89... .1,2	40	1,32... 1,6	3,7	0,4	аргилл. неуст.	10...15	2,8	2,9	0,35	аргилл. неуст.	10...1 5	2,8	2,9	0,35
	C ₄	100... 140	0,8... 0,83	40	1,39	3,5	0,4	аргилл. неуст.	15...20	2,65	2,6	0,3	аргилл. неуст.	15...2 0	2,6	2.	0,3
Благодагная	C ₇ ^H	90... 180	0,8... 1,3	35	1,48	3,5	0,4	аргилл. неуст.	10	2,65	2,8	0,3	аргилл. неуст.	10	2,65	2,8	0,3
	C ₈	90... 140	1,08... 1,22	40	1,48	3,3	0,38	аргилл. неуст.	15	2,62	2,7	0,3	аргилл. неуст.	15	2,62	2,7	0,3
Им. Сташкова	C ₉	100... 130	1,10... 1,12	30...40	1,44	3,6	0,36	аргилл. неуст.	8...10	2,64	2,6	0,3	аргилл. неуст.	8...1 0	2,64	2,6	0,3
	C ₁ ^B	225	1,05... 1,22	40	1,42... 1,6	3,3	0,35	аргилл. неуст.	20	2,64	2,8	0,3	аргилл. неуст.	20	2,64	2,8	0,3
Терновская	C ₅	175... 220	0,7... 0,85	30...40	1,37... 1,4	3,2	0,33	аргилл. неуст.	20	2,65	2,8	0,3	аргилл. неуст.	20	2,65	2,8	0,3
	C ₄ ^B	240... 270	0,94... 0,95	30	1,39	3Д	0,33	аргилл. неуст.	20	2,65	2,8	0,3	алевр. ср. уст.	20	2,65	2,8	0,3
Днепро- ская	C ₆ ^B	170... 200	0,9...0, 95	30...40	1,46	3,2	0,32	аргилл. сл. уст.	20...25	2,65	2,7	0,3	алевр. неуст.	20...2 5	2,65	2,7	0,3
	C ₈ ^B	190... 280	1,12... 1,15	30	1,68... 1,9	3,5	0,4	аргилл. неуст.	15...20	2,8	2,5	0,3	аргилл. неуст.	15... 20	2,8	2,5	0,3
Западно- Донбасская	C ₁₀ ^B	135... 235	1,10... 1,16	30	1,44	3,5	0,4	алевр. неуст.	15...25	2,65	2,8	0,3	алевр. ср.уст.	15... 25	2,65	2,8	0,3
	C ₈ ^B	480	0,91	30	1,25	3,6	0,4	аргилл. неуст.	8...10	2,65	2,8	0,3	аргилл. неуст.	8... 10	2,65	2,8	0,3
	C ₈ ^H	480	1,28	30	1,42	3,6	0,38	алевр. неуст.	15...20	2,9	2,9	0,3	аргилл. неуст.	15... 20	2,9	2,9	0,3

Процессу пучения и выдавливания пород в выработки способствуют и реологические свойства вмещающих пород, особенно аргиллитов. Судя по данным лабораторных испытаний образцов, эти свойства обнаруживаются уже при нагрузке, составляющей всего 20% от разрушающей. По данным ВНИМИ [12] параметры ползучести δ , $c^{0,3}$ песчаника, алевролита, аргиллита и угля составляют соответственно $3,28 \cdot 10^{-3}$, $5,54 \cdot 10^{-3}$, $1,17 \cdot 10^{-2}$ и $2,32 \cdot 10^{-3}$, а безразмерный параметр α всех этих пород и угля примерно равен 0,7. Величины деформаций ползучести достигают 50...100% от условно мгновенных, а характер деформирования близок к линейному [15, 16, 6, 17]. В этом случае деформации пород во времени адекватно описываются с помощью модели линейной наследственной ползучести с ядром типа Абеля [18].

Можно привести целый ряд примеров использования упомянутой модели в геомеханике. Так, в работах [19, 20] на ее основе исследуется длительная прочность карнолитовых и калийных целиков.

В работах [21, 22] она применена при обосновании технологических параметров разработки пыльных известняков, в работах [23, 24] – при анализе бурошнековой выемки тонкого марганцеворудного пласта, а в работах [25, 26] с ее помощью определяются рациональные параметры отработки целиков на шахтах Западного Донбасса. И везде данный подход оказывался достаточно эффективным и результативным. Поэтому и в монографии массив пород в случае отработки сближенных пластов имитируется линейно-наследственной средой с ядром ползучести Абеля.

1.2 Способы отработки сближенных пластов на шахтах

ПАО “ДТЭК Павлоградуголь”

В настоящее время запасы шахт ПАО “ДТЭК Павлоградуголь” представлены тонкими и весьма тонкими угольными пластами мощностью 0,6...1,2 м пологого залегания. Около 40% балансовых запасов шахт сосредоточено в сближенных пластах с размерами междупластий 7...14 м (шахты “Степная”, “Юбилейная”, “Западно-Донбасская”). На шахте “Терновская” расстояние между отрабатываемыми пластами составляет 30...60 м, на шахтах “Павлоградская”, “Самарская”, им. Н.И. Сташкова – 37...40 м, а на шахте “Благодатная” мощность междупластий колеблется от 25 до 85 м. Глубина разработки $H = 160...400$ м. Конкретные значения по шахтам региона приведены в таблице 1.1. В почве и кровле залегают неустойчивые аргиллиты, алевролиты и легко обрушаемые песчаники (табл. 1.1).

Условия залегания сближенных пластов на шахтах Западного Донбасса отражает стратиграфическая колонка, представленная на рис. 1.1.

На всех шахтах применяют погоризонтную подготовку шахтных полей с отработкой пластов длинными столбами.

Столбы отрабатываются чаще всего по восстанию спаренными или одинарными лавами. Длина столбов составляет 900...2500 м. Длина лав изменяется в пределах 160...200 м. Управление кровлей – полное обрушение.

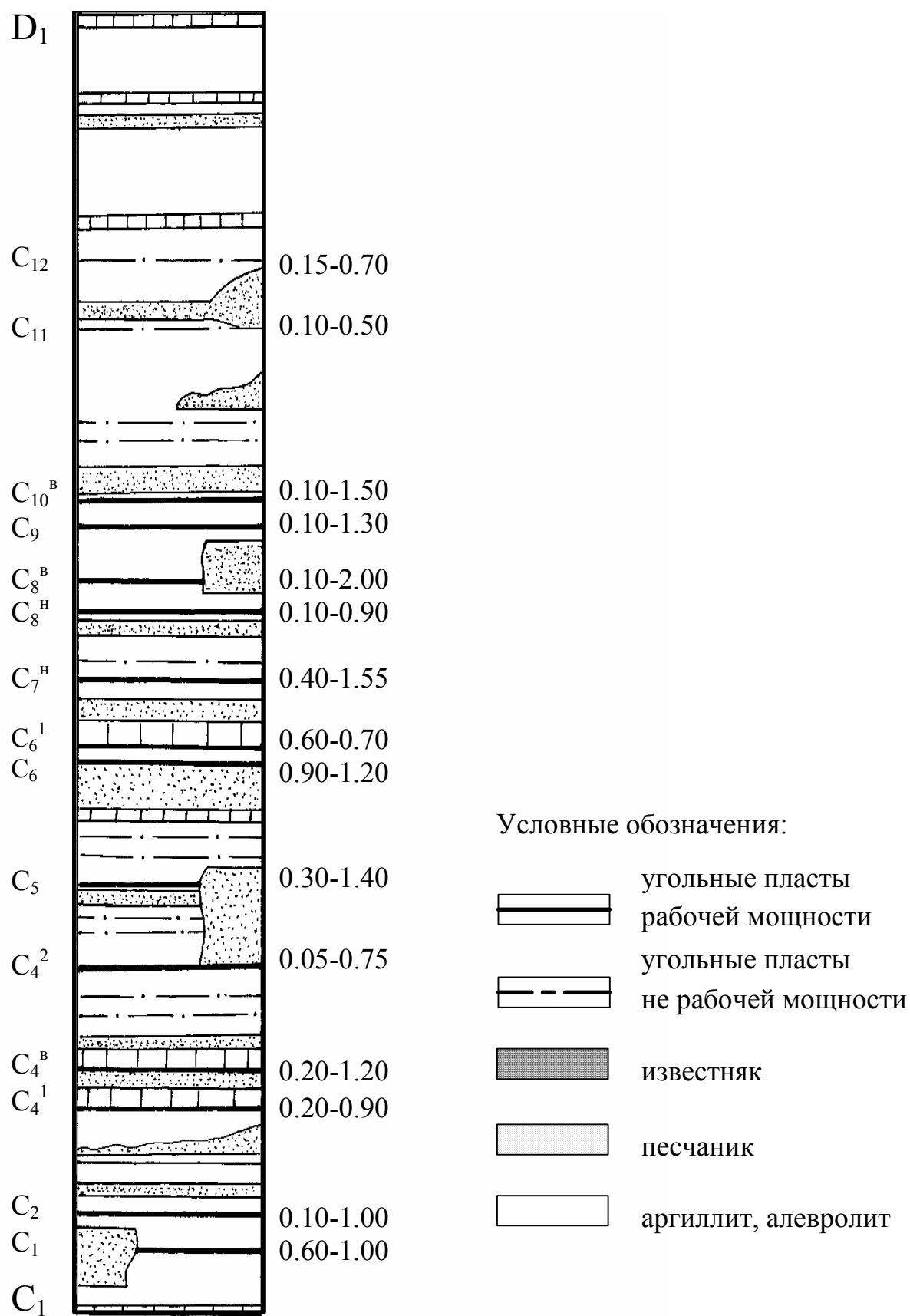


Рис. 1.1 Типичный стратиграфический разрез угленосной толщи Западного Донбасса

Лавы оборудованы механизированными комплексами КМК-97М с комбайном МК-67, КД-80 с комбайном КА-80 или 1К101У, КД-90 с комбайном КА-200, КД-99 с комбайном КА-200 и ДМ с комбайном 1ГШ-200 или 1 К101У.

Одновременно разрабатываются несколько пластов в свите, в основном в нисходящем порядке. Вместе с тем нормативными документами, регламентирующими отработку сближенных пластов, предусматривается в равной степени и восходящий порядок отработки [27]. Ограничением при этом служит мощность междупластья. При отработке с полным обрушением пород кровли требуется, чтобы мощность междупластья была не меньше 12 *m* (*m* – мощность пласта) при восходящем порядке отработки и не меньше 6 *m* – при нисходящем.

Однако, в этих рекомендациях ничего не говорится в отношении физико-механических свойств угля и вмещающих пород, от которых собственно и зависит напряженно-деформированное состояние кровли и почвы отрабатываемых смежных пластов.

Соотношения, связывающие допустимую мощность междупластья с геометрическими параметрами отрабатываемого пласта, приводятся в работах [28, 29, 30], но они получены исходя из экспериментальных наблюдений, и поэтому область их применения ограничена.

Очевидно, в каждом конкретном случае допустимую мощность междупластья необходимо определять на основе анализа напряженно-деформированного состояния угля и вмещающих пород в окрестности очистных забоев на сближенных пластах с учетом соответствующих горно-геологических и горнотехнических условий. На данный параметр, кроме того, влияет расстояние между очистными забоями на смежных пластах. Определяющими при этом являются размеры зон разрушенных пород и размеры зон опорного давления в исследуемой области массива.

Все эти аспекты учитываются в монографии при обосновании упомянутых параметров технологических схем отработки сближенных пластов в рассматриваемых горно-геологических условиях.

1.3 Условия проведения и поддержания подготовительных выработок при разработке сближенных пластов Западного Донбасса

При разработке сближенных пластов первоочередной технической задачей является исключение взаимного влияния очистных и подготовительных работ на горные выработки смежного пласта, с целью обеспечения их эксплуатационной устойчивости. Технологическая детализация вариантов отработки сводится, главным образом, к выбору мест расположения выработок [27, 31, 32]. Существующая практика и теоретические исследования, выполненные во ВНИМИ, НГУ, ДонУГИ, ДПИ, свидетельствуют о том, что для обеспечения устойчивости участков подготовительных выработок их нужно располагать в зонах разгрузки [29,33,34,35,36,37]. При этом эксплуатационная устойчивость выработок обеспечивается, если сохраняются соответствующие

зоны разгрузки. Этой цели могут служить защитные полосы угля по разрабатываемому пласту и предохранительные целики по смежным [37, 38]. Достаточно надежным является способ многократной разгрузки с использованием закладочных массивов [39].

Применительно к условиям Западного Донбасса рассмотренные способы охраны подготовительных выработок в большей степени могут быть отнесены к магистральным и другим выработкам, которые находятся вне зоны влияния очистных работ. Выемочные же выработки при их заложении в зонах разгрузки, которые образуются на границе очистных работ под выработанным пространством вышележащего пласта, после выемки краевой его части очередной лавой будут подвергнуты резко увеличивающемуся горному давлению, со всеми вытекающими отсюда последствиями.

В настоящее время при назначении мест расположения выработок, выборе способов и параметров крепления и охраны выработок на шахтах руководствуются отраслевыми документами, составленными на основе указаний ВНИМИ [6, 31, 40, 41]. Структура массива и изменение напряженного состояния вмещающих пород, вызванное очистными работами, учитываются посредством эмпирических коэффициентов, которые не могут в полной мере отразить конкретные горно-геологические условия и специфические горнотехнические ситуации. По этой причине принимаемые технические решения зачастую оказываются неэффективными. На шахтах Западного Донбасса выемочные штреки закреплены металлической арочной податливой крепью КМП-3А либо КШПУ из спецпрофилей СВП-17 – 27. Охрана повторно используемых выемочных выработок осуществляется: целиками угля; деревянными кострами; органной крепью (шахты “Степная”, “Юбилейная”, им. Героев Космоса); бутовыми (шахта “Благодатная”) и литыми (шахта “Самарская”) полосами. Несмотря на это, в зонах повышенного горного давления происходит выдавливание пород почвы в выработку, вдавливание крепи в почву, имеет место расслоение пород кровли.

Для того, чтобы привести в соответствие способ и параметры крепления и охраны выработок с конкретными горно-геологическими условиями, необходимо проанализировать напряженное состояние исследуемой области породного массива и установить границы зон разгрузки и повышенного горного давления.

В работе [42] для условий шахт Западного Донбасса границы зоны разгрузки от погашенной подготовительной выработки определены экспериментальным путем и на их основе сформулированы рекомендации по размещению подготовительной выработки на смежном пласте. Однако автор рассмотрел конкретную ситуацию и не привел каких-либо обобщающих соотношений.

Более точная оценка степени влияния очистных работ на подготовительные выработки обрабатываемых сближенных пластов при надработке и подработке путем математического моделирования выполнена в работе [43], но применительно к условиям Львовско-Волынского бассейна.

В данной работе подобный подход используется для выявления факторов, наиболее существенно влияющих на напряженно-деформированное состояние пород почвы и кровли, для определения рационального месторасположения выработок на шахтах Западного Донбасса.

1.4 Анализ исследований, посвященных проблемам отработки сближенных пластов

В развитии изучения напряженно-деформированного состояния (НДС) массива применительно к разработке свиты пластов можно выделить два основных направления.

Первое связано с представлением породного массива как сплошной среды, обладающей упругостью, пластичностью, реологическими свойствами. При разработке теоретических методов их исследования используются результаты натуральных и лабораторных испытаний, в том числе на моделях из эквивалентных материалов [44-53]. В расчетных алгоритмах этого направления, как правило, используются численные методы геомеханики. Большинство решений относятся к конкретным горно-геологическим условиям, часто не содержат обобщающих данных и поэтому не могут быть распространены на другие условия.

Ко второму относятся исследования, использующие схемы раздельно-блочных систем и сыпучих сред и опирающиеся на различные гипотезы, например, на гипотезу возможных перемещений или ступенчатого опускания кровли и др. [54-59].

При анализе напряженно-деформированного состояния породного массива, вмещающего очистные выработки, выделяют зоны нагрузки, беспорядочного обрушения, предельного напряженного состояния и опорного давления [58-65]. Определение границ этих зон необходимо для обоснования технологических и геометрических параметров систем разработки и для нахождения рациональных параметров крепления и охраны подготовительных выработок в области, подверженной влиянию очистных работ.

Конфигурация названных зон и величины напряжений в них зависят, прежде всего, от физико-механических свойств пород почвы и кровли, от структуры массива. Влияют также мощность вынимаемого пласта, глубина разработки и место расположения выработки.

Первые работы по расчету опорного давления опирались на данные натуральных наблюдений [66, 67], либо на модель упругой полуплоскости с горизонтальной прямоугольной щелью на произвольной глубине [68, 69] и касались однородной среды. В последующих работах как теоретических, так и экспериментальных, объектами исследований были слоистые массивы и изучалось напряженно-деформированное состояние в условиях наработки и подработки [70-74]. При задании граничных условий использовались результаты измерений, выполненных на шахтах России. По этой причине данные решения не могут быть использованы при рассмотрении условий шахт Западного Донбасса.

Более широкие возможности открывает алгоритм Шварца, в котором очистная выработка аппроксимируется щелью. В работах [75-78] данный метод использован при разработке расчетного алгоритма для прогноза напряженно-деформированного состояния массива и создания многокритериального подхода к построению зон повышенного горного давления и зон разгрузки при отработке свит пластов. Автор воспользовался принципом суперпозиции и рассмотрел в расчетном алгоритме не одну расчетную схему со всеми взаимовлияющими забоями, а несколько, чтобы проследить перераспределение напряжений в процессе последовательной отработки каждого из пластов свиты. Однако применение принципа суперпозиции на стадии разрушения массива не вполне правомочно. Кроме того, рассмотренные расчетные схемы не включали подготовительных выработок.

В работах [79-84] с помощью метода конечных элементов проанализировано влияние на величину и характер распределения напряжений вокруг механизированного очистного забоя таких факторов, как глубина разработки, мощность пласта и длина лавы. Рассмотрены различные горно-геологические условия, но применительно к разработке одиночного пласта. Для условий же шахт Западного Донбасса и ПАО «ДТЭК Павлоградуголь», в частности, важен прогноз напряженно-деформированного состояния при отработке свиты пластов.

В работе [85] на основе испытаний объемных моделей из эквивалентных материалов получена картина расположения областей повышенных и пониженных напряжений вокруг подработанной и надработанной выработок. Но при физическом моделировании геомеханических процессов, как известно, можно получить лишь относительные, а не абсолютные величины напряжений и, следовательно, можно говорить лишь о качественной картине напряженно-деформированного состояния.

Имеющиеся данные натурных испытаний, выполненных в условиях шахт Кузбасса, Центрального Донбасса и на шахтах объединения «Шахтерскуголь» при отработке сближенных пологих и наклонных пластов на различных глубинах, свидетельствуют, что в случае отработки сближенных пластов, с увеличением глубины, степень влияния опорного давления возрастала. Происходили структурные изменения (разрыхление и уплотнение) отрабатываемого и смежных пластов, наблюдались завалы в очистных и подготовительных выработках, причем последние имели место даже при сравнительно больших мощностях междупластья [86-88]. Это говорит о том, что в каждом конкретном случае нужно учитывать специфические горно-геологические и горнотехнические условия.

Для условий шахт Западного Донбасса применимы рекомендации [40, 89], касающиеся последовательности отработки весьма сближенных пластов и места расположения подготовительной выработки, сформулированные на основе данных шахтных наблюдений.

Авторы работ [90, 91], изучая этот вопрос применительно к условиям надработки, исходили из математического эксперимента по методу латинского квадрата. Однако из физико-механических свойств междупластья в поле зрения

авторов были только модули упругости первого и второго рода, а прочностные характеристики не учитывались. Не варьировались также и параметры разрабатываемого пласта.

Известные к настоящему времени расчетные алгоритмы по определению параметров систем разработок большей частью основаны на применении метода конечных элементов. Теоретические основы этого метода и его многочисленные применения к решению линейных и нелинейных задач геомеханики описаны в монографиях [92-97]. Однако необходимость дискретизации всей исследуемой области массива приводит к системам линейных алгебраических уравнений высокого порядка. Поэтому исследователи все чаще обращаются к методу граничных элементов (МГЭ). В соответствии с этим методом конечными элементами аппроксимируются только границы исследуемых областей. При этом, естественно, меньше времени тратится на подготовку входной информации, значительно понижается порядок формируемой системы уравнений и облегчается ее решение.

Математические основы МГЭ, его механическая сущность и различные практические приложения описаны в работах [98-100], в том числе в публикациях иностранных авторов [101-106].

О широких возможностях реализации МГЭ в самых разнообразных и сложных задачах геомеханики свидетельствуют работы [97,99-101,107,108], касающиеся разработки свит угольных пластов. Так, эффективный расчетный алгоритм, разработанный на основе МГЭ, применен к обоснованию параметров разработки сближенных угольных пластов механизированными лавами в работах [43, 109-111]. В них приводятся обобщающие корреляционные зависимости для расчета напряжений и смещений в породах междупластья, полученные для условий Львовско-Волынского бассейна.

Очевидно, аналогичные зависимости необходимо иметь и для обоснования параметров технологических схем разработки свит угольных пластов в условиях шахт Западного Донбасса. В этом отношении математическое моделирование горнотехнических ситуаций методом граничных элементов в сочетании с корреляционным анализом получаемых результатов представляется, при современном положении дел, наиболее рациональным подходом к решению задач геомеханики.

Анализ напряженно-деформированного состояния исследуемых областей массива включает установление границ зон повышенного горного давления и зон разгрузок. Протяженность и месторасположение их зависят от используемого критерия прочности пород.

В области сжатия массива прочность пород часто оценивается по гипотезе наибольшего нормального напряжения, а в области, где появляются растягивающие напряжения, их полагают равными нулю (большинство пород слабо сопротивляются растяжению), т.е. породный массив как бы считают «средой без растяжения» [57, 94, 112, 113]. Если все же необходимо учесть степень сопротивления пород растяжению, используется либо гипотеза наибольших касательных напряжений (критерий Мора) [114, 115], либо гипотеза прочности П.П. Баландина [19, 110].

Учитывая то, что в критерии П.П. Баландина не только отражено свойство пород по-разному сопротивляться растяжению и сжатию, но и рассматриваются все компоненты тензора напряжений, в данной работе будет использован именно этот критерий.

В итоге приходим к следующим выводам:

1) при обосновании параметров технологических схем отработки сближенных пластов, адекватных рассматриваемым горно-геологическим условиям, определяющими факторами являются структура массива, физико-механические свойства угля и вмещающих пород, а также специфические условия ведения горных работ (надработка);

2) по данным лабораторных исследований величины деформаций ползучести пород почвы и кровли (аргиллит, алевролит, песчаник) в подготовительных выработках в рассматриваемых горно-геологических условиях составляют 50...100% от условно мгновенных, а характер деформирования близок к линейному, поэтому их напряженно-деформированное состояние можно адекватно описать с помощью модели линейной наследственной ползучести с ядром типа Абеля;

3) анализ современных подходов к решению задач геомеханики свидетельствует о том, что наиболее эффективным для определения напряженно-деформированного состояния структурно неоднородного массива является метод граничных элементов;

4) наиболее подходящим критерием разрушения вмещающих пород для условий шахт Западного Донбасса является критерий П. П. Баландина, учитывающий все компоненты тензора напряжений и типичное свойство пород по-разному сопротивляться растяжению и сжатию.

1.5 Задачи исследования

Выполненный анализ современного состояния поставленной научно-технической задачи определил исходную позицию в направлении исследований.

Обоснование граничных параметров взаиморасположения очистных и подготовительных выработок при концентрации горных работ на сближенных пластах Западного Донбасса требует решения следующих частных задач:

1. Оценить влияние одновременной отработки двух сближенных угольных пластов на напряженно-деформированное состояние горного массива при опережающей надработке, как основного фактора влияющего на концентрацию горных работ.

2. На основе анализа влияющих горно-геологических и горнотехнических факторов определить рациональные границы концентрации горных работ, обеспечивающие безопасное и экономически целесообразное ведение очистных и подготовительных работ на сближенных пластах.

3. Выполнить шахтные исследования проявлений горного давления в очистных и подготовительных выработках в процессе концентрации горных работ при отработке сближенных угольных пластов с целью установления достоверности результатов теоретических исследований.

ГЛАВА 2. ОБОСНОВАНИЕ ГРАНИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОНЦЕНТРАЦИИ ОЧИСТНЫХ РАБОТ ПРИ ОТРАБОТКЕ СБЛИЖЕННЫХ ПЛАСТОВ.

2.1 Общие сведения

В данном разделе на основе анализа напряженно-деформированного состояния исследуемой области слоистого неоднородного массива в окрестности очистных выработок при использовании полученных корреляционных соотношений определяется расстояние между очистными забоями, при котором в данных горно-геологических условиях шахт Западного Донбасса лавы на сближенных пластах могут работать надежно, эффективно и безопасно.

Согласно нормативным рекомендациям [31] безопасное расстояние между горными работами на сближенных пластах зависит, в основном, от мощности междупластья и углов сдвижения горных пород. Однако, определяющими при его отыскании являются также размеры зон опорного давления впереди лав и величины максимальных напряжений в этих зонах, размеры областей обрушения пород позади лав в кровле и почве каждого из смежных пластов, максимальное сближение почвы и кровли в очистных выработках [127,128].

Обоснование минимально допустимых расстояний между лавами выполнено на базе метода граничных элементов, для чего разработан алгоритм оценки напряженно-деформированного состояния горных пород при отработке двух сближенных пластов с опережающей надработкой. Принятый математический аппарат и разработанный алгоритм расчета позволяет установить не только перераспределение напряжений в рассматриваемой области горного массива, но и определять смещения пород в очистных и подготовительных выработках при различном их расположении относительно друг друга.

2.2 Описание расчетной схемы

Величины и характер распределения напряжений в породной толще при разработке свит угольных пластов зависят, прежде всего от структуры массива, физико-механических свойств угля и пород, вынимаемой мощности пластов и мощности пород междупластья, глубины разработки и специфики горно-технологических ситуаций.

Эти факторы, по возможности, должны найти отражение в алгоритме решаемых задач геомеханики и используемых при этом схемах нагружений.

Из анализа особенностей разработки сближенных угольных пластов на шахтах Западного Донбасса следует, что для рассматриваемых горно-геологических условий актуальным является рассмотрение напряженно-деформированного состояния массива в рамках расчетной схемы, показанной на рис. 2.1.

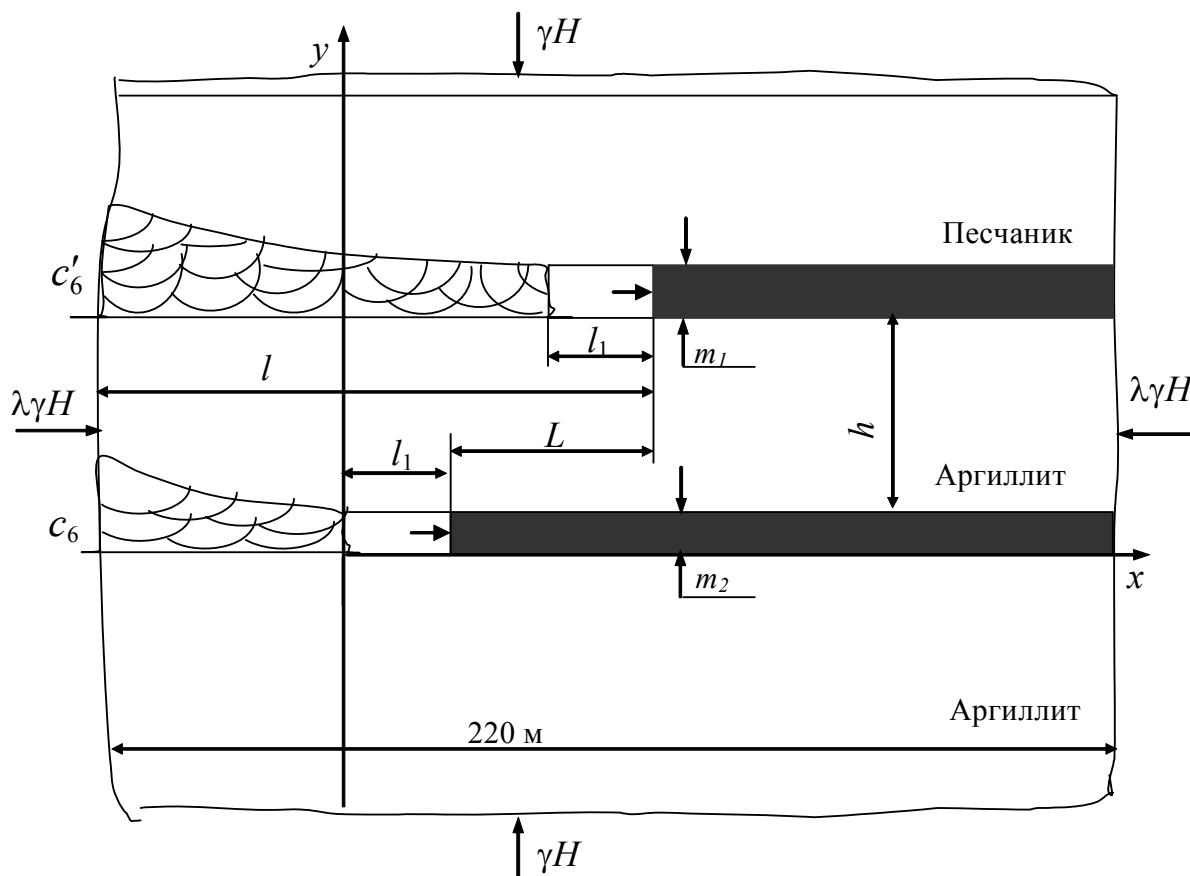


Рис. 2.1. К определению допустимого расстояния L между очистными забоями при мощности междупластья h

С ее помощью можно, в частности, установить закономерности распределения перемещений в кровле, почве и междупластье сближенных пластов, обрабатываемых с опережающей надработкой. Величины сближений почвы и кровли каждого из смежных пластов позволит определить адекватные проявления горного давления в конкретных горно-геологических условиях, допустимые значения мощности междупластья и расстояния между очистными забоями по смежным пластам и в плоскости одного пласта.

Общие размеры исследуемой области составляют $220 \times 30 \text{ м}^2$. Часть выработанного пространства ($l - l_1$) на рис. 2.1 заполнена разрушенными породами. Параметр l_1 представляет собой шаг обрушения непосредственной кровли, который по данным шахтных наблюдений в рассматриваемых условиях составляет 4 м.

Глубина разработки H , расстояние между забоями L и мощность междупластья h – варьируемые геометрические параметры. К варьируемым параметрам относятся также модули упругости породы и угля E_n и E_y . Действующая нагрузка – вес пород: в вертикальном направлении на бесконечности – γH , а в горизонтальном – $\lambda \gamma H$.

2.3 Формулировка рассматриваемой задачи в терминах метода граничных элементов

Задачи определения напряженно-деформированного состояния исследуемой области массива по описанным в предыдущем параграфе схемам решаются методом граничных элементов в той его модификации, которую принято называть методом фиктивных нагрузок [108].

Базовым является аналитическое решение известной задачи Кельвина о действии нормальных и тангенциальных сил, равномерно распределенных на отрезке, произвольно ориентированном в бесконечной упругой среде.

Основными являются следующие этапы расчета:

- аппроксимация границ исследуемой области конечными элементами и введение в каждом из них фиктивных нормальных P_n и тангенциальных P_s сил;
- задание граничных условий в элементах свободных контуров и условий совместности деформаций в элементах смежных контуров “кровля – уголь” и “уголь – почва”;
- получение с помощью базового решения аналитических соотношений для напряжений и перемещений в каждом из граничных (в том числе смежных) элементов, выраженных через неизвестные фиктивные силы P_n и P_s ;
- вычисление по полученным соотношениям коэффициентов влияния напряжений и перемещений; формирование системы уравнений для определения сил P_n и P_s в соответствии с заданными граничными условиями и условиями совместности деформаций;
- решение полученной системы алгебраических уравнений (в разработанном алгоритме используется метод Гаусса), вычисление сил P_n и P_s , обеспечивающих выполнение заданных граничных условий и условий совместности деформаций;
- вычисление напряжений и смещений в исследуемой области от найденных сил и заданной нагрузки, которые вместе обеспечивают выполнение заданных условий.

Соотношение для перемещений в направлении нормали к i -му граничному элементу u_n^i и в направлении касательной к нему u_s^i записываются в виде:

$$\left. \begin{aligned} u_n^i &= \sum_{J=1}^N B_{ns}^{ij} \cdot P_s^j + \sum_{J=1}^N B_{nn}^{ij} \cdot P_n^j \\ u_s^i &= \sum_{J=1}^N B_{ss}^{ij} \cdot P_s^j + \sum_{J=1}^N B_{sn}^{ij} \cdot P_n^j \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

Соотношения для соответствующих напряжений i -го элемента имеют вид

$$\left. \begin{aligned} \sigma_n^i &= \sum_{J=1}^N A_{ns}^{ij} \cdot P_s^J + \sum_{J=1}^N A_{nn}^{ij} \cdot P_n^J \\ \sigma_s^i &= \sum_{J=1}^N A_{ss}^{ij} \cdot P_s^J + \sum_{J=1}^N A_{sn}^{ij} \cdot P_n^J \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

В соотношениях (2.1) и (2.2) N – количество граничных элементов; $B_{ss}^{ij}, B_{sn}^{ij}, B_{ns}^{ij}, B_{nn}^{ij}$ – коэффициенты влияния перемещений; $A_{ss}^{ij}, A_{sn}^{ij}, A_{ns}^{ij}, A_{nn}^{ij}$ – коэффициенты влияния напряжений.

В соответствии с используемым аналитическим решением коэффициенты влияния определяются по формулам [106]

$$\begin{aligned} B_{ss}^{ij} &= \frac{1}{2G} [(3-4\nu)\cos\gamma\bar{F}_1 - \bar{y}(\sin\gamma\bar{F}_2 - \cos\gamma\bar{F}_3)], \\ B_{sn}^{ij} &= \frac{1}{2G} [(3-4\nu)\sin\gamma\bar{F}_1 - \bar{y}(\cos\gamma\bar{F}_2 + \sin\gamma\bar{F}_3)], \\ B_{ns}^{ij} &= \frac{1}{2G} [-(3-4\nu)\sin\gamma\bar{F}_1 - \bar{y}(\cos\gamma\bar{F}_2 + \sin\gamma\bar{F}_3)], \end{aligned} \quad (2.3)$$

$$\begin{aligned} B_{nn}^{ij} &= \frac{1}{2G} [(3-4\nu)\cos\gamma\bar{F}_1 + \bar{y}(\sin\gamma\bar{F}_2 - \cos\gamma\bar{F}_3)], \\ A_{ss}^{ij} &= -2(1-\nu)(\sin 2\gamma\bar{F}_2 - \cos 2\gamma\bar{F}_3) - \bar{y}(\sin 2\gamma\bar{F}_4 + \cos 2\gamma\bar{F}_5), \\ A_{sn}^{ij} &= (1-2\nu)(\cos 2\gamma\bar{F}_2 + \sin 2\gamma\bar{F}_3) - \bar{y}(\cos 2\gamma\bar{F}_4 - \sin 2\gamma\bar{F}_5), \end{aligned} \quad (2.4)$$

$$A_{ns}^{ij} = \bar{F}_2 - 2(1-\nu)(\cos 2\gamma\bar{F}_2 + \sin 2\gamma\bar{F}_3) - \bar{y}(\cos 2\gamma\bar{F}_4 - \sin 2\gamma\bar{F}_5),$$

$$A_{nn}^{ij} = \bar{F}_3 - (1-2\nu)(\sin 2\gamma\bar{F}_2 - \cos 2\gamma\bar{F}_3) + \bar{y}(\sin 2\gamma\bar{F}_4 + \cos 2\gamma\bar{F}_5)$$

В формулах (2.3), (2.4) G – модуль сдвига породы; $\bar{F}_1(\bar{x}, \bar{y}) = f(\bar{x}, \bar{y})$; \bar{x}^i, \bar{y}^i – локальные координаты, связанные с i -м элементом;

$f(\bar{x}, \bar{y}) = -\frac{1}{4\pi(1-\nu)} \left[\bar{y} \left(\arctg \frac{\bar{y}}{\bar{x}-a^j} - \arctg \frac{\bar{y}}{\bar{x}+a^j} \right) - \right.$
 $\left. -(\bar{x}-a^j) \cdot \ln \sqrt{(\bar{x}-a^j)^2 + \bar{y}^2} + (\bar{x}+a^j) \ln \sqrt{(\bar{x}+a^j)^2 + \bar{y}^2} \right]$ – функция, характеризующая влияние фиктивных нагрузок, приложенных к j -му элементу на напряжения и смещения i -го элемента;

$$\bar{F}_2(\bar{x}, \bar{y}) = \frac{\partial f}{\partial \bar{x}}; \quad \bar{F}_3(\bar{x}, \bar{y}) = \frac{\partial f}{\partial \bar{y}}; \quad \bar{F}_4(\bar{x}, \bar{y}) = \frac{\partial^2 f}{\partial \bar{x} \partial \bar{y}}; \quad \bar{F}_5(\bar{x}, \bar{y}) = \frac{\partial^2 f}{\partial \bar{x}^2};$$

$\gamma = \beta^i - \beta^j$ – угол, определяющий взаимное расположение локальных систем координат (\bar{x}^i, \bar{y}^i) элемента i и (\bar{x}^j, \bar{y}^j) j -го элемента; $2a^j$ – длина j -го элемента.

$$\begin{aligned} \bar{x} &= (\bar{x}^i - \bar{x}^j) \cos \beta^j + (\bar{y}^i - \bar{y}^j) \sin \beta^j, \\ \bar{y} &= -(\bar{x}^i - \bar{x}^j) \sin \beta^j + (\bar{y}^i - \bar{y}^j) \cos \beta^j \end{aligned} \quad (2.5)$$

Формулы (2.5) определяют локальные координаты центра элемента i относительно центра элемента j .

Собственные коэффициенты влияния, характеризующие влияние “фиктивных” нагрузок P_n^i и P_s^i i -го элемента на смещения и напряжения самого i -го элемента, получаются в соответствии с выражениями (2.3) и (2.4), если в них положить $\bar{x} = \bar{y} = \gamma = 0$, и имеют вид:

$$\begin{aligned} B_{sn}^{ij} = B_{ns}^{ij} = 0; \quad B_{ss}^{ii} = B_{nn}^{ii} &= -\frac{3-4\nu}{4\pi G(1-\nu)} a^i \ln a^i; \\ A_{sn}^{ij} = A_{ns}^{ij} = 0; \quad A_{ss}^{ii} = A_{nn}^{ii} &= \frac{1}{2} \end{aligned} \quad (2.6)$$

$$A_{ts}^{ii} = A_{tn}^{ii} = 0; \quad A_{tt}^{ii} = \frac{1}{2} \frac{\nu}{1-\nu}; \quad \bar{y} = 0 \pm. \quad (2.7)$$

Разрешающая система алгебраических уравнений в общем случае имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{j=1}^N C_{ss}^{ij} P_s^j + \sum_{j=1}^N C_{sn}^{ij} P_n^j &= b_s^i \\ \sum_{j=1}^N C_{ns}^{ij} P_s^j + \sum_{j=1}^N C_{nn}^{ij} P_n^j &= b_n^i \end{aligned} \right\}_{i=1,2,\dots,N}, \quad (2.8)$$

где, C_{ss}^{ij} , C_{sn}^{ij} , C_{ns}^{ij} , C_{nn}^{ij} – коэффициенты влияния, которые в зависимости от задаваемых на границах условий определяются либо по формулам (2.3), (2.6), либо по формулам (2.4), (2.7);

b_s^i и b_n^i – величины, определяемые задаваемыми условиями на граничных и контактных поверхностях.

2.4 Определение напряжений и смещений в зоне влияния очистных работ

Описанный выше расчетный алгоритм использовался при определении перемещений в зоне влияния очистных забоев отрабатывающих сближенные пласты. Рассматривались условия опережающей надработки. На соответствующей схеме (рис. 2.1) зафиксировано состояние исследуемой области массива после очередного обрушения основной кровли отрабатываемых пластов, когда ненарушенная часть массива испытывает упругое деформирование.

Конечно-элементная аппроксимация границ исследуемой области осуществлялась по схеме, показанной на рис. 2.2.

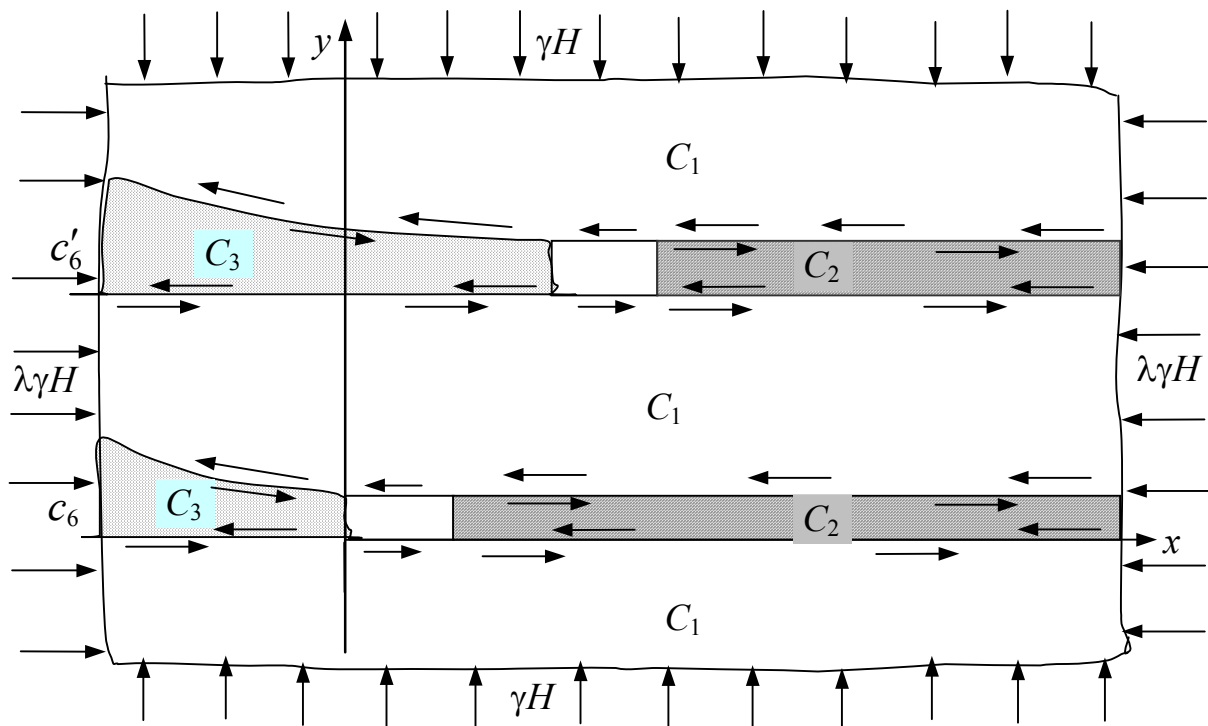


Рис. 2.2. Конечно-элементная схема границ исследуемой области

Задача решалась в дополнительных напряжениях. Поскольку полные напряжения на свободных границах (C_1 – вмещающая порода, C_2 – угольные пласты, C_3 – обрушенные породы) равны нулю, дополнительные, обусловленные образованием выработок, полагались равными $-\gamma H$ – в вертикальном направлении и $-\lambda\gamma H$ – в горизонтальном ($\lambda = \nu/(1-\nu)$, ν – коэффициент Пуассона породы).

Таким образом, правые части в соответствующих уравнениях исходной системы (2.8) принимают вид:

$$b_s^i = -\lambda\gamma H, \quad b_n^i = -\gamma H,$$

а коэффициенты влияния соответственно:

$$C_{ss}^{ij} = \begin{cases} A_{ss}^{ij}, & \text{если } j\text{-ый элемент принадлежит контуру области } C_k, \\ 0, & \text{если } j\text{-ый элемент не принадлежит контуру области } C_k, \end{cases}$$

$$C_{sn}^{ij} = \begin{cases} A_{sn}^{ij}, & \text{если } j\text{-ый элемент принадлежит контуру области } C_k, \\ 0, & \text{если } j\text{-ый элемент не принадлежит контуру области } C_k, \end{cases}$$

$$C_{ns}^{ij} = \begin{cases} A_{ns}^{ij}, & \text{если } j\text{-ый элемент принадлежит контуру области } C_k, \\ 0, & \text{если } j\text{-ый элемент не принадлежит контуру области } C_k, \end{cases}$$
(2.9)

$$C_{nm}^{ij} = \begin{cases} A_{nn}^{ij}, & \text{если } j\text{-ый элемент принадлежит контуру области } C_k, \\ 0, & \text{если } j\text{-ый элемент не принадлежит контуру области } C_k, \end{cases}$$

где k – номер области, имеющей свободные границы.

На поверхностях контакта угля с породой выполнялись условия совместности. Если i и i^* – номера контактирующих элементов, принадлежащих различным областям, то при задании условий совместности деформаций в напряжениях на смежном контуре области C_k и в перемещениях на смежном контуре области C_l , в случае $k > l$ имеем соответственно:

$$\sigma_s^i = \sigma_s^{i[k]} - \sigma_s^{i^*[l]} = 0, \quad \sigma_n^i = \sigma_n^{i[k]} - \sigma_n^{i^*[l]} = 0;$$

$$C_{ss}^{ij} = \begin{cases} A_{ss}^{ij[k]}, & \text{если } j\text{-й элемент принадлежит контуру области } C_k, \\ -A_{ss}^{i^*j[l]}, & \text{если } j\text{-й элемент принадлежит контуру области } C_l \end{cases} \quad (2.10)$$

и т.д. для коэффициентов C_{sn}^{ij} , C_{ns}^{ij} , C_{nn}^{ij} .

Аналогично,

$$b_s^i = u_s^{i[l]} + u_s^{i^*[k]} = 0, \quad b_n^i = u_n^{i[l]} + u_n^{i^*[k]} = 0;$$

$$C_{ss}^{ij} = \begin{cases} B_{ss}^{i^*j[k]}, & \text{если } j\text{-й элемент принадлежит контуру области } C_k, \\ B_{ss}^{ij[l]}, & \text{если } j\text{-й элемент принадлежит контуру области } C_l \end{cases} \quad (2.11)$$

и т.д. для коэффициентов C_{sn}^{ij} , C_{ns}^{ij} , C_{nn}^{ij} .

Коэффициенты влияния напряжений A_{ss}^{ij} , A_{sn}^{ij} , A_{ns}^{ij} , A_{nn}^{ij} в условиях (2.9), (2.10) и коэффициенты влияния перемещений в условиях (2.11) подсчитываются по формулам базового аналитического решения (2.3) и (2.4) соответственно.

2.5 Результаты расчетов и их анализ

Картина распределения напряжений и смещений в рассматриваемой области массива устанавливалась с помощью алгоритма, описанного выше. В процессе расчета параметры L (расстояние между очистными забоями пластов c'_6 и c_6) и мощность h междупластья варьировались.

Составленная с учетом условий (2.10) и (2.11) система 1852 линейных алгебраических уравнений решалась методом Гаусса для ряда значений безразмерных определяющих параметров. Интервалы их изменения выбирались исходя из возможных вариаций физико-механических параметров и структуры исследуемой области породного массива.

Конкретные исходные данные принимали такие значения:

$$E_n/E_y \in \{0,71; 0,94; 1,60\};$$

$$h/L \in \{0,09; 0,10; 0,12; 0,13; 0,15; 0,18; 0,20; 0,22; 0,24; 0,30; 0,40; 0,45; 0,60\};$$

$$H/L \in \{4,3; 5,0; 5,29; 6,0; 6,17; 7,4; 7,5; 9,24; 10; 12,3; 15,0; 18,5\};$$

$$h/H \in \{0,016; 0,020; 0,024; 0,030; 0,032; 0,040\};$$

$$L/m_g \in \{28,6; 42,9; 51,1; 71,4; 85,7; 100\},$$

где E_n и E_y – модули упругости вмещающей породы и угля, МПа;

h – мощность междупластья, м;

L – расстояние между очистными забоями на смежных пластах, м;

H – глубина ведения работ, м;

m_g и m_n – мощности верхнего и нижнего пластов, м.

Модуль упругости $E_p = 10$ МПа и коэффициент Пуассона $\nu_p = 0,499$ для разрушенных пород брались по графикам работы [81, с. 49], построенным в координатах ε_y и k_{μ} для различных значений глубины разработки (ε_y – максимальная относительная линейная деформация очистной выработки; $k_{\mu} = 1 - 2\nu^3/(1-\nu)$). Данные по физико-механическим характеристикам вмещающих пород и угля приведены в таблице 1.1.

Оценка напряженного состояния выполняется по критерию П.П. Баландина, в соответствии с которым сравниваемые с пределом прочности породы эквивалентные напряжения определяются по формуле

$$\sigma_{\text{эkv}} = \frac{(1-\psi)(\sigma_1 + \sigma_3)}{2} + \frac{\sqrt{(1-\psi)^2(\sigma_1 + \sigma_3)^2 + 4\psi(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_3)}}{2}, \quad (2.12)$$

где: $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – главные напряжения, МПа; $\psi = \sigma_p/\sigma_c$;

σ_p и σ_c – пределы прочности породы на растяжение и сжатие, МПа.

Полученные по данному критерию $\sigma_{\text{эkv}}$, в рассматриваемой области породного массива показаны на рисунке 2.3. Как видно из этого рисунка, протяженность зоны предельных значений $\sigma_{\text{эkv}}$ в кровле верхнего пласта c'_6 по координате x составляет порядка 18 м. Соответствующий размер в почве нижнего пласта c_6 составляет 30 м.

В породах междупластья предельные значения напряжений имеют место в области, простирающейся на всю его мощность и приблизительно на 30 м – вдоль оси Ox .

На рис. 2.4 показаны рассчитанные значения максимальных коэффициентов концентрации $(K_y)_{max}$ напряжений σ_{yy} по отношению к уровню γH ($H = 300$ м) в породах кровель смежных пластов в зонах опорного горного давления впереди очистных забоев при различных значениях расстояния L и фиксированного значения $h = 15$ м. Из этого рисунка следует, что более нагруженной является кровля нижнего пласта, в ней $(K_y)_{max}$ в 1,36 раз больше, чем в кровле верхнего пласта.

На рис. 2.5 показаны значения сближений почвы и кровли пластов c_6 и c'_6 на расстоянии 4 м от очистного забоя в сторону выработанного пространства при различных расстояниях L между очистными забоями. Из этого рисунка видно, что при практически одинаковой форме кривых большие перемещения возникают в кровле пласта c_6 .

На рис. 2.6 *а, б* изображены полученные эпюры эквивалентных напряжений $\sigma_{эKB}$ в кровле и почве пласта c_6 при мощности междупластья $h = 5$ м. Кривые 1 относятся к случаю когда $L = 30$ м, а кривые 2 – к случаю $L = 70$ м.

На рисунке 2.7 *а и б* показаны эпюры напряжений $\sigma_{эKB}$ в кровле и почве пласта c_6 при $h = 15$ м. Кривые 1 на этом рисунке получены для $L = 30$ м, а кривые 2 – для $L = 60$ м.

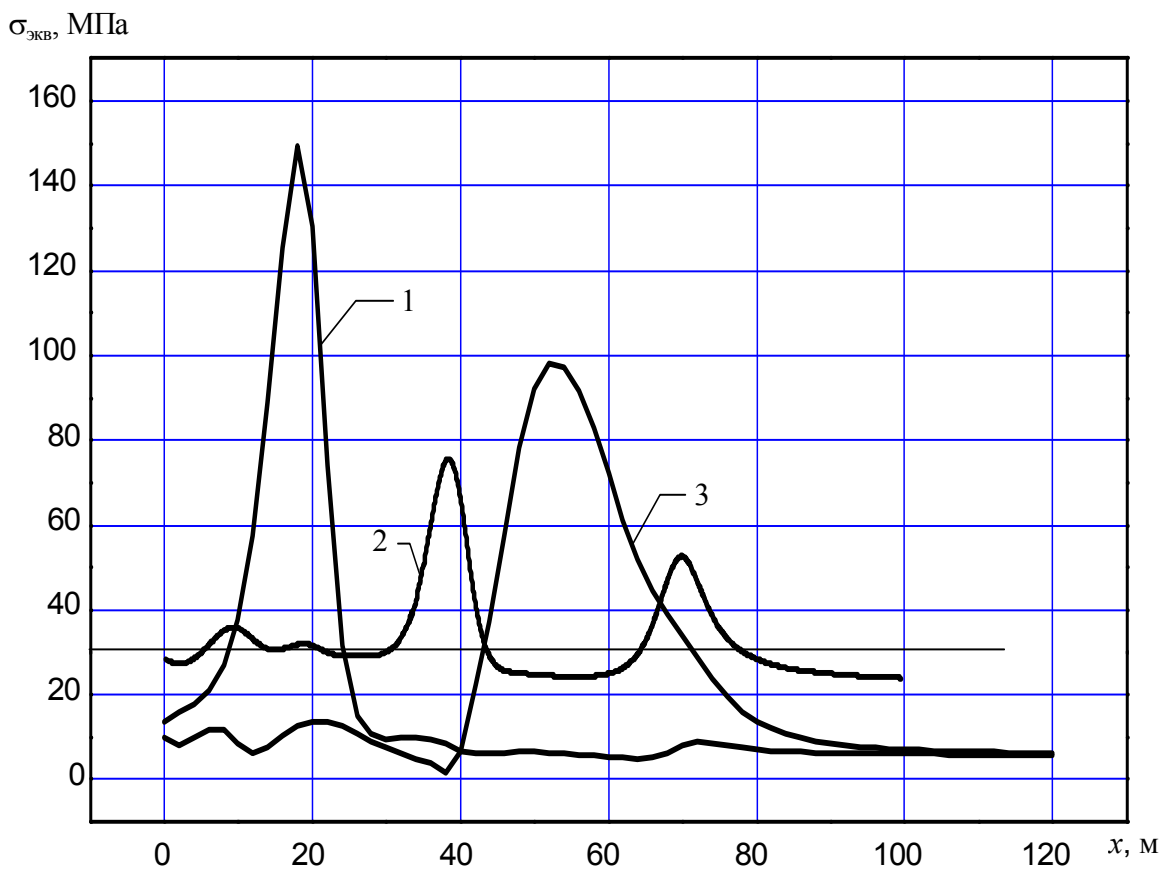


Рис. 2.3. Эквивалентные напряжения $\sigma_{эKB}$ по критерию П.П. Баландина
1 – в кровле верхнего пласта; 2 – в междупластье; 3 – в почве нижнего пласта

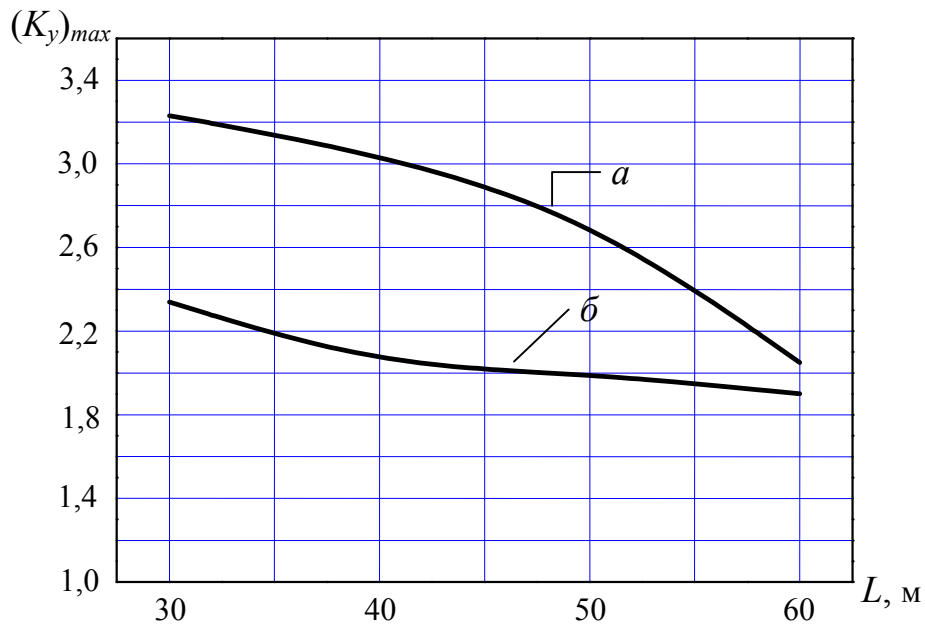


Рис. 2.4. Максимальные коэффициенты концентрации напряжений σ_{yy} в кровле: а – нижнего пласта c_6 ; б – верхнего пласта c_6^1 .

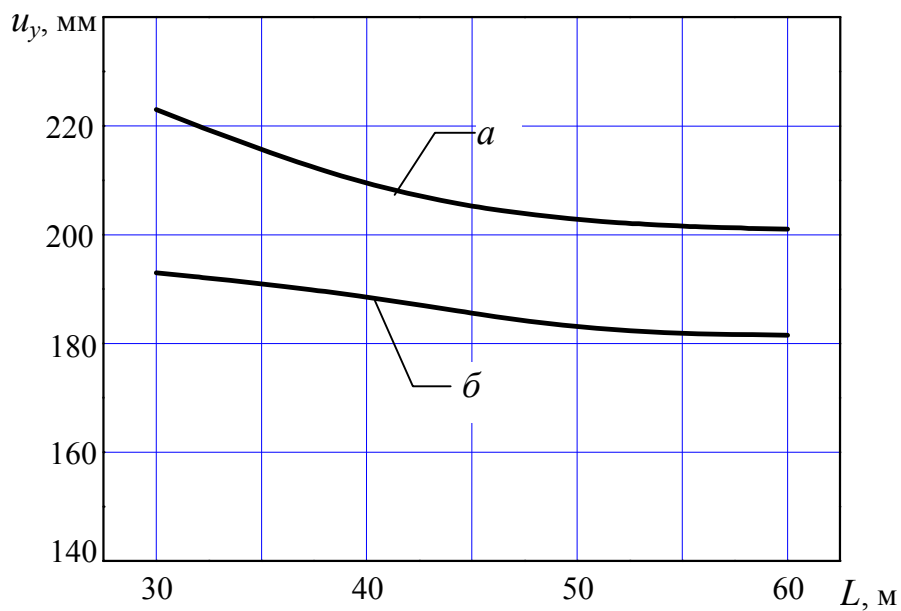
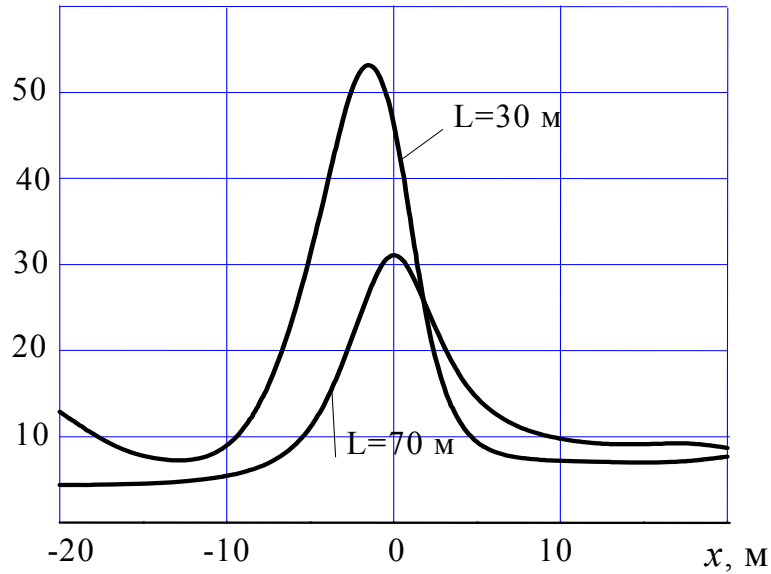


Рис. 2.5. Сближение почвы и кровли на расстоянии 4 м от очистного забоя

а – пласт c_6 ; б – пласт c_6^1 .

а) $\sigma_{\text{экв}}$, МПа



б) $\sigma_{\text{экв}}$, МПа

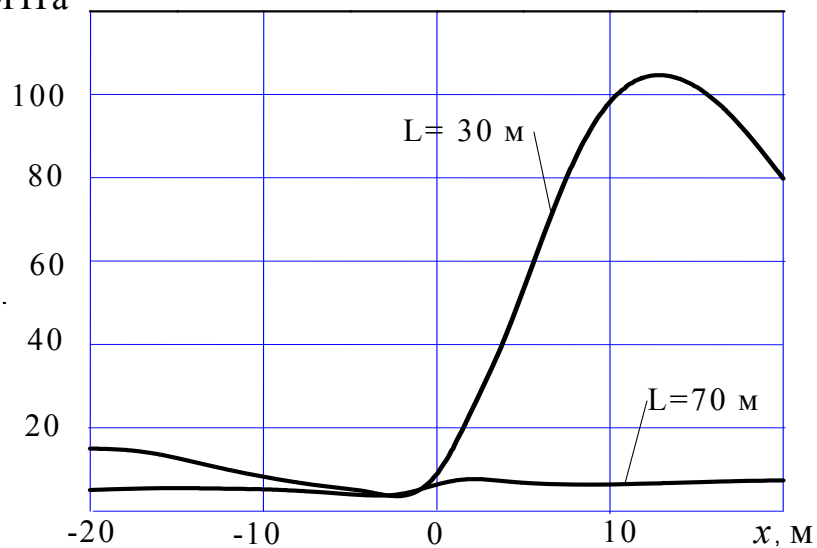


Рис. 2.6. Напряжения $\sigma_{\text{экв}}$ по критерию Баландина в кровле (а) и в почве (б) пласта c_6 при мощности междупластья $h = 5$ м.

Из рисунка 2.6 видно, что при расстоянии L между забоями по смежным пластам c_6 и c_6^1 , равном 30 м, и мощности междупластья $h = 5$ м, область потенциального разрушения в кровле нижнего пласта в районе очистного забоя простирается примерно на 10 м, а в почве – на 13 м. При $L = 70$ м эквивалентные напряжения уже не превышают предела прочности пород как почвы, так и кровли.

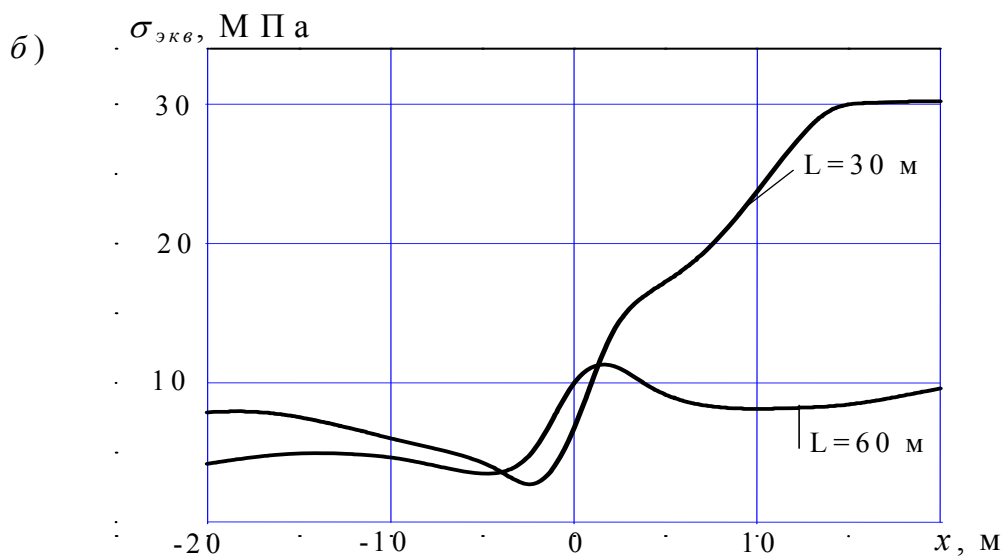
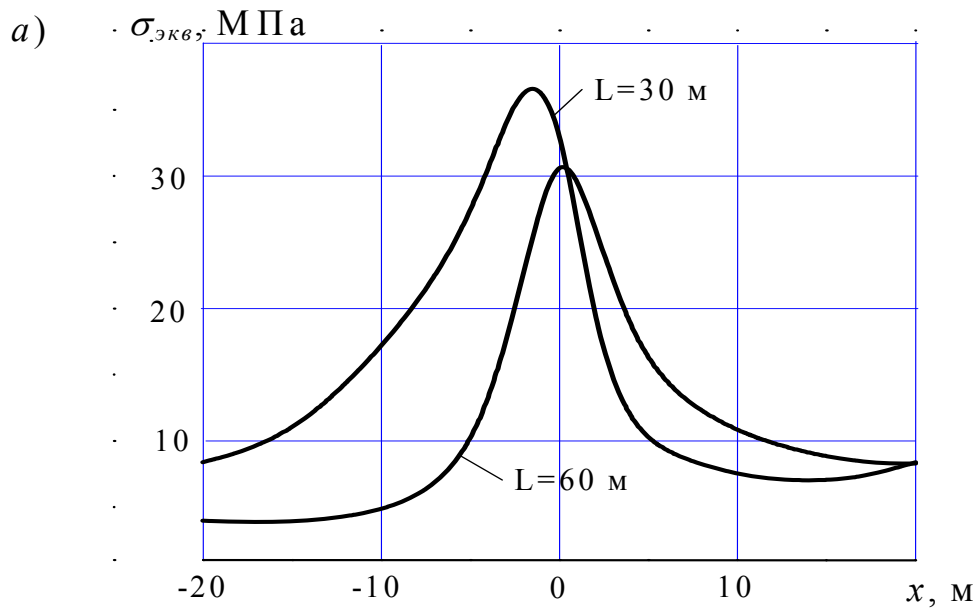


Рис. 2.7. – Напряжения $\sigma_{\text{экв}}$ по критерию Баландина
 а) в кровле пласта c_6 ; б) в почве пласта c_6
 при мощности междупластья $h = 15$ м.

Аналогичная картина имеет место в кровле пласта c_6 при $L = 30$ м и $L = 60$ м в случае, когда $h = 15$ м (рис. 2.7 а, б).

Напряжения в почве пласта в этих случаях не вызывают опасений.

Следовательно, по фактору горного давления для условий шахт Западного Донбасса при мощности междупластья $h = 5$ м можно считать допустимым расстояние между очистными забоями смежных пластов c_6 и c'_6 не менее 70 м.

При мощности междупластья $h = 15$ м очистные забои смежных пластов должны отстоять друг от друга на $L \geq 60$ м.

Рисунки 2.8, 2.9 и 2.5 иллюстрируют некоторые результаты расчетов смещений боковых пород почвы и кровли в очистных забоях сближенных пластов при различных расстояниях между ними. Расчеты выполнены для рассматриваемого случая опережающей отработки верхнего из двух смежных пластов.

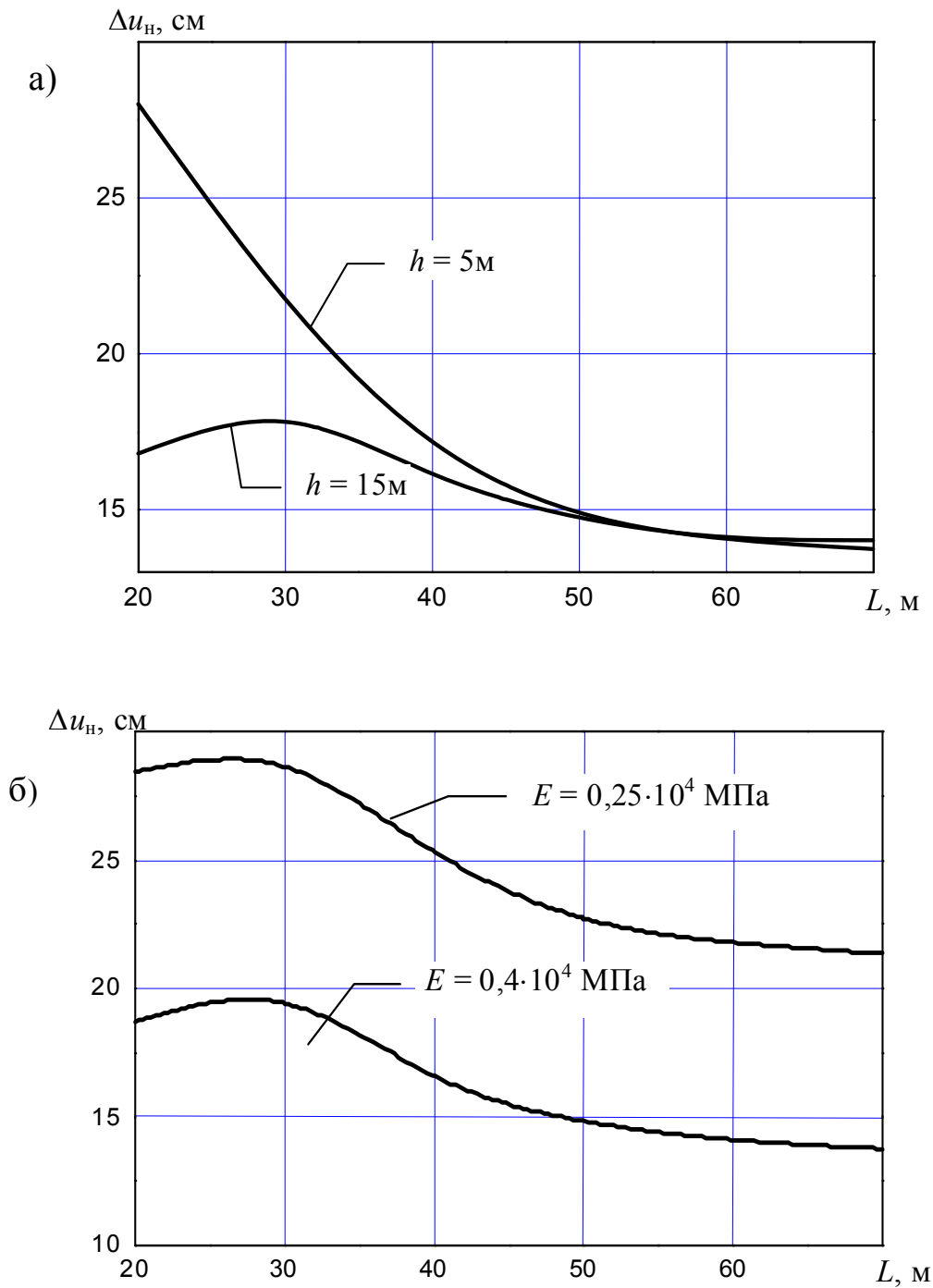


Рис. 2.8. Максимальные сближения почвы и кровли нижнего пласта
 а) при различных значениях мощности междупластья h ;
 б) при различных значениях модуля упругости вмещающей породы E_n .

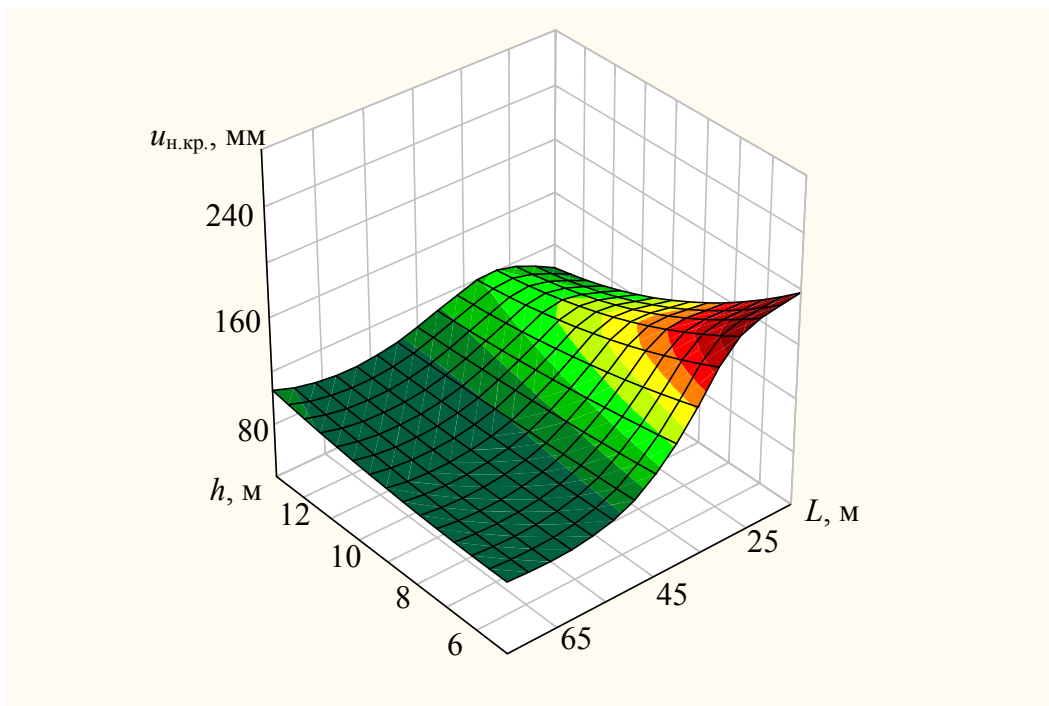


Рис. 2.9. Поверхность максимальных вертикальных смещений кровли нижнего пласта

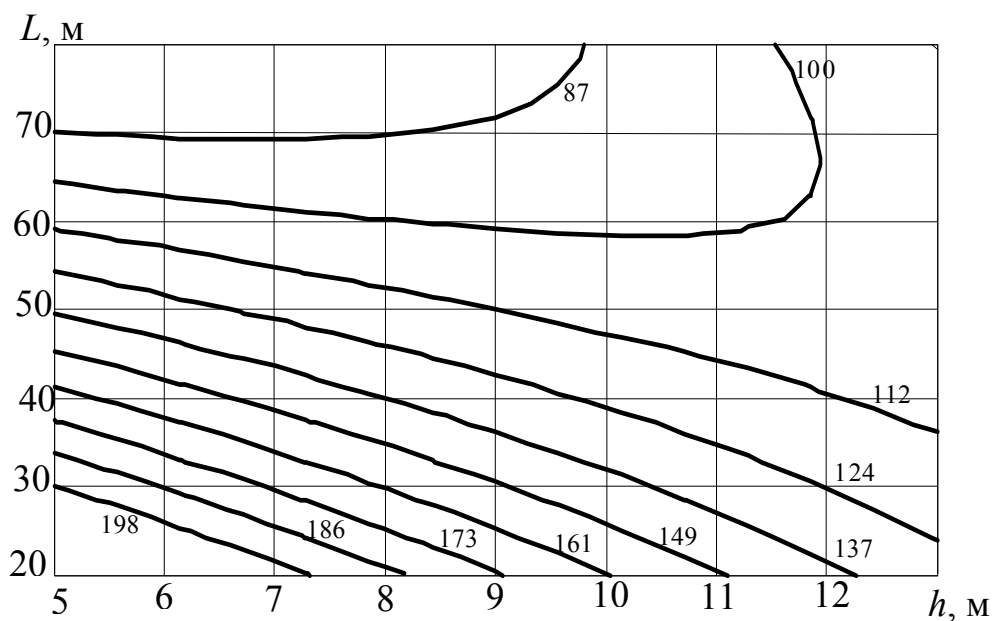


Рис. 2.10. Изолинии максимальных вертикальных смещений кровли нижнего пласта, мм

Задача состоит в определении допустимой по фактору разрушений конвергенции боковых пород в опережающем и отстающем очистных забоях, которая не должна превышать 0,3 мощности пласта.

Разработанный математический аппарат позволяет определять смещения боковых пород почвы и кровли в очистных забоях с учетом существующих горно-геологических и горнотехнических условий отработки пластов. Далее приведены результаты расчетов смещений для граничных значений мощности пород междупластья, а именно 5 и 15 м. Разработанная же программа позволяет

определять искомые напряжения, смещения и, в конечном итоге, допустимые расстояния между очистными забоями для любых рассматриваемых условий шахт Западного Донбасса.

На рис. 2.8 изображены эпюры максимальных сближений Δu_n почвы и кровли нижнего пласта на глубине $H = 300$ м в зависимости от параметра L для двух значений мощности междупластья $h = 5$ м и $h = 15$ м и для двух значений модуля упругости вмещающей породы $E_n = 0,25 \cdot 10^4$ МПа и $E_n = 0,4 \cdot 10^4$ МПа. Из рис. 2.8 а следует, что при изменении h меняется характер распределения сближений Δu_n : при $h = 15$ м обнаруживается максимум, соответствующий расстоянию $L = 30$ м. Начиная со значений $L = 60$ м, перемещения кровли и почвы не превышают допустимых значений (0,3м). Увеличение параметра E_n при неизменной качественной картине распределения сближений приводит к уменьшению величины Δu_n (рис. 2.8 б).

На рис. 2.9 для наглядности показана пространственная диаграмма максимальных вертикальных смещений кровли нижнего пласта, отвечающих различным значениям параметров L и h . На рис. 2.10 изображены изолинии максимальных вертикальных смещений в кровле нижнего пласта при $H = 300$ м, $m_n = 0,7$ м, $E_y = 0,3 \cdot 10^4$ МПа и $E_n = 0,4 \cdot 10^4$ МПа. По ним можно определять значения $(\Delta u_n)_{max}$ для различных значений параметров L и h .

В результате статистической обработки данных, полученных при выполнении математического эксперимента для рассматриваемых горно-геологических условий [4, 5] установлены корреляционные соотношения для максимальных вертикальных смещений кровли верхнего $(u_\epsilon)_{max}$ и нижнего $(u_n)_{max}$ пластов, а также для максимальных конвергенций $(\Delta u_\epsilon)_{max}$ и $(\Delta u_n)_{max}$, которые имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{(u_\epsilon)_{max}}{m_\epsilon} &= 0,2593 - 0,1283 \frac{E_n}{E_y} - 0,3005 \frac{L}{H} - 0,1649 \frac{h}{L} + 0,00503 \frac{H}{L} + 0,6753 \frac{h}{H}; \\ \frac{(\Delta u_\epsilon)_{max}}{m_\epsilon} &= 0,5689 - 0,2405 \frac{E_n}{E_y} - 1,5104 \frac{L}{H} + 0,00171 \frac{L}{h} - 0,1267 \frac{h}{L} + 0,00241 \frac{L}{m_\epsilon}; \end{aligned} \quad (2.13)$$

$$\begin{aligned} \frac{(u_n)_{max}}{m_n} &= 0,3255 - 0,1636 \frac{E_n}{E_y} - 0,6 \frac{L}{H} - 0,5031 \frac{h}{L} + 0,0143 \frac{H}{L} + 2,4638 \frac{h}{H}; \\ \frac{(\Delta u_n)_{max}}{m_n} &= 0,7358 - 0,3468 \frac{E_n}{E_y} - 0,8630 \frac{L}{H} + 0,0123 \frac{H}{L} - 0,3441 \frac{h}{L}. \end{aligned}$$

Коэффициенты корреляции R для этих зависимостей имеют значения, равные 0,947, 0,960, 0,942 и 0,738 соответственно.

Соотношения (2.13) служат для определения расстояния L между очистными забоями смежных пластов, при котором при данной мощности пород междупластья в рассматриваемых горно-геологических условиях максимальные перемещения в очистных выработках в случае опережающей

наработки не превосходят допустимых значений. Они получены для условий шахт Западного Донбасса и могут быть использованы для анализа напряженно-деформированного состояния слоистых неоднородных массивов, вмещающих очистные выработки на сближенных пластах, в сходных горно-геологических условиях.

Подсчитанные по формулам (2.13) максимальные значения конвергенций пород кровли и почвы в очистной выработке по нижнему пласту при расстоянии между лавами 70 м составляют $(\Delta u_n)_{max} = 131$ мм, а по верхнему - $(\Delta u_v)_{max} = 66,7$ мм. Соответствующие значения при $L=60$ м: $(\Delta u_n)_{max} = 123,7$ мм и $(\Delta u_v)_{max} = 65,47$ мм.

Следовательно, как напряжения, так и перемещения в обоих случаях не превышают допустимых значений.

Выводы

1. На основе метода граничных элементов разработан расчетный алгоритм определения напряженно-деформированного состояния неоднородного массива применительно к условиям отработки сближенных угольных пластов в условиях надработки.

2. С помощью разработанного расчетного алгоритма для горно-геологических условий шахт Западного Донбасса установлен характер изменения максимальных сближений почвы и кровли вынимаемого угольного пласта в условиях надработки в зависимости от модуля упругости вмещающей породы и расстояния между очистными забоями на сближенных пластах.

3. Выполнена количественная оценка степени влияния мощности междупластья и расстояния между очистными забоями смежных пластов на вертикальные смещения кровли угольного пласта в условиях надработки.

4. В результате статистической обработки данных математического эксперимента, выполненного с помощью разработанного расчетного алгоритма, установлены корреляционные соотношения для максимальных смещений кровли верхнего и нижнего пластов. Соотношения учитывают модули упругости вмещающих пород и угля, глубину разработки, мощности пластов и междупластья, а также расстояние между очистными забоями на сближенных пластах.

5. Полученные корреляционные зависимости служат для определения расстояния L между очистными забоями смежных пластов, при котором при данной мощности междупластья в рассматриваемых горно-геологических условиях максимальные перемещения в очистных выработках в случае опережающей надработки не превосходят допустимых значений.

6. На основании выполненных расчетов сформулировано первое научное положение: - границы концентрации очистных работ на сближенных пластах определяются по фактору их взаимного влияния, характеризуемого допустимыми напряжениями и смещениями вмещающих пород в лавах, нахождение которых реализуется методом граничных элементов, с учетом глубины ведения горных работ, мощности пород междупластья (h), расстояния между лавами, прочностных и деформационных характеристик вмещающих пород. Для рассматриваемых условий шахт Западного Донбасса безопасные по фактору горного давления расстояния между очистными забоями смежных пластов составляют: не менее 70 м, при $h = 5$ м и 60 м, при $h = 15$ м.

ГЛАВА 3. ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО МЕСТА ЗАЛОЖЕНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ КОНЦЕНТРАЦИИ ГОРНЫХ РАБОТ

3.1 Общие сведения

Одним из основных условий эффективной разработки сближенных пластов является обеспечение эксплуатационной устойчивости подготовительных выработок. Устойчивость подготовительных выработок на сближенных пластах, прежде всего, зависит от места их заложения, очередности отработки пластов, мощности междупластья и физико-механических свойств вмещающих пород.

Особое значение имеет выбор места заложения выемочных штреков по пластам, отрабатываемым во вторую очередь, поскольку они дополнительно испытывают горное давление, обусловленное очистными работами, производимыми по верхнему пласту. Очевидно, выработки будут менее всего нагруженными, если их расположить в зоне разгрузки, образуемой после выемки верхнего пласта. Однако, в последующем после выемки краевой части этого пласта, которая и обеспечивает зону разгрузки, выработки могут быть задавлены вследствие резкого увеличения горного давления. Установлено, что проведение выработок в зоне повышенного давления менее неблагоприятно, чем воздействие на уже пройденную выработку прироста давления, вызванного очистными работами [116].

Немаловажное значение имеет и способ охраны выработок на сближенных пластах. Практика и результаты научных исследований свидетельствуют о том, что оставление целиков для охраны участков подготовительных выработок на любом из них отрицательно сказывается на состоянии подготовительной выработки очередного отрабатываемого пласта. Поэтому общепризнанно, что на сближенных пластах целесообразно использовать бесцеликовую охрану выемочных штреков [117, 118, 119].

Что касается очередности отработки, то в силу ряда преимуществ на шахтах Западного Донбасса, как и на большинстве шахт Украины, принят нисходящий порядок отработки пластов, в том числе и сближенных. Подготовка пластов – индивидуальная. Сближенные пласты отрабатываются одновременно с опережающей выемкой вышележащего пласта.

Нормативными рекомендациями [31] предусматривается размещение выработок нижнего пласта под выработанным пространством со смещением относительно выработки верхнего пласта. Расстояние между ними определяется глубиной разработки и мощностью пород междупластья. В

частности, при мощности междупластья 7...8 м и глубине разработки 400...450 м расстояние между выемочными штреками на смежных пластах согласно руководству [31] должно составлять 10...15 м.

При проведении выработки по нижнему пласту, вслед за лавой отрабатывающей верхний на горизонте 300 м, рекомендуется выдерживать расстояние не менее 200 м. При таком отставании от очистных работ выработка попадает в зону восстановившегося горного давления. Согласно положениям работы [120] активная стадия сдвижения надработанной толщи заканчивается на расстоянии, равном длине отрабатываемой лавы.

Основной задачей является отыскание такого места расположения подготовительной выработки, которое бы исключило дополнительное влияние на нее очистных работ, выполняемых по вышележащему пласту и обеспечило достаточный маневр для планирования и ведения горных работ по надработанному нижележащему пласту. Для этого устанавливается минимально допустимое с точки зрения устойчивости подготовительной выработки расстояние от границ надработки (кромки вышележащего пласта).

При отыскании адекватных параметров необходимо, очевидно, не упускать из виду тот факт, что устойчивость выработок должна обеспечиваться в течение достаточно длительного времени. Поэтому в расчетном алгоритме необходимо учесть изменение физико-механических свойств вмещающих горных пород во времени. Кроме того, результат расчета не может не зависеть от структуры массива и мощностей вынимаемых пластов.

3.2 Описание расчетной схемы

При анализе напряженно-деформированного состояния исследуемой области массива, выполняемого с целью установления рационального местоположения подготовительной выработки в условиях надработки, используется плоская расчетная схема. При этом, естественно, невозможно учесть влияние очистных работ, поэтому в разработанный расчетный алгоритм вводятся коэффициенты пригрузки. Последние подсчитываются по параметрам зоны повышенного горного давления и представляют собой отношения действующих в соответствующих сечениях этой зоны напряжений σ_{yy} к уровню γH . Коэффициенты пригрузки находятся на основе расчетной схемы, изображенной на рис. 3.1.

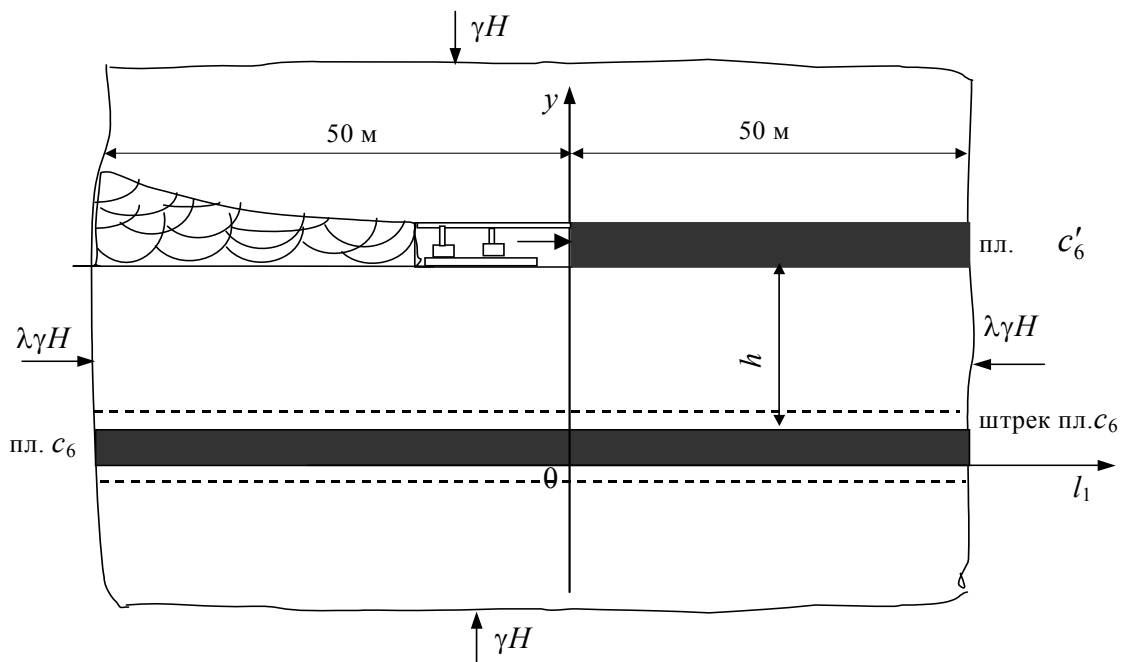


Рис. 3.1. К определению коэффициента концентрации напряжений σ_{yy} в кровле подготовительной выработки пласта c_6

Соответствующая гранично-элементная схема приведена на рис. 3.2.

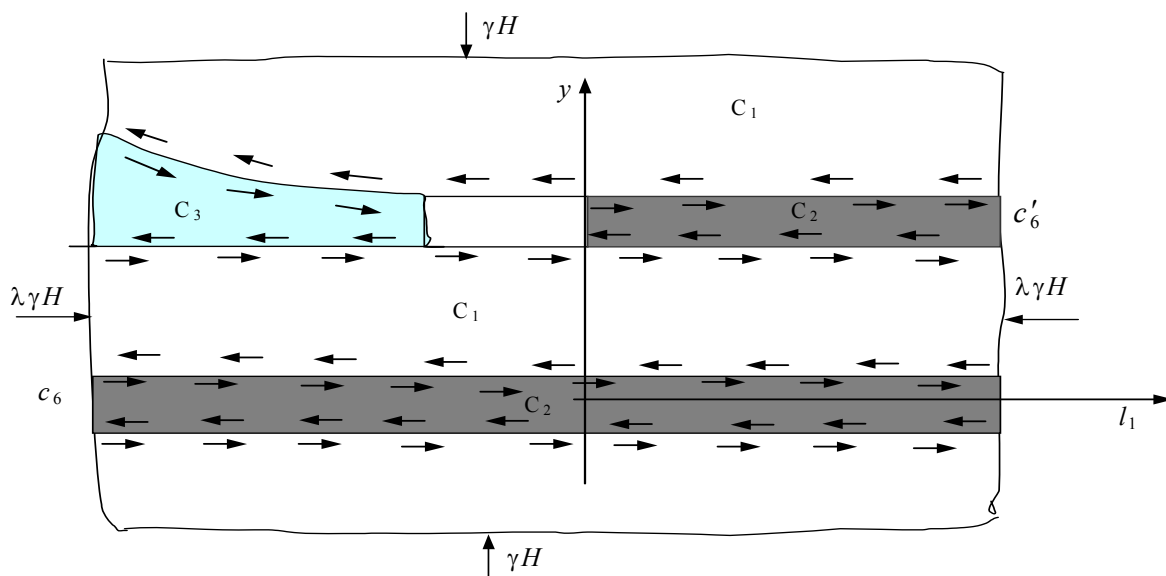


Рис. 3.2. Дискретизация границ исследуемой области

Разрешающая система уравнений формировалась исходя из граничных условий (2.9) для элементов свободных границ и (2.10) – для контактирующих элементов. В результате решения определены необходимые для дальнейших расчетов максимальные значения коэффициентов пригрузки в кровле вдоль оси подготовительной выработки, расположенной на нижнем пласте, на различном расстоянии l_1 от очистного забоя верхнего пласта (рис. 3.3).

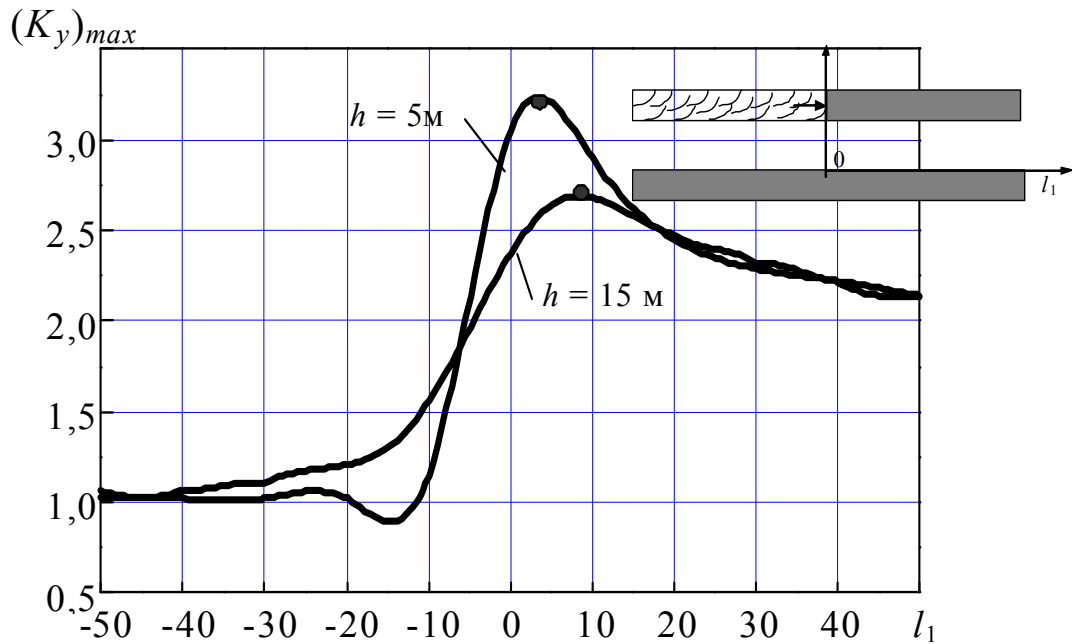


Рис. 3.3. Максимальные коэффициенты пригрузок в кровле подготовительной выработки

В данной монографии при определении рационального значения расстояния l от контура выработки нижнего пласта до краевой части верхнего рассматривается расчетная схема, показанная на рис. 3.4.

Соответствующая схема дискретизации границ исследуемой области изображена на рис. 3.5.

Расчеты выполнялись для двух граничных значений мощности междупластья, типичных для шахт Западного Донбасса – $h = 5$ и 15 м. При формулировке граничных условий использовались коэффициенты пригрузки, выделенные точками на рис. 3.3. Они имели значения $(K_y)_{max} = 3,2$ при $h = 5$ м и $(K_y)_{max} = 2,7$ при $h = 15$ м и относились к наиболее опасным сечениям выработки, расположенным от очистного забоя на расстоянии $l_1 = 5$ м и $l_1 = 10$ м, соответственно.

Что касается физической стороны решаемой задачи, то для массива в данном случае принимается модель линейно-наследственной среды с ядром ползучести Абея. В соответствии с этой моделью при расчете напряжений и перемещений модули упругости пород кровли и почвы в различные моменты времени определяются по формуле:

$$E_t = \frac{E}{1 + \Phi_t}, \quad (3.1)$$

где E – модуль упругости по данным таблицы 1.1;

$\Phi_t = \frac{\delta}{1-\delta} t^{1-\alpha}$ – функция ползучести;

α и δ – параметры ползучести;

t – время, с.

Для разрушенных пород модуль упругости E_p и коэффициент Пуассона ν_p имели те же значения, что и в параграфе 2.3.

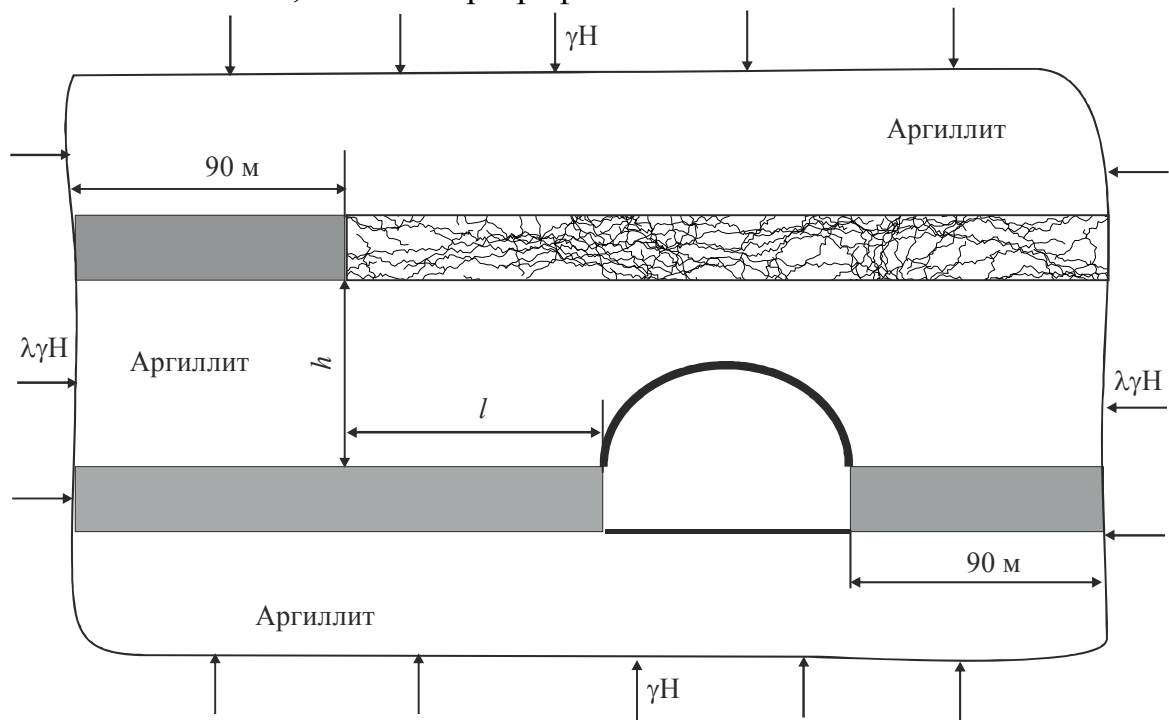


Рис. 3.4. К определению рационального местоположения подготовительной выработки в условиях надработки

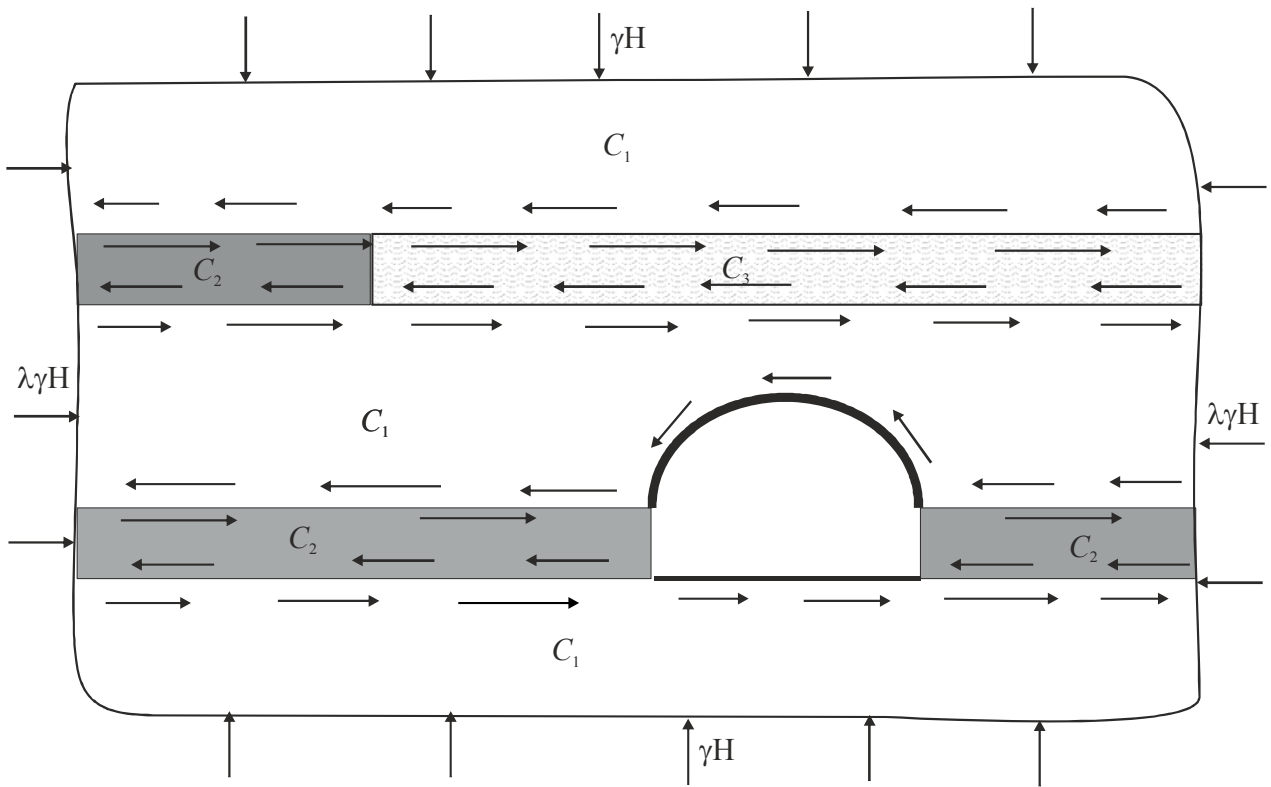


Рис. 3.5. Дискретизация границ

3.3 Результаты расчетов и их анализ

Ниже приведены результаты расчетов напряжений вокруг выработки и смещений пород по контуру, необходимых для выбора рационального места ее заложения. На рис. 3.6 изображены эпюры эквивалентных напряжений в кровле и почве выработки при $l = 0$ и мощности междупластья $h = 5$ м. Они несимметричны. Максимум напряжений приходится на сечение в кровле $\varphi \approx 120^\circ$ и составляет 250 МПа, что значительно превышает предел прочности породы.

Все эпюры напряжений, о которых речь пойдет ниже, построены с учетом времени отработки выемочных столбов.

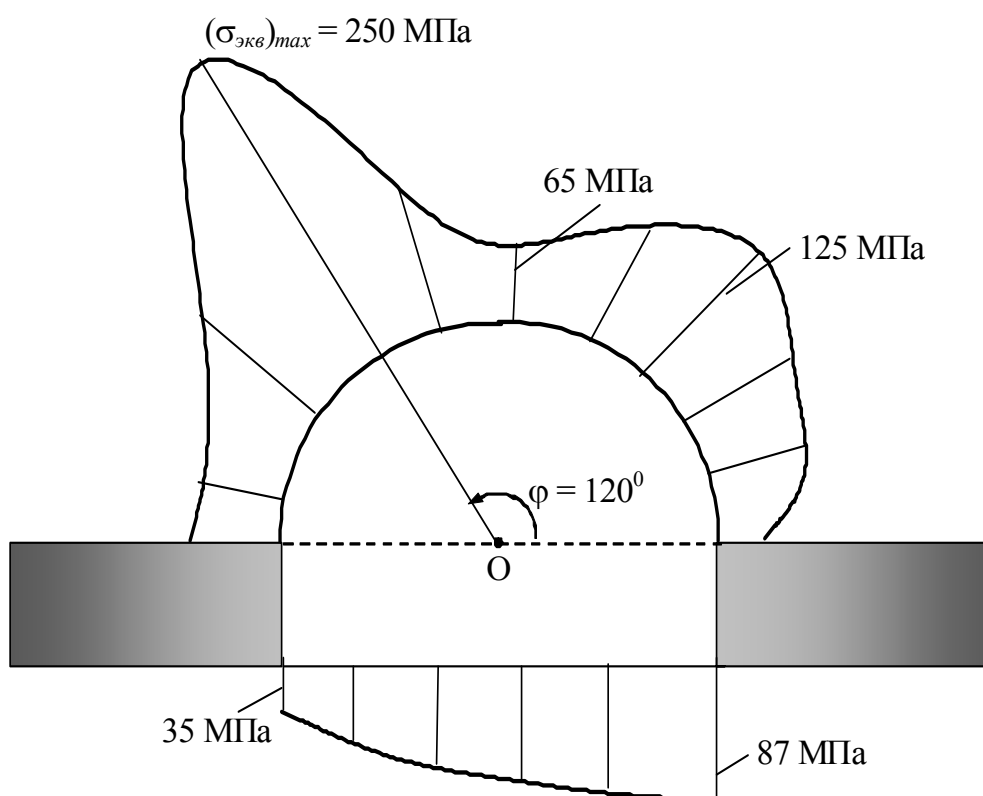


Рис. 3.6. Эпюры эквивалентных напряжений вдоль контура выработки при $h = 5$ м, $l = 0$

На рисунках 3.7 и 3.8 проиллюстрирован характер изменения эквивалентных напряжений в кровле выработки вдоль ее контура.

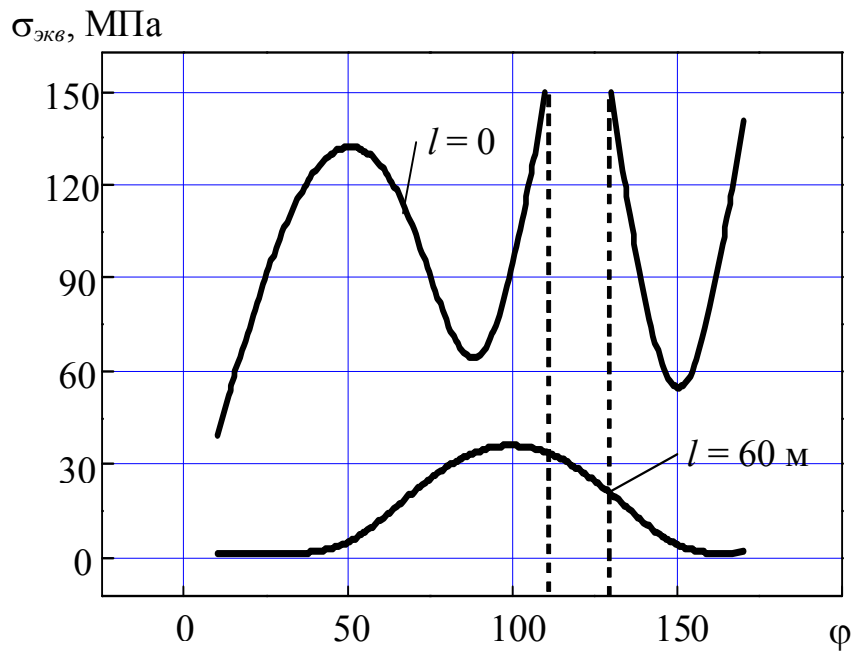


Рис. 3.7. Напряжения $\sigma_{\text{экв}}$ в кровле выработки вдоль ее контура при $h = 5$ м

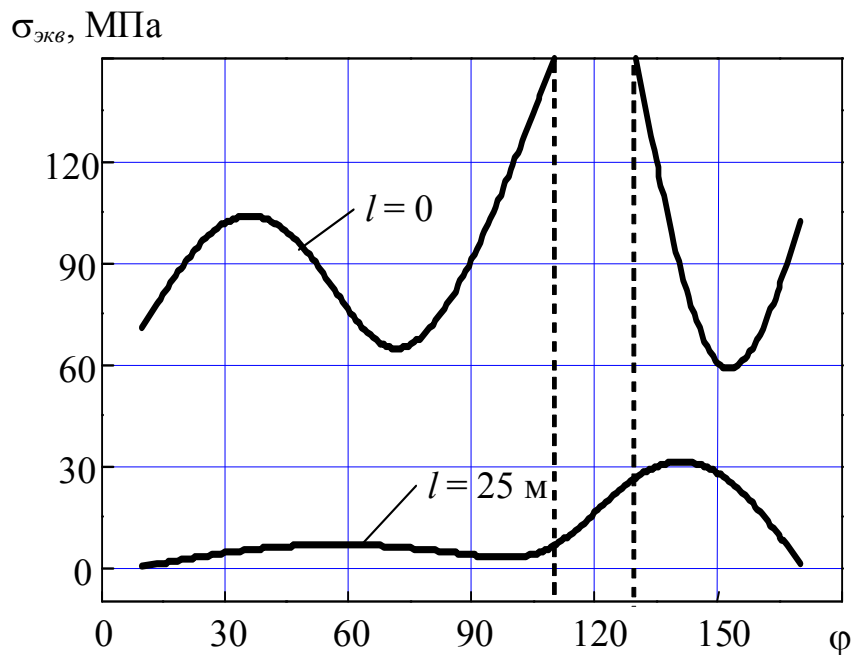


Рис. 3.8. Напряжения $\sigma_{\text{экв}}$ в кровле выработки вдоль ее контура при $h = 15$ м

Судя по эяграм рис. 3.7 при мощности междупластья $h = 5$ м и $l = 0$ (выработка находится под краевой частью верхнего пласта) напряжения $\sigma_{\text{экв}}$ в кровле всюду превышают предел прочности породы на сжатие $\sigma_c = 30$ МПа и наиболее нагруженной является область $110^\circ \leq \varphi \leq 140^\circ$. Естественно, такое расположение подготовительной выработки недопустимо. Если же выработку расположить на расстоянии $l = 60$ м, действующие напряжения лишь немногим превышают допустимые значения.

При мощности междупластья $h = 15$ м и $l = 0$ напряжения $\sigma_{эkv}$ в кровле также превышают σ_c и наиболее опасной является область $110^\circ \leq \varphi \leq 130^\circ$, но уже при $l = 25$ м в этом случае напряжения не превышают предела прочности породы.

Для обобщения результатов теоретических исследований максимальные эквивалентные напряжения по критерию (2.12) определялись в опасных сечениях выработки для параметра l , значения которого изменялись от 0 до 80 м с шагом 10 м.

Опасными, как и ранее, считались сечения, в которых коэффициенты пригрузок имели наибольшие значения – $(K_y)_{max} = 3,2$ в сечении $l_1 = 5$ м при $h = 5$ м и $(K_y)_{max} = 2,7$ в сечении $l_1 = 10$ м при $h = 15$ м.

Все расчеты производились для глубины $H = 300$ м и были приурочены к моменту времени $t = 16$ месяцев.

Полученные данные подвергались статистическому анализу, в результате были установлены следующие корреляционные зависимости максимальных эквивалентных напряжений $(\sigma_{эkv})_{max}$ от параметра l :

в почве

при $h = 5$ м

$$(\sigma_{эkv})_{max} = 63,675 - 3,075\sqrt{l} - 0,003l^2, \text{ МПа}; \quad (3.2)$$

при $h = 15$ м

$$(\sigma_{эkv})_{max} = 25,163 - 2,126\sqrt{l} + 0,001l^2, \text{ МПа}; \quad (3.3)$$

в кровле

при $h = 5$ м

$$(\sigma_{эkv})_{max} = 177,974 - 21,662\sqrt{l} + 0,007l^2, \text{ МПа}; \quad (3.4)$$

при $h = 15$ м

$$(\sigma_{эkv})_{max} = 128,010 - 15,966\sqrt{l} + 0,004l^2, \text{ МПа}; \quad (3.5)$$

Соответствующие коэффициенты корреляции приведены в таблице 3.1

Таблица 3.1

Показатели тесноты корреляционной связи $(\sigma_{эkv})_{max}$ и l

Коэффициент корреляции	Почва		Кровля	
	$h = 5$ м	$h = 15$ м	$h = 5$ м	$h = 15$ м
R	0,83	0,97	0,93	0,96

На рис. 3.9 и 3.10 точками показаны расчетные значения каждого из вариантов. Гладкие линии на них – кривые, построенные по зависимостям (3.2), (3.3), (3.4) и (3.5).

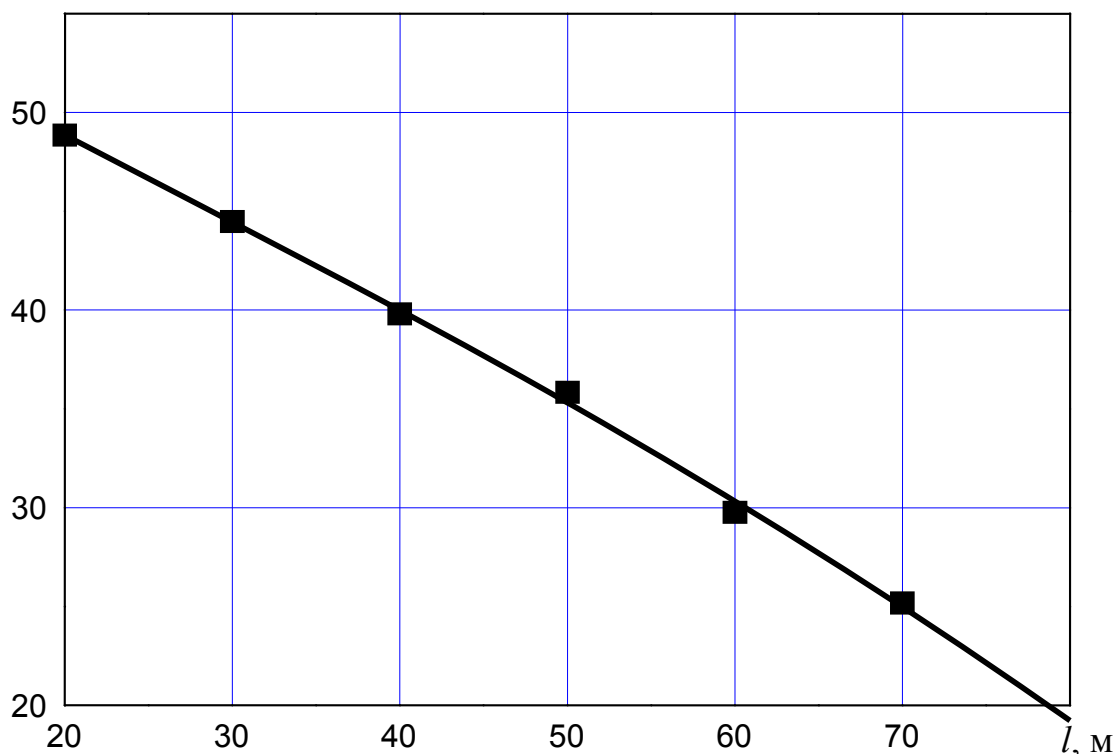
Если судить по эпюрам $(\sigma_{эkv})_{max}$ в почве, то согласно критерию П.П. Баландина (2.12) с запасом прочности $K = 1,2$ расстояние до контура выработки от краевой части верхнего пласта должно составлять $l = 70$ м при $h = 5$ м, а при $h = 15$ м напряжения на любом l намного меньше предела прочности на сжатие, и значит, не являются определяющими.

Исходя же из напряжений в кровле, при $h = 5$ м l должно быть не менее 80 м, а при $h = 15$ м допустимое значение $l = 25$ м.

Таким образом, из расчета по напряжениям рациональным для рассматриваемых горно-геологических условий является $l \geq 80$ м при $h = 5$ м и $l \geq 25$ м при $h = 15$ м. Однако следует еще проанализировать величины максимальных смещений на контуре рассматриваемой выработки. Это было приведено в работе [129].

а)

$(\sigma_{эkv})_{max}$, МПа



б)
 $(\sigma_{\text{экв}})_{\text{max}}$, МПа

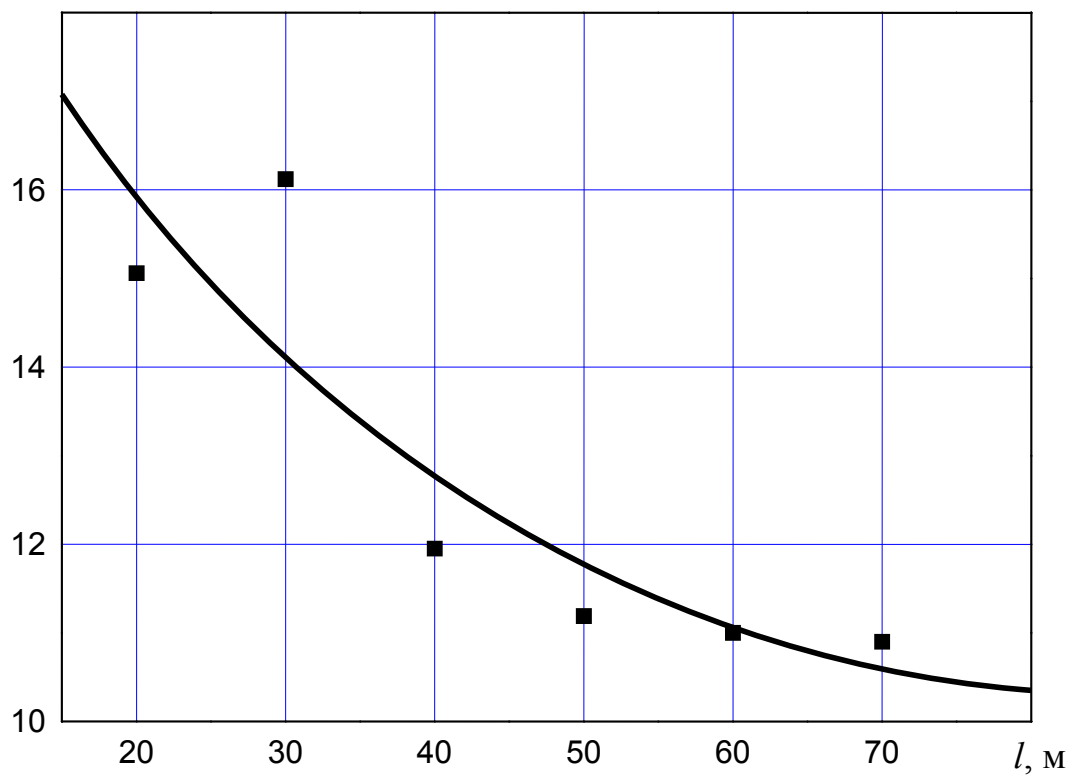
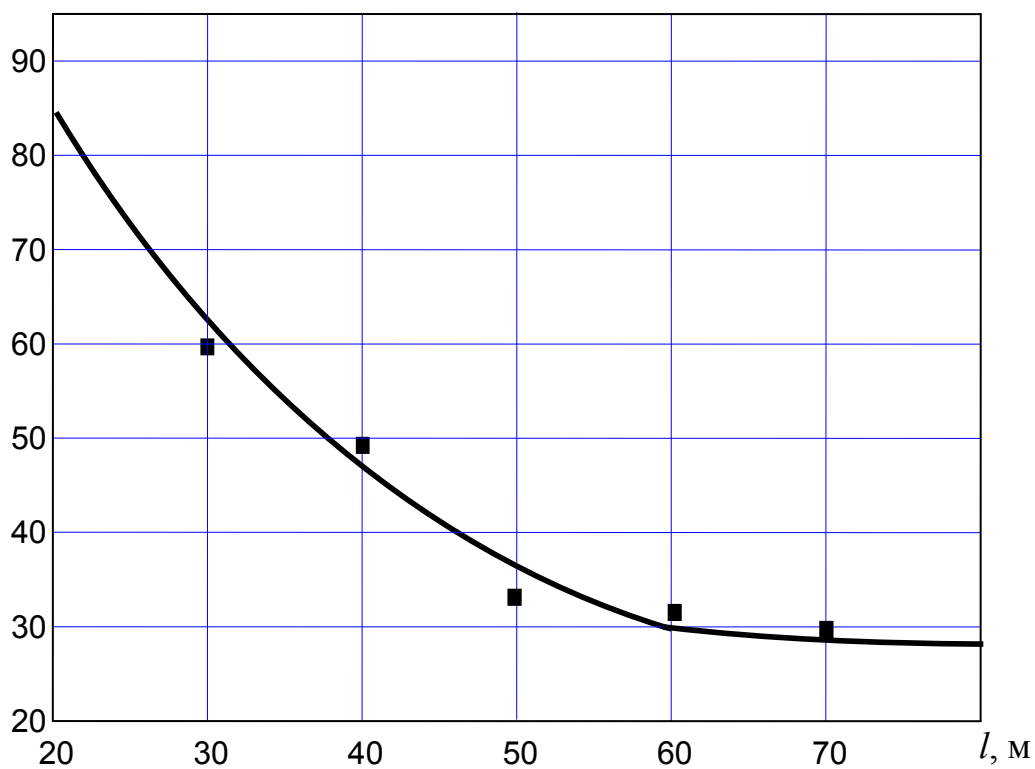


Рис. 3.9. Максимальные эквивалентные напряжения в почве выработки
а) $h = 5$ м; б) $h = 15$ м.

а)

$(\sigma_{\text{экв}})_{\text{max}}$, МПа



б)

$(\sigma_{\text{экв}})_{\text{max}}$, МПа

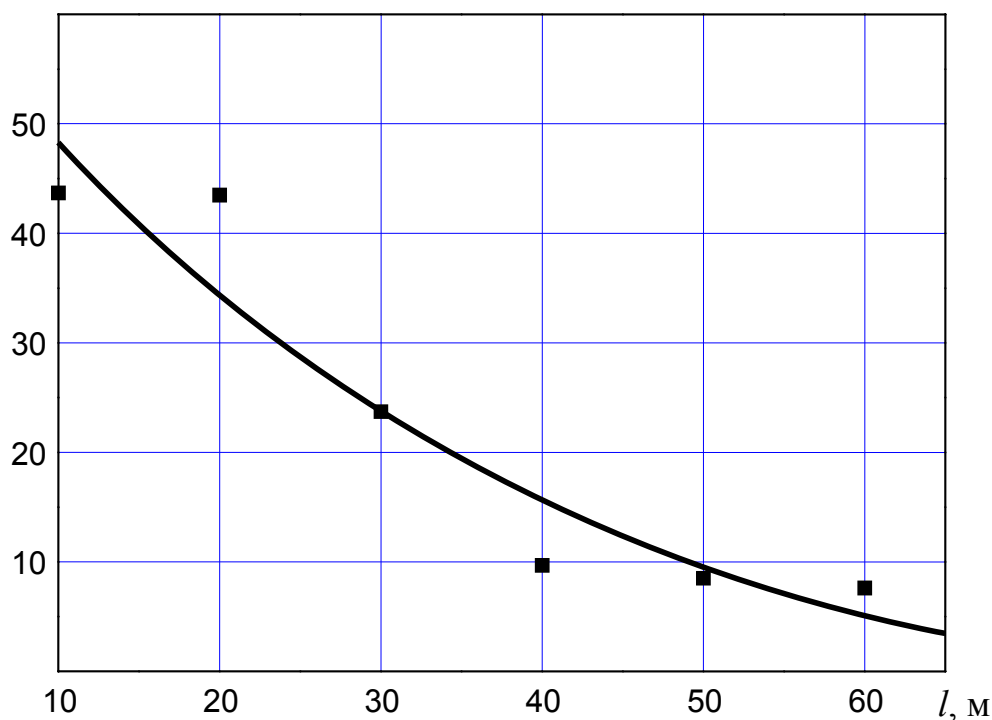


Рис. 3.10. Максимальные эквивалентные напряжения в кровле выработки

а) $h = 5$ м; б) $h = 15$ м.

Расчет смещений на контуре выработки производился в два этапа. Вначале для значительной области, охватываемой расчетной схемой рис. 2.1, а затем рассматривалась небольшая часть массива в окрестности выработки, на внешних границах которой в качестве действующей нагрузки задавались напряжения, полученные на первом этапе. Размеры малой окрестности составляли 45 м по горизонтали и 7 м по вертикали. Выработка располагалась симметрично относительно вертикальной оси. Расстояние от почвы выработки до нижнего края области составляло 2 м, а до верхнего – 5 м.

При этом использовался более мелкий, чем при решении задачи для большой области, шаг разбиения границ. Расчет выполнялся для значений l , изменяющихся от 0 до 80 м с шагом 10 м.

В таблице 3.2 приведены полученные значения перемещений кровли и почвы в каждом из расчетных вариантов.

Таблица 3.2.

Перемещения кровли и почвы выработки

h , м	l , м	$U_{п}$, мм	$U_{к}$, мм	Δu , мм	h , м	l , м	$u_{в}$, мм	$u_{н}$, мм	Δu , мм
5	0	174,8	248,5	423,3	15	0	74,3	105,6	179,9
	10	179,7	256,3	436,0		10	88,2	125,4	213,6
	20	137,1	194,9	332,0		20	65,3	92,8	158,1
	30	122,0	173,7	295,7		30	59,1	84,0	143,1
	40	115,5	164,1	279,5		40	55,8	79,3	135,1
	50	107,9	153,4	261,3		50	52,2	74,2	126,4
	60	94,6	134,5	229,1		60	51,1	69,0	120,1
	70	89,2	108,8	198,0		70	50,1	63,0	113,1
	80	87,1	105,2	192,3		80	49,8	62,9	112,7

По результатам полученных данных на основе статистического анализа установлены корреляционные зависимости, связывающие сближения кровли и почвы $(\Delta u_e)_{max}$ с расстоянием l , которые имеют следующий вид:

для $h = 5$ м

$$(\Delta u)_{max} = 477,07 + 20,21\sqrt{l} - 8,81l + 0,05l^2, \text{ мм}; \quad (3.6)$$

для $h = 15$ м

$$(\Delta u)_{max} = 182,61 + 20,39\sqrt{l} - 5,53l + 0,03l^2, \text{ мм}. \quad (3.7)$$

Коэффициенты корреляции этих зависимостей равны, соответственно, 0,91 и 0,96. Кривые, полученные по зависимостям (3.6) и (3.7), показаны на рис. 3.11 и 3.12. На этих же рисунках точками обозначены результаты соответствующих вариантов расчета.

Δu_b , мм

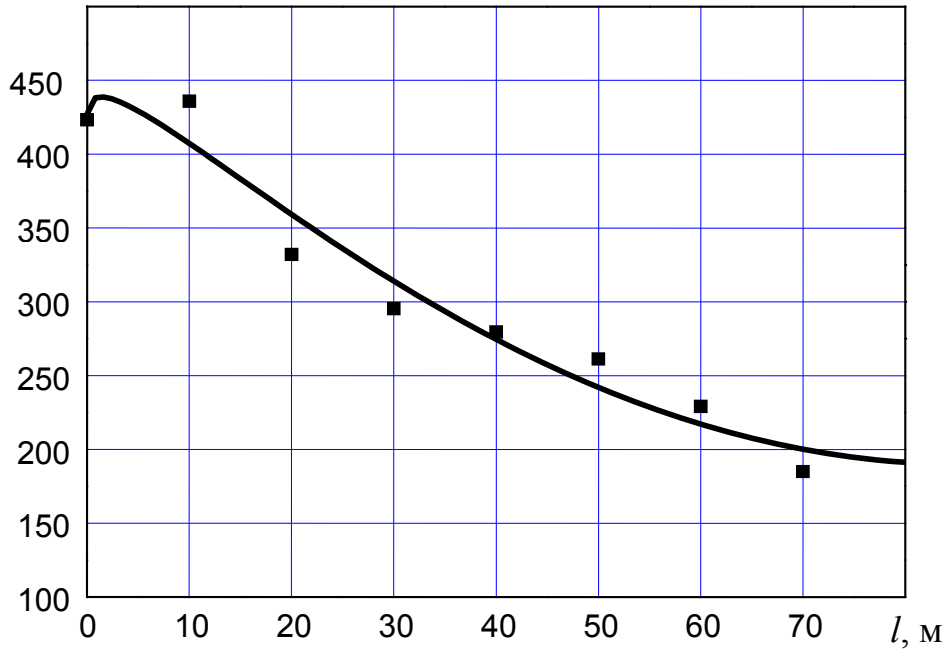


Рис. 3.11 Сближения почвы и кровли выработки
 $H = 300$ м; $t = 16$ мес.; $l_1 = 5$ м; $h = 5$ м.

Из рисунков 3.11 и 3.12 видно, что наибольшие смещения имеют место при $l = 5$ м. Если при этом мощность междупластья $h = 5$ м, то конвергенция достигает 440 мм, тогда как допустимое значение равно 300 мм. При $l = 40$ м и $h = 5$ м Δu_b принимает значение < 300 мм, т.е. в данном случае l должно быть не менее 40 м.

Δu_b , мм

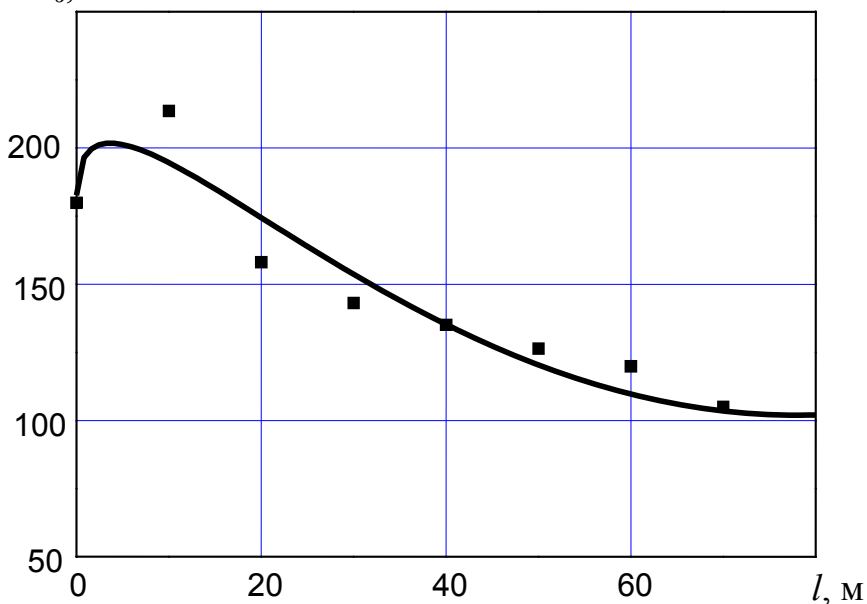


Рис. 3.12 Сближения почвы и кровли выработки
 $H = 300$ м; $t = 16$ мес.; $l_1 = 10$ м; $h = 15$ м.

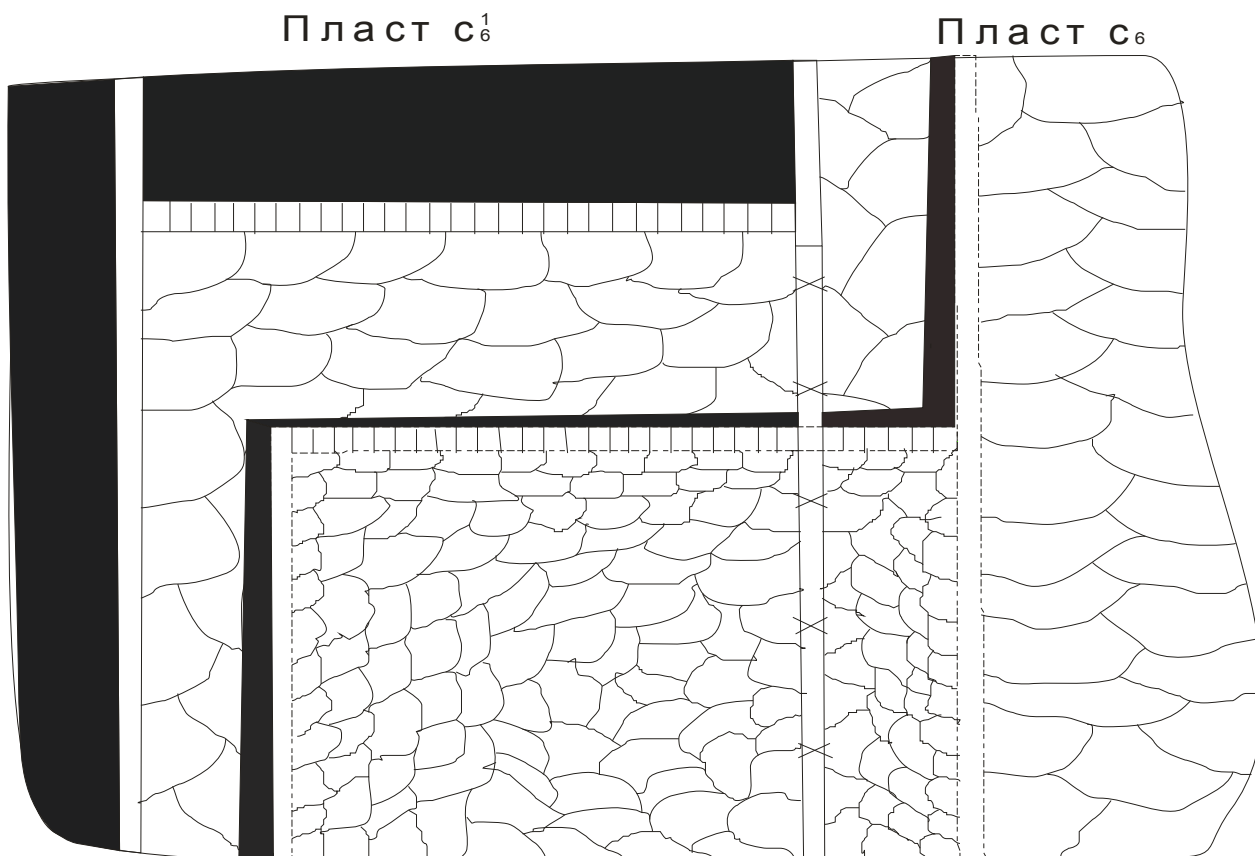
Если же мощность междупластья $h = 15$ м, конвергенция в опасном сечении не превышает допустимого значения. Такие же результаты дают расчеты по формулам (3.5) и (3.6).

Таким образом в обоих случаях, при $h = 5$ м и $h = 15$ м, определяющим, при нахождении рационального расстояния является расчет по напряжениям. Соответственно искомое расстояние l должно быть не менее 60 м при $h = 5$ м и не менее 25 м при $h = 15$ м. Значения сближений пород почвы и кровли при этом не превышают допустимых и составляют 230 мм и 147 мм.

3.4 Рекомендуемые технологические схемы

Обоснование безопасных границ концентрации горных работ дало возможность разработать две технологические схемы отработки сближенных пластов при столбовой и комбинированной системах разработки. В этих схемах граничное положение контуров очистных и подготовительных выработок учитывает установленную динамику горного давления (рис. 3.13 и 3.14).

а)



б)

Пласт с₆¹

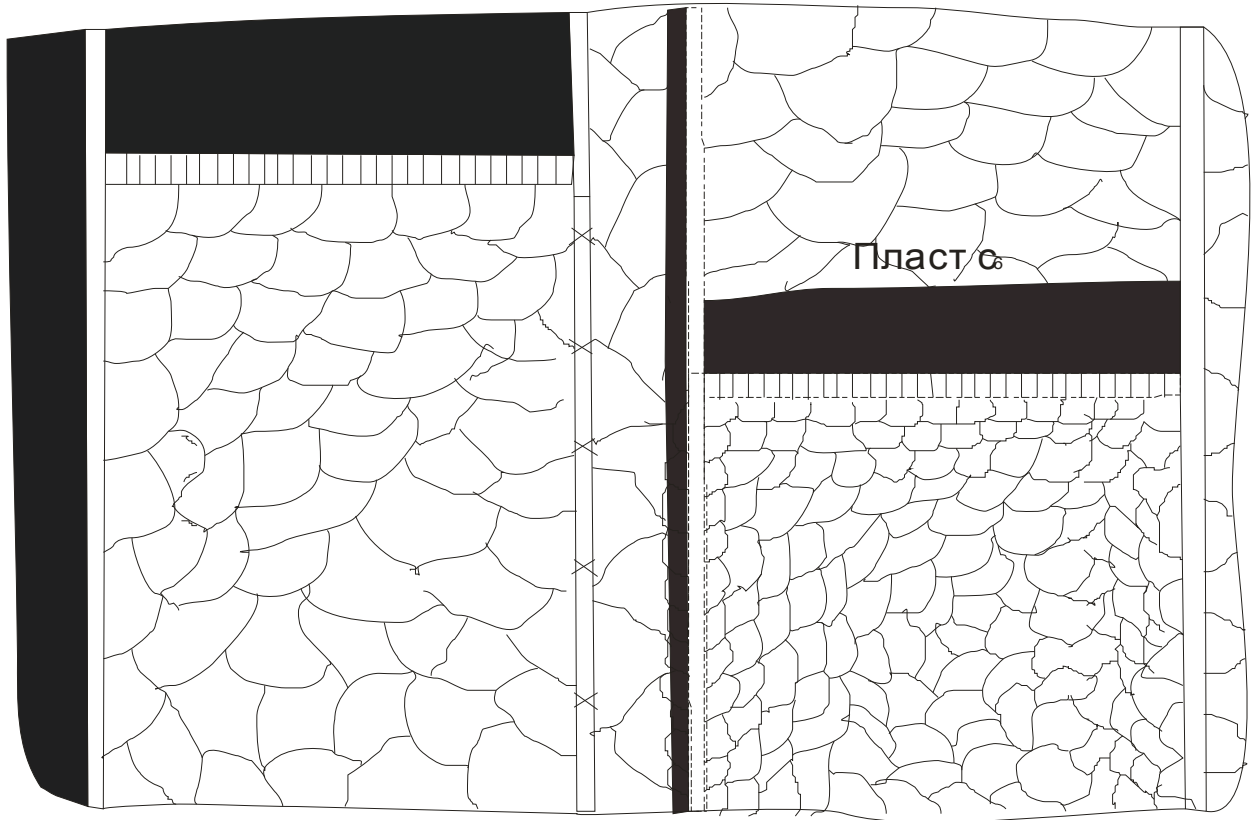


Рис. 3.13. Технологические схемы отработки сближенных пластов при концентрации горных работ

а) - комбинированная система разработки;

б) - столбовая система разработки.

При этом значения l – минимально допустимые расстояния от места заложения выработки нижнего пласта находят по выше описанной методике, а L – минимально допустимое расстояние между очистными забоями при отработке двух смежных сближенных пластов определяют согласно методике описанной во втором разделе. Рекомендуемое отставание забоя нижней лавы составляет:

$$L_p = L + \frac{l_n^{мес}}{2},$$

где $l_n^{мес}$ - месячное подвигание очистных работ, м/мес.

Выводы

1. Численным методом граничных элементов выполнена количественная оценка влияния лавы верхнего пласта на подготовительную выработку, пройденную по нижнему пласту. Получен график зависимости максимального коэффициента пригрузки в кровле, по отношению к уровню γ_H , от расстояния между очистным забоем и сечением выработки. Найденные коэффициенты пригрузки предназначены для использования в качестве исходных данных при исследовании устойчивости протяженной надрабатываемой выработки.

2. Для рассматриваемых горно-геологических условий по критерию П.П. Баландина на основе модели линейной ползучести с ядром Абея установлены корреляционные соотношения между максимальными эквивалентными напряжениями в кровле и почве надрабатываемой выработки и расстоянием от поперечного сечения последней до краевой части верхнего пласта. При получении данных зависимостей влияние очистных работ по верхнему пласту учитывалось посредством коэффициентов пригрузки.

3. Установлены корреляционные соотношения между максимальным сближением почвы и кровли выработки заложеной в зоне надработки и расстоянием от ее поперечного сечения до краевой части верхнего пласта.

4. Установлено, что при концентрации горных работ на сближенных пластах необходимо комплексно учитывать эквивалентные напряжения в массиве и максимальные допустимые смещения пород по контуру выработки.

Для рассматриваемых условий границами безопасного и экономически целесообразного заложения подготовительных выработок по нижнему, надрабатываемому пласту являются расстояния до краевой части верхнего пласта равные: 60 м при мощности междупластья $h = 5$ м и 25 м при $h = 15$ м, а сокращение этих расстояний до нуля приводит к полной потере сечения выработок с пятикратным превышением напряжений в кровле выработок над пределом прочности горных пород на одноосное сжатие.

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ШАХТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЯВЛЕНИЙ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ ОТРАБОТКЕ СБЛИЖЕННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

С целью проверки основных теоретических положений и получения фактических значений исследуемых параметров проявлений горного давления в очистных и подготовительных выработках, при отработке сближенных пластов, проведен ряд натурных исследований.

Исследования проводились в 2000-2004 годах на шахте “Степная” ПАО “ДТЭК Павлоградуголь” под руководством и непосредственном участии авторов. В процессе выполнения исследований установлены фактические значения сближений боковых пород в лавах и примыкающих к ним выемочных штреках, силовые параметры крепи, изучен характер разрушения боковых пород, определены параметры опорных зон при ведении очистных работ и их влияние на смежные горные выработки при отработке сближенных пластов.

Шахтные исследования выполнялись по специально разработанной методике, которая является самостоятельным документом и учитывает основные положения известных отраслевых методик [116, 121,122].

4.1 Характеристика условий исследований

Исследования выполнялись в очистных и подготовительных выработках при отработке сближенных пластов в характерных для региона горно-геологических условиях. Характеристика мест проведения исследований приведена в табл. 4.1 и 4.2. Сводная литологическая колонка по сближенным пластам C_6 и C_6^1 представлена на рис. 4.1., а в табл. 4.3. даны характеристики и физико-механические свойства литологических разностей.

Как на рисунке, так и в таблицах прогнозные данные уточнены горными работами в процессе отработки выемочных столбов.

Отработка пластов C_6 и C_6^1 в условиях шахты “Степная” осуществляется спаренными лавами, оборудованными механизированными комплексами КМК-97М, в состав которых входят: механизированная крепь МК-98, комбайн МК-67 и конвейер СП-250. Способ подготовки – погоризонтный, система разработки – длинными столбами (в основном спаренными) по восстанию. Выкопировки из планов горных выработок по пластам C_6 и C_6^1 приведены на рис. 4.2. и 4.3, а совмещенный план работ на рис. 4.4.

Угольные пласты отрабатываются в нисходящем порядке с опережающей отработкой пласта C_6^1 . Глубина ведения работ составляет 220 – 380 м. Бортовые штреки повторно используются, для чего после прохода лав поддерживаются, при необходимости перекрепляются.

4.2. Результаты шахтных исследований в лавах

4.2.1. Состояние пород кровли

При оценке состояния кровли в лавах исследовались: процессы трещинообразования, вывалообразования и разрушения пород кровли. Учитывалось наличие выработанного пространства, надработки и мощность междупластья.

Трещинообразование изучалось визуально, а ширина раскрытия трещин измерялась мерной линейкой. Результаты исследований приведены в табл. 4.4.

Таблица 4.1

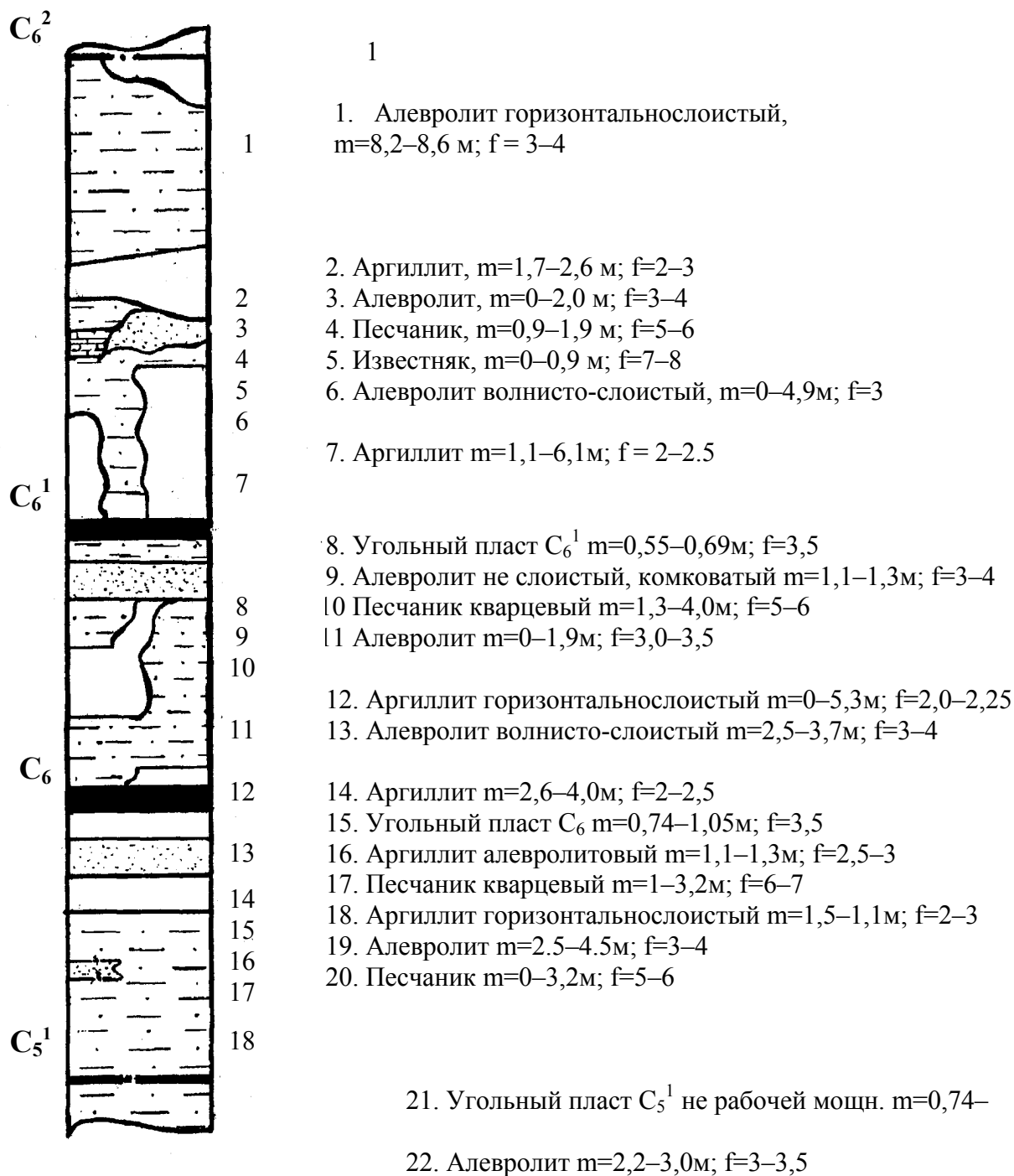
Характеристика мест проведения исследований. Очистные забои.

№ п/п	Шахта, лава, пласт	Длина лавы, м	Вынимаемая мощность пласта, м	Тип механизации	Наличие надработки	Кровля пласта	Почва пласта			
1	Ш. «Степная», лава №215, пл.с ₆ ¹	200	0,87	МК – 67, МК – 98, СП - 250	Отсутствует.	Аргиллит слоистый мощностью 1,1 – 1,5 м.	Алевролит волнисто-слоистый мощностью 1,1 – 1,3 м.			
2	Ш. «Степная», лава №213, пл.с ₆ ¹	200	0,87	МК – 67, МК – 98, СП - 250						
3	Ш. «Степная», лава №211, пл.с ₆ ¹	200	0,9	МК – 67, МК – 98, СП - 250						
4	Ш. «Степная», лава №217 бис, пл.с ₆ ¹	200	0,9	МК – 67, МК – 98, СП - 250						
5	Ш. «Степная», лава №215 бис, пл.с ₆ ¹	193	0,89	МК – 67, МК – 98, СП - 250						
6	Ш. «Степная», лава №213 бис, пл.с ₆ ¹	200	0,88	МК – 67, МК – 98, СП - 250						
7	Ш. «Степная», лава №119, пл.с ₆	200	0,95	МК – 67, МК – 98, СП - 250				Надработана.	Алевролит волнисто-слоистый мощностью 1,1 – 1,3 м.	Аргиллит комковатой структуры мощностью 1,1 – 1,3
8	Ш. «Степная», лава №117, пл.с ₆	175	0,97	МК – 67, МК – 98, СП - 250				Надработана.		
9	Ш. «Степная», лава №117 бис, пл.с ₆	175	0,95	МК – 67, МК – 98, СП - 250				Надработана.		
10	Ш. «Степная», лава №106, пл.с ₆	200	0,83	МК – 67, МК – 98, СП - 250				Отсутствует.		
11	Ш. «Степная», лава №110, пл.с ₆	200	0,93	МК – 67, МК – 98, СП - 250				Отсутствует.		

Таблица 4.2

Характеристика мест проведения исследований. Подготовительные выработки.

№ п/п	Шахта, выработка, пласт	Длина выработки, м	Сечение выработки, м ²	Период проведения	Место заложения	Влияние очистных работ	Почва	Кровля
1	ш.«Степная», 215 бис б.ш., пл.с ₆ ¹	1030	9,5		–		Алевролит волнисто-слоистый мощностью 1,1 – 1,3 м.	Аргиллит слоистый мощностью 1,1 – 1,5 м.
2	ш.«Степная» 215 б.ш., пл.с ₆ ¹	1360	9,5		–			
3	ш.«Степная» 211 б.ш., пл.с ₆ ¹	1340	9,5	С 03.1995 по 02.1996	–			
4	ш.«Степная» 219 б.ш., пл.с ₆ ¹	1275	9,5		–			
5	ш.«Степная» 119 б.ш., пл.с ₆	940	9,5		Под 219 б.ш.			
6	ш.«Степная» 117 сб.ш., пл.с ₆	1305	9,5	С 09.2000 по 04.2002	Под 217 б.ш.		Аргиллит комковатой структуры мощностью 1,1 – 1,3	Алевролит волнисто-слоистый мощностью 1,1 – 1,3 м.
7	ш.«Степная» 115 б.ш., пл.с ₆	1365	9,5	С 06.2001 по 04.2002	15 м под выруб. простр.	Влияние очистных работ 215 лавы пл. с ₆ ¹		
8	ш.«Степная» 111 б.ш., пл.с ₆	1220	9,5	С 08.2002 по 04.2003	40 м под выруб. простр.	Влияние очистных работ 211 лавы пл. с ₆ ¹		
9	ш.«Степная» 115 бис б.ш., пл.с ₆	1015	9,5		25 м под выруб. простр.	Влияние очистных работ 215 бис лавы пл.с ₆ ¹		
10	ш.«Степная» 111 бис б.ш., пл.с ₆	1095	9,5		40 м под выруб. простр.	Влияние очистных работ 211 бис лавы пл.с ₆ ¹		



Условные обозначения:

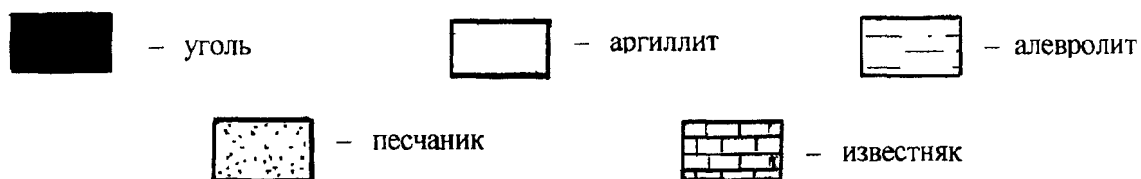


Рис. 4.1 Сводная литологическая колонка по разрабатываемым шахтой "Степная" угольным пластам C_6 и C_6^1

Таблица 4.3

Физико-механические свойства пород вмещающих угольные пласты C_6 и C_6^1

№ слоя на рис. 4.1	Нормальная мощность слоя, м	Описание пород	Обрушаемость, устойчивость	Физико-механические свойства							
				$\sigma_{сж}$, кг/см ²	$\sigma_{раст}$, кг/см ²	W , %	Q , г/см ³	Коэф. разрыхлен.	Размокаемость	Трепещиватость, тр/м	Склонность к пучению
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	8,2-8,6	Породы основной кровли пласта C_6^1 Алеврит серый слоистый, слоистый за счет прослоев песчаника, реже аргиллита	A ₂	230	12	-	-	-	-	-	-
2	1,7-2,6	Аргиллит горизонтальнослоистый за счет тонких прослоев алевролита.	A ₂	240	20	-	-	-	-	-	-
3	0-2,0	Алеврит слоистый за счет тонких прослоев аргиллита и линзочек песчаника	A ₂	220	12	-	-	-	-	-	-
4	0,9-1,9	Песчаник кварцевый мелкозернистый крепкий, на известково-кремнистом цементе.	A ₃	450-650	50	5,6	2,7 0	1,8	Не разм.	1-2	-
5	0-0,9	Известняк скрытокристаллический с остатками окаменелой фауны.	A ₃	500-750	-	-	-	-	-	-	-
6	0-4,9	Алеврит волнисто-слоистый за счет частых линз песчаника кварцевого, реже прослоев аргиллита.	A ₂	220	12	3,0	2,7 2	1,8	За 3 сут.	1-2	-
7	1,1-6,1	Аргиллит горизонтальнослоистый за счет тонких прослоев алевролита, реже глинистого сидерита.	A ₂	230	20	19	2,6 7	1,7	За 12 час.	2-4	-

Продолжение таблицы 4.3

7	1,1-1,5	Породы непосредственной кровли пласта C_6^1 Аргиллит слоистый Контакт с угольным пластом четкий, сцепление слабое, или отсутствует. В зонах тектонических нарушений и неупругих деформаций интенсивно трещиноватый, “ложная” кровля.	A^2, B^2 A_1, B_1	200	20	2,25	2,67	1,7	3а 12 час. 3а 12 час.	4-5 5-10	– –
8	0,5-0,69	Угольный пласт C_6^1 – каменный тонкополосчатый уголь, 2-х пачечного строения с прослоем песчаника с зеркалом скопления, трещиноватый, (Над выемочными столбами 117 и 119 лав отработан).		350	3, 68	3,68	1,24	1,8	–	10-15	–
9	1,1-1,3	Породы непосредственной почвы пласта C_6^1 и основной кровли пласта C_6 . Алевролит, в кровле комковатой текстуры, ниже волнисто-слоистый за счет прослоев песчаника, трещиноватый склонный к пучению и размоканию.	P_2	200	20	2,42	2,70	1,8	3а 12 час	4-5	Пуча- щие
10	1,3-1,5	Породы осн. почвы пл. C_6^1 и осн. кровли пл. C_6 . Песчаник слоистый кварцевый мелкозернистый за счет переслаивания с алевролитом, на песчано-глинистом цементе.	P_2	350- 550	45	4,0	2,71	1,8	3а 2 сут.	1-2	Пуча- щие
11	0-1,9	Алевролит волнистослоистый за счет прослоев песчаника, реже аргиллита, сцепление слабое.	P_2	230	20	2,0	2,70	1,8	3а сут.	1-2	Пуча- щие
12	0-5,3	Аргиллит слоистый, с прослоями алевролита слюдистого, трещиноватый. Контакт отчетливый, сцепление слабое.	P_2	240	25	2,75	2,70	1,7	3а 12 час	1-2	Сильно пуч.
13	0-3,7	Породы непосредственной кровли пл. C_6 . Алевролит волнисто-слоистый с прослоями песчаника местами очень крепкого. В зонах неупругих деформаций и тектонических нарушений сильно расслоен, сильно трещиноватый, весьма неустойчив, внутрислойное сцепление отсутствует.	P_2	230	20	2,0	2,70	1,8	3а сут.	1-2	Пуча- щие

Продолжение таблицы 4.3

14	0-0,9	Аргиллит горизонтальнослоистый, трещиноватый, местами расслоен. В зонах неупругих деформаций и тектонических нарушений сильно расслоен, интенсивно трещиноват, весьма неустойчив, внутрислойное сцепление отсутствует.	П ₂	240-200	24	2,56	2,64	1,7	За 12 час	1-2	Сильно пучающий
15	0,74-1,05	Угольный пласт С ₆ - тонкопелосчатый, простого однопачечного строения, реже с прослоями аргиллита мощностью до 0,05 м и протяженностью до 3-5 м. Крепкий, трещиноватый с включениями пирита, обводненный. Контакт с породами кровли отчетливый, сцепление отсутствует.		350		5,9	1,24	1,8	-	10-15	-
16	1,1-1,3	<u>Породы непосредственной почвы пласта С₆</u> Аргиллит алевролитовой комковатой текстуры, с “зеркалами ” скопления, с обугленной флорой, интенсивно пучающий, размокающий в воде до состояния глины с полной потерей несущей способности.	П ₂	150-200	17	2,28	2,68	1,7	За 12 час	4-5	Интенсивно пучающий
17	1,0-3,2	<u>Породы основной почвы пласта С₆</u> Песчаник кварцевый мелкозернистый горизонтальнослоистый за счет переслаивания с алевролитом слюдястым, плотный, крепкий на кремнисто-глинистом цементе.	П ₂	450-650	45	-	-	-	-	-	-
18	1-1,5	Аргиллит горизонтальнослоистый	П ₂	230	20	-	-	-	-	-	-
19	2-3	Алевролит слюдястый	П ₂	250	23	-	-	-	-	-	-
20	0-1,2	Песчаник кварцевый мелкозернистый	П ₂	600	40	-	-	-	-	-	-
21	0-0,6	Угольный пласт С ₅ ¹		350	-	-	-	-	-	-	-
22	2,5-4	Алевролит слюдястый	-	250	25	-	-	-	-	-	-

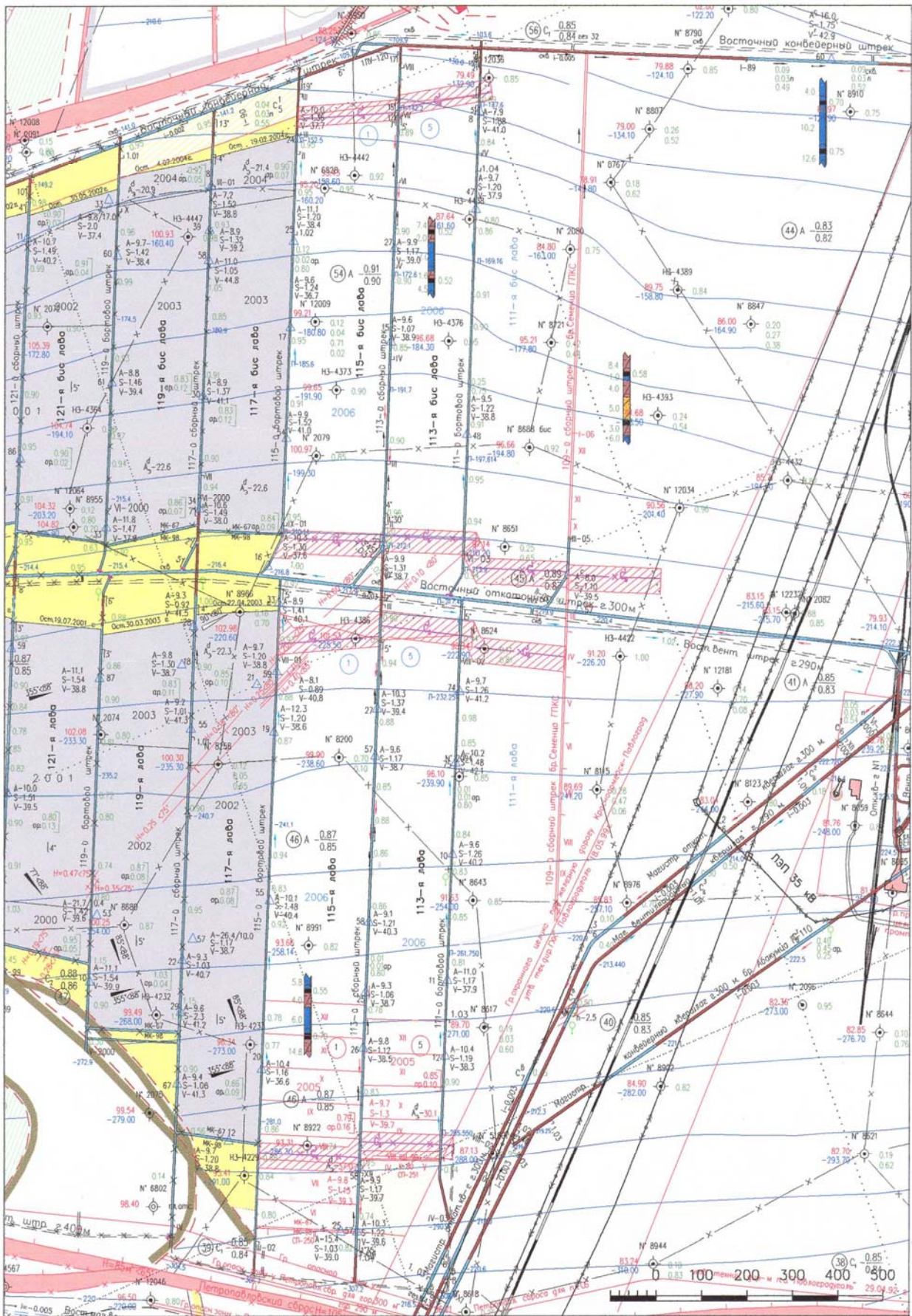


Рис. 4.2 Выкопировка из плана горных работ по пласту С₆

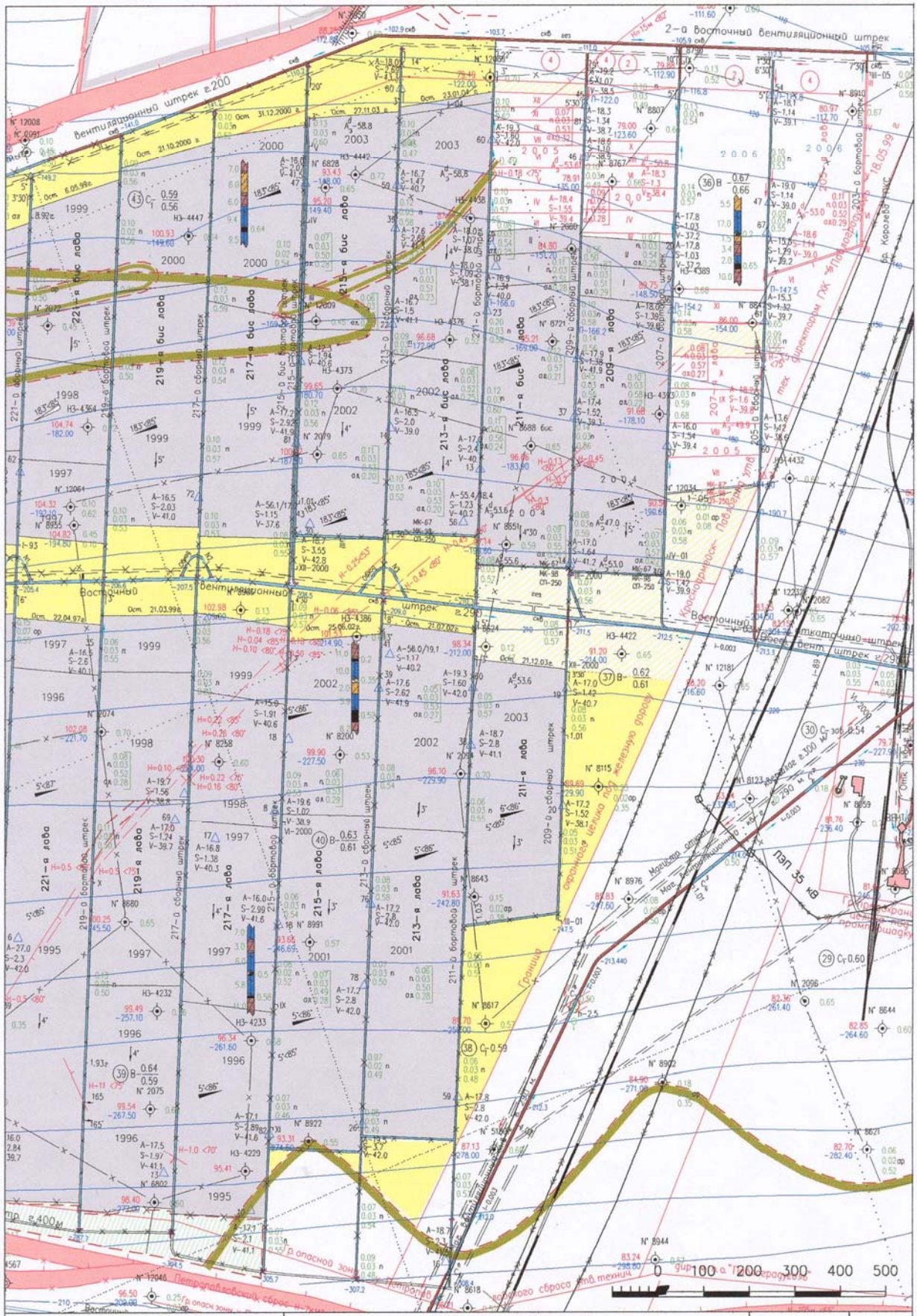


Рис. 4.3. Выкопировка из плана горных работ по пласту C_6^1



Рис. 4.4. Совмещенный план горных работ по пластам C_6 и C_6^1 .

Таблица 4.4.

Результаты исследований разрушения пород кровли в лавах.

№ п.п.	Лава	Период проведения исследований	Наличие наработки	Мощность, м	Количество трещин на 1 п.м. лавы	Ширина трещин (мм) на расстоянии от забоя, м					Расстояние от забоя до места разрушения пород кровли, м	Толщина породной «подушки» на перекрытии крепи, см
						0	0,8	1,6	2,4	3,2		
1	ш. «Степная», лава №215, пл.с ₆	08.09.01-29.10.01	отсутствует	11	2-3	-	1-2	2-3	5-6	7-8	4	-
2	ш. «Степная», лава №213, пл.с ₆	14.07.01-27.08.01	отсутствует	10	2-3	-	1-2	2-3	6-7	8-9	3,8	2
3	ш. «Степная», лава №211, пл.с ₆	06.08.03-26.09.03	отсутствует	11	2-3	-	1-2	2-3	5-6	7-8	3,9	-
4	ш. «Степная», лава №217 бис, пл.с ₆	20.06.00-24.08.00	отсутствует	11	3-4	-	1-2	2-3	5-6	7-8	4,1	3
5	ш. «Степная», лава №215 бис, пл.с ₆	12.03.03-04.05.03	отсутствует	11	3-4	-	1-2	2-3	6-7	8-9	3,9	1
6	ш. «Степная», лава №213 бис, пл.с ₆	11.05.03-03.07.03	отсутствует	11	2-3	-	1-2	2-3	5-6	8-9	3,8	-
7	ш. «Степная», лава №119, пл.с ₆	15.07.02-28.08.02	наработана.	11	11-14	2-3	5-6	12-15	разрушена	разрушена	1,9	8
8	ш. «Степная», лава №117, пл.с ₆	10.09.02-22.10.02	наработана.	11	10-12	2-3	5-6	12-15	разрушена	разрушена	2,0	7
9	ш. «Степная», лава №117 бис, пл.с ₆	02.10.03-17.11.03	наработана.	11	12-14	2-3	5-6	12-15	разрушена	разрушена	1,9	5
10	ш. «Степная», лава №106, пл.с ₆	23.10.02-18.12.02	отсутствует	10	3-4	-	1-2	2-3	5-6	7-8	3,5	-
11	ш. «Степная», лава №110, пл.с ₆	15.03.04-03.05.04	отсутствует	11	3-4	-	1-2	2-3	5-6	8-9	3,7	2

Из данных таблицы следует, что состояние пород кровли в лавах пласта C_6^1 значительно лучше, чем в лавах пласта C_6 . Повышенная трещиноватость в породах кровли пласта C_6^1 отмечалась лишь в местах горно-геологических нарушений. В основном же интенсивность трещинообразования составляла 2...3 трещины на 1 погонный метр лавы. Технологические трещины, образующиеся обычно в процессе отработки пласта и ярко выраженные в лавах пласта C_6 , в кровле пласта C_6^1 раскрываются незначительно.

При этом смещений кровли по кромке пласта не отмечалось. Характер разрушения кровель в лавах рассматриваемых пластов показан на рис. 4.5.

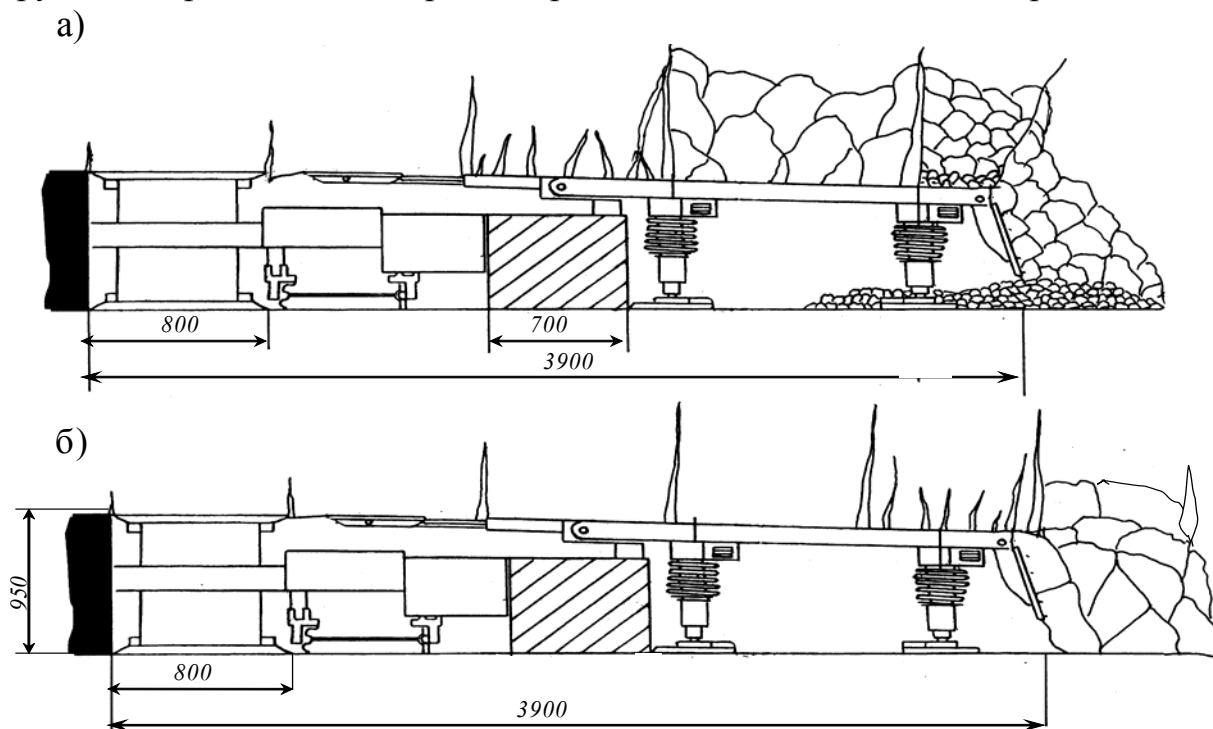


Рис. 4.5. Характер трещинообразования в лавах пласта C_6 (а) и C_6^1 (б)

Разрушение пород кровли в лавах пласта C_6 происходило либо непосредственно после ее обнажения, либо над перекрытиями секций крепи, тогда как по верхнему пласту кровля разрушалась в основном в выработанном пространстве лавы. Это можно объяснить тем, что вмещающие пласт C_6 породы, как и сам угольный пласт были подвергнуты повышенному горному давлению при отработке вышележащего пласта C_6^1 . В результате, как породы, так и сам пласт C_6 имеет повышенную трещиноватость, и не одну (в отличие от пласта C_6^1), а две системы кливажа. Интенсивность трещинообразования составляла 6...12 трещин на 1 п.м., а иногда доходила до 15...18 трещин. Технологические трещины, параллельные забою лавы, образовывались сразу же после выемки полосы угля и располагались на расстоянии 0,8 м друг от друга (ширина захвата исполнительного органа комбайна). Ширина этих трещин изменялась от 3...5 мм – у забоя до 10...15 мм на расстоянии 1,6 м от забоя, после чего порода разрушалась и кровля теряла сплошность.

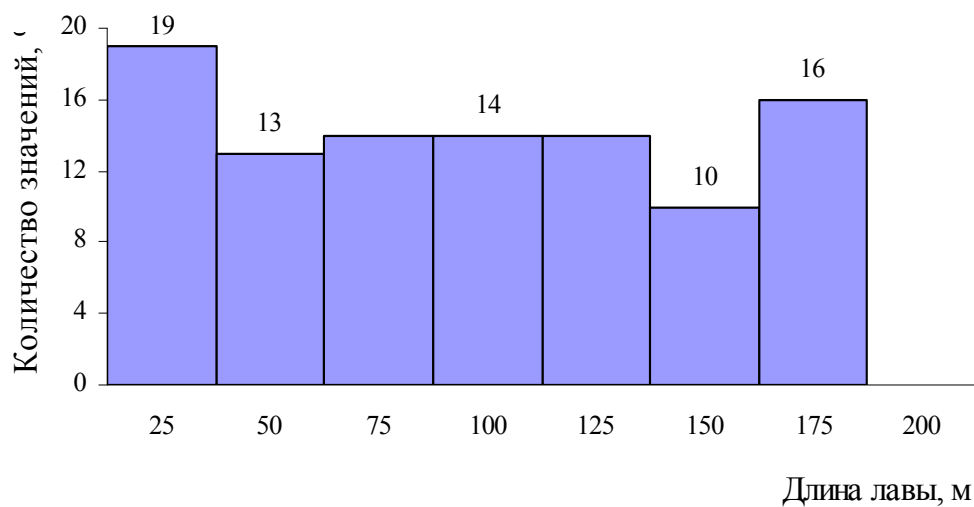
Вследствие разрушения кровли на перекрытиях крепи наблюдалось наличие “породных подушек” толщиной 5...10 см, порода просыпалась в

рабочее пространство лавы, затрудняя передвижение рабочих по лаве, уменьшая и без того ограниченное свободное пространство.

Результаты исследований процессов вывалообразования в лавах, отрабатывающих сближенные пласты, приведены в таблице 4.5.

По результатам фиксирования количества вывалов и измерения их размеров в лавах 117 по пласту C_6 (надработана) и 215 по пласту C_6^1 шахты “Степная” за весь период их работы построены гистограммы распределения количества вывалов в процентах по длине рабочего пространства лав (рис. 4.6).

а)



б)

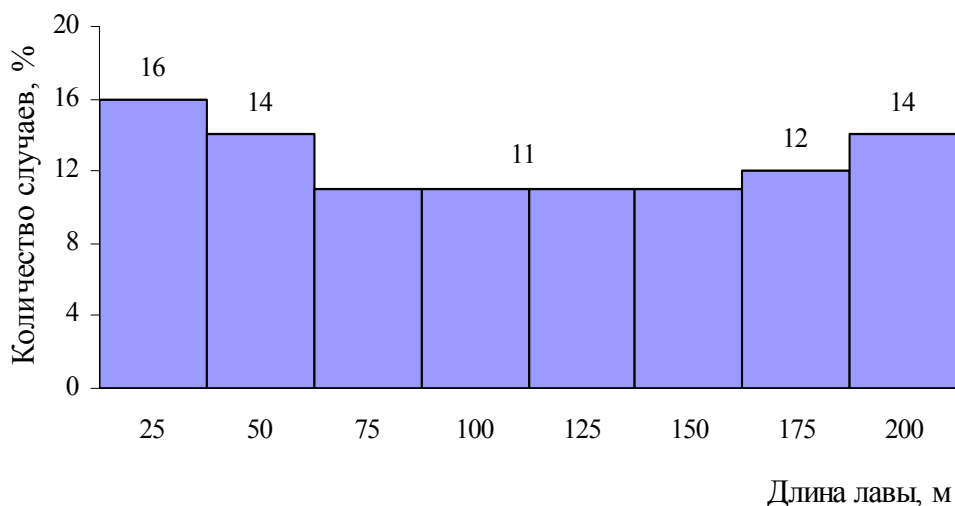


Рис. 4.6. Гистограмма распределения вывалов по длине 117-ой (а) и 215-ой (б) лав пластов C_6 и C_6^1

Таблица 4.5

Результаты исследований процессов вывалообразования в лавах

№ п.п	Лава	Период проведения исследований	Наличие надработки	Мощность между-пластья, м	Высота вывалов, $\frac{min-max}{сред}$, м		Удельное вывалообразование, м ³ /м	
					у бортового штрека	в средней части лавы	у бортового штрека	в сред. части лавы
1	ш. «Степная», ¹ лава №215, пл.с ₆	08.09.01- 29.10.01	отсутствует	11	–	$\frac{0,1-0,3}{0,2}$	–	0,01
2	ш. «Степная», ¹ лава №213, пл.с ₆	14.07.01- 27.08.01	отсутствует	10	$\frac{0,2-0,3}{0,25}$	–	0,012	–
3	ш. «Степная», ¹ лава №211, пл.с ₆	06.08.03- 26.09.03	отсутствует	11	–	$\frac{0,1-0,4}{0,25}$	–	0,012
4	ш. «Степная», ¹ лава №217 бис, пл.с ₆	20.06.00- 24.08.00	отсутствует	11	–	–	0,01	–
5	ш. «Степная», ¹ лава №215 бис, пл.с ₆	12.03.03- 04.05.03	отсутствует	11	$\frac{0,1-0,6}{0,35}$	–	0,018	–
6	ш. «Степная», ¹ лава №213 бис, пл.с ₆	11.05.03- 03.07.03	отсутствует	11	$\frac{0,3-0,5}{0,4}$	–	0,02	–
7	ш. «Степная», ¹ лава №119, пл.с ₆	15.07.02- 28.08.02	наработана	11	$\frac{0,5-1,2}{0,85}$	$\frac{0,3-0,8}{0,55}$	0,042	0,027
8	ш. «Степная», ¹ лава №117, пл.с ₆	10.09.02- 22.10.02	наработана	11	$\frac{0,3-1,9}{1,1}$	$\frac{0,2-1,0}{0,6}$	0,062	0,034
9	ш. «Степная», ¹ лава №117 бис, пл.с ₆	02.10.03- 17.11.03	наработана	11	$\frac{0,6-1,9}{1,25}$	$\frac{0,3-1,2}{0,75}$	0,071	0,042
10	ш. «Степная», ¹ лава №106, пл.с ₆	23.10.02- 18.12.02	отсутствует	10	$\frac{0,1-0,7}{0,4}$	$\frac{0,15-0,55}{0,35}$	0,02	0,018
11	ш. «Степная», ¹ лава №110, пл.с ₆	15.03.04- 03.05.04	отсутствует	11	$\frac{0,2-0,6}{0,4}$	$\frac{0,15-0,5}{0,3}$	0,02	–
								0,015

В количественном отношении зафиксировано в 117-ой лаве 148 случаев вывалов пород кровли высотой от 0,2 до 1,8 м, причем наибольшее число вывалов происходило на концевых участках лавы: у сборного штрека – 35 случаев, у бортового – 39 случаев. В 215-ой лаве зафиксировано 63 вывала высотой от 0,1 до 0,5 м. В среднем высота вывалов в лавах по пласту C_6^I составляла 0,1 м, а по пласту C_6 – 0,4 м. Таким образом установлено, что интенсивность вывалообразований в лавах пласта C_6 в 2 – 2,5 раза превышала этот показатель в лавах пласта C_6^I .

Следует отметить и тот факт, что в лавах пласта C_6 , которые отрабатывают его вне зоны надработки, значения удельных вывалообразований и высота вывалов близки к соответствующим значениям в лавах пласта C_6^I . Исходя из этого можно предположить, что ухудшение состояния кровли в лавах, отрабатывающих весьма сближенные пласты, связано с их предварительной надработкой. Наибольшее количество вывалов в обоих случаях происходит у штреков. Это объясняется тем, что в зонах надработки угольный пласт и вмещающие породы испытывали дополнительные напряжения в процессе ведения горных работ по вышележащему пласту C_6^I .

4.2.2 Конвергенция боковых пород

Исследования конвергенции боковых пород при отработке пластов C_6 и C_6^I проводились согласно положений рабочей методики на замерных станциях (см. рис. 4.7.), расположенных в средней части лав и на концевых участках (10-15 м от штрека). В качестве измерительного инструмента использовались стойки СУИ -II с насадками и индикаторами часового типа ИЧ-10.

Первая измерительная стойка устанавливалась на расстоянии 0,1 м от забоя между перекрытиями секций крепи, вторая – за лавным конвейером на расстоянии 1,2 м от забоя между этими же секциями. Следующие стойки устанавливались на расстоянии 0,8 м друг от друга, что обусловлено шириной захвата комбайна и шагом передвижки крепи.

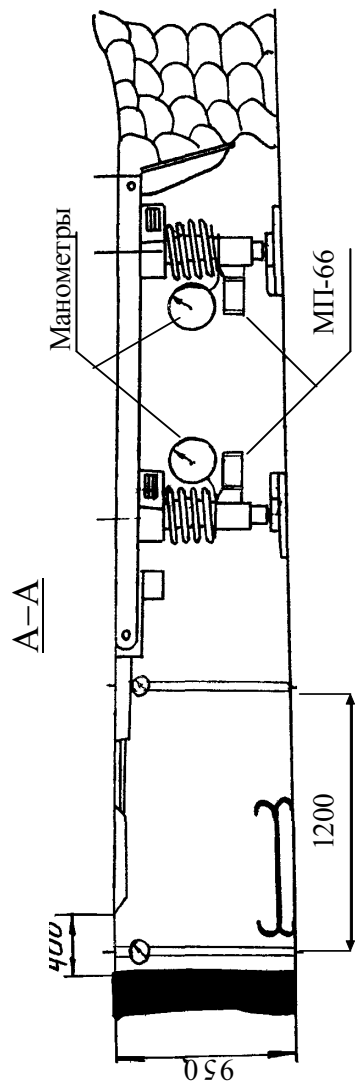
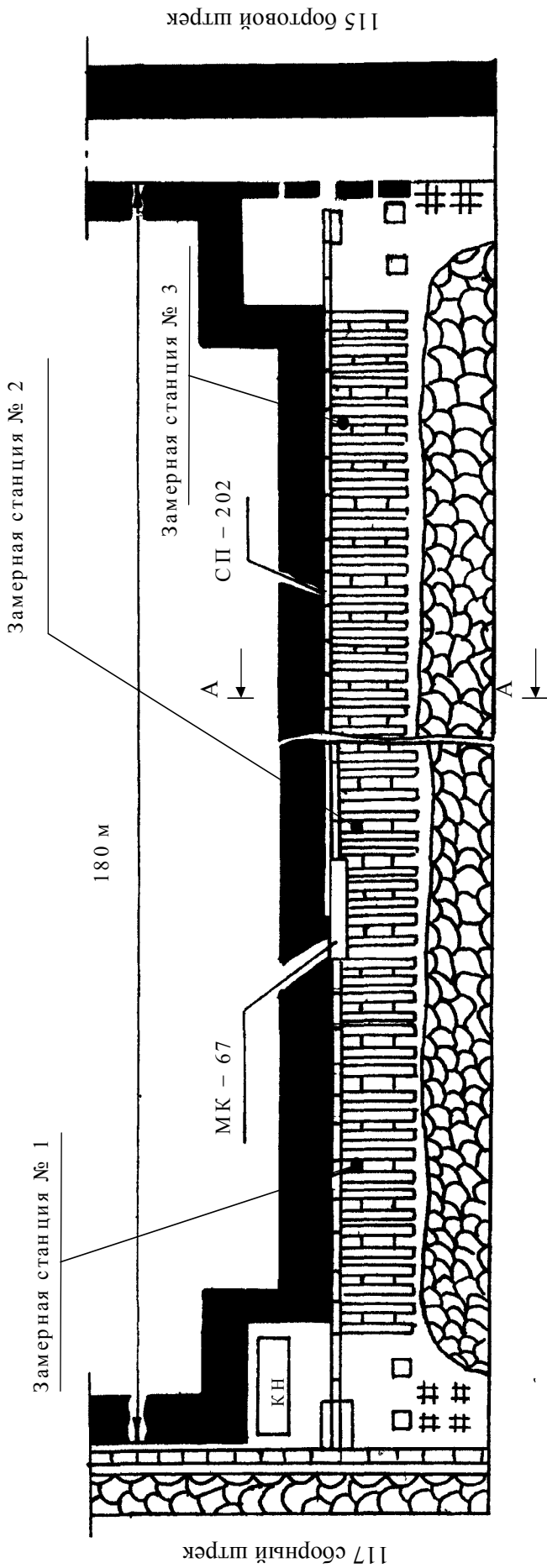


Рис. 4.6. Схема размещения измерных станций в лаге

При подходе комбайна к стойке, расположенной у забоя, очистные работы останавливались, стойка переставлялась позади комбайна, и измерения продолжались. Расположение остальных измерительных стоек позволяло наблюдать за конвергенцией боковых пород в момент прохода комбайна и передвижки крепи. Таким образом, велось непрерывное измерение конвергенции боковых пород за весь период выемочного цикла с увязкой расстояния до комбайна и до передвигаемых секций крепи.

Результаты исследований приведены в таблице 4.6. В результате измерений установлено, что скорость сближения пород кровли и почвы до подхода комбайна на расстояние до 3 м остается постоянной (фоновой) и равняется 0,02...0,06 мм/мин. При подходе комбайна ближе 3 м, скорость конвергенции начинает увеличиваться и до перестановки стойки достигает 0,8 мм/мин. После перестановки стойки и продолжения движения комбайна, скорость конвергенции продолжает быстро расти и на расстоянии 8...10 м за комбайном (т.е. в зоне передвижки крепи) составляет 1,6...1,8 мм/мин. По мере удаления комбайна от измерительной стойки, скорость конвергенции снижается и на расстоянии 25...30 м достигает практически фоновой величины (0,06...0,08 мм/мин.).

Анализ полученных результатов показывает, что протекание процессов сдвижения вмещающих пород в районе выемки пласта комбайном в лавах пластов C_6 и C_6^I происходит с различной скоростью. Скорость конвергенции в лавах отрабатывающих пласт C_6 в зоне надработки была на 10-15% выше, чем в аналогичных условиях – вне зоны надработки или в лавах пл. C_6^I и затухала она медленнее, что можно объяснить различным состоянием кровли в зоне надработки и вне ее. Так, в большинстве случаев, в лавах пл. C_6 наблюдалась потеря сплошности пород непосредственной кровли уже на расстоянии 2...2,5 м от забоя. В целом же сравнение результатов измерений показывает, что средняя суммарная величина сближения пород в призабойном пространстве (на расстоянии 2 м от линии забоя) в зоне надработки на 15...20% больше, чем при отработке пласта в массиве (рис. 4.8.).

Таблица 4.6.

Результаты исследований конвергенции боковых пород в лавах сближенных пластов.

№ п.п.	Лава	Период проведения исследований	Скорость продвижения лавы, м/сут	Вынимаемая мощность пласта, м	Значение	Величина сближения боковых пород					Суммарные величины сближения, мм
						Расстояние от точки наблюдения до забоя, м					
						0	0,8	1,6	2,4	3,2	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	ш. «Степная», лава №215, пл.с ₆ ¹	08.09.01-29.10.01	2,8	0,85-0,87	мин.	4	16	17	20	20	77
2	ш. «Степная», лава №213, пл.с ₆ ¹	14.07.01-27.08.01	2,6	0,85-0,87	средн.	6	24	28	28	33	119
3	ш. «Степная», лава №211, пл.с ₆ ¹	06.08.03-26.09.03	3,4	0,85-0,87	макс.	8	36	40	36	40	160
4	ш. «Степная», лава №217 бис, пл.с ₆ ¹	20.06.00-24.08.00	2,4	0,87-0,9	мин.	5	18	19	16	21	79
5	ш. «Степная», лава №215 бис, пл.с ₆ ¹	12.03.03-04.05.03	2,9	0,85-0,87	средн.	7	27	29	28	34	127
					макс.	10	36	38	35	39	158
					мин.	16	17	19	22	27	101
					средн.	18	26	30	31	35	142
					макс.	10	35	37	40	42	162
					мин.	14	21	23	24	28	111
					средн.	17	24	29	30	32	153
					макс.	21	37	35	35	45	173

Продолжение табл. 4.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6	ш. «Степная», лава №213 бис, пл.с ₆ ¹	11.05.03- 03.07.03	3,1	0,85-0,87	мин.	6	14	20	20	22	109
					средн.	19	22	36	41	166	
					макс.	21	30	37	52	56	196
7	ш. «Степная», лава №119, пл.с ₆	15.07.02- 28.08.02	2,7	0,95	мин.	10	25	32	-	-	67
					средн.	12	32	35	-	-	79(179)
					макс.	15	38	40	-	-	93
8	ш. «Степная», лава №117, пл.с ₆	10.09.02- 22.10.02	3,2	0,97	мин.	12	22	30	-	-	64
					средн.	15	26	33	-	-	74(278)
					макс.	18	34	36	-	-	88
9	ш. «Степная», лава №117 бис, пл.с ₆	02.10.03- 17.11.03	3,0	0,95	мин.	10	22	29	35	42	131
					средн.	12	25	34	35	42	190
					макс.	16	29	42	42	50	198
10	ш. «Степная», лава №106, пл.с ₆	23.10.02- 18.12.02	2,5	0,83	мин.	8	18	20	-	-	91
					средн.	10	25	29	-	-	122(257)
					макс.	12	32	38	-	-	158
11	ш. «Степная», лава №110, пл.с ₆	15.03.04- 03.05.04	3,0	0,87	мин.	9	16	21	-	-	93
					средн.	12	26	30	-	-	129(211)
					макс.	15	36	36	-	-	162

Примечание: ()* – средняя величина конвергенции на границе с выработанным пространством

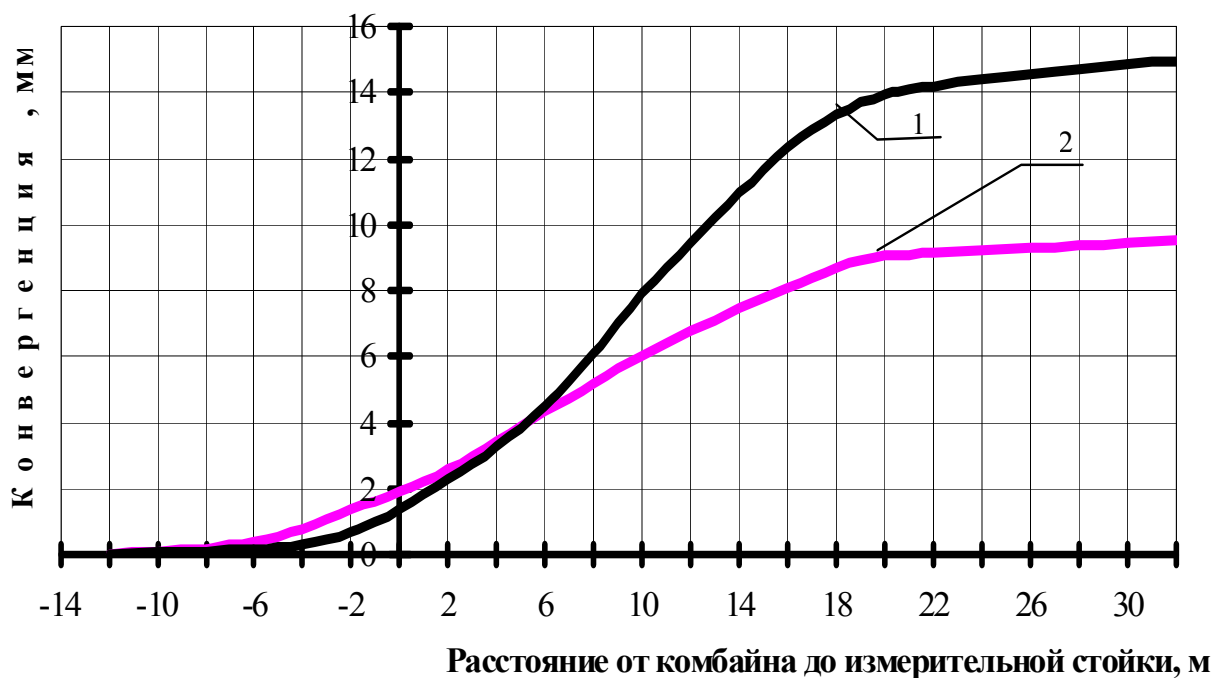


Рис. 4.8 Зависимость величины конвергенции боковых пород от расстояния до выемочного комбайна при ведении очистных работ

1 – по пласту в зоне надработки

2 – по пласту вне зоны надработки.

В результате исследований установлено, что скорость и общая величина сближения боковых пород на концевых участках всех исследуемых лав на 15...25 % выше, чем в середине лавы. Это объясняется наличием на этих участках зон повышенного горного давления, образованных в результате наложения зон опорного давления от лавы и подготовительной выработки.

В целом же, можно сделать следующий вывод:

При отработке сближенных пластов с малой мощностью междупластья (в данном случае 8...11 м) в лавах, отрабатывающих пласты в зонах надработки, состояние вмещающих пород ухудшается. Так, если породы непосредственной кровли пласта C_6 , в местах где пласт не надработан, характеризуются как «кровля средней устойчивости», то в зонах надработки непосредственная кровля пласта – «неустойчивая».

В связи с этим были проведены шахтные исследования силовых параметров и податливости гидростоек механизированной крепи КМК97М, с целью оценки ее соответствия существующим горно-геологическим условиям.

4.2.3 Силовые параметры и податливость гидростоек крепи

Измерение силовых параметров гидростоек механизированной крепи и их податливости проводились на замерных станциях в лавах (рис. 4.7.) на протяжении 60...100 м подвигания линии очистного забоя, что удовлетворяет требованиям стандартов и математической статистики. Для постоянной регистрации давления в поршневые полости передних и задних стоек секций подключались самопишущие приборы МП66А.

Измерения податливости гидростоек крепи производились линейкой путем замера “зеркала” штока сразу же после распора секции и перед ее следующей передвижкой. Средняя податливость стоек крепи составляла 28...35 мм, иногда достигая 45 мм. Посадок секции крепи на “жестко” не наблюдалось, но наблюдались случаи, когда полностью исчерпывался запас раздвижности гидростоек. Чаще всего такие случаи наблюдались на концевых участках лавы.

Во время проведения исследований силовых параметров крепи давление в гидросистеме изменялось в пределах 18...22 МПа и в среднем составляло 20 МПа. Результаты измерений в течение всего периода наблюдений обработаны методами математической статистики и приведены в табл.4.7.

Данные таблицы 4.7. показывают, что начальный распор стоек крепи на секциях, расположенных у сборных штреков выше, чем на секциях в средней части лавы и у бортовых штреков. Это объясняется более близким расположением насосной станции, а также утечками и перетоками рабочей жидкости в гидросистеме и гидрораспределителях.

Рабочее сопротивление гидростоек крепи на концевых участках лав пласта C_6^I несколько выше, чем в середине лавы, что объясняется увеличением параметров проявлений горного давления в этих зонах. Давление в задних стойках на 10...15% выше чем в передних. Как правило, гидростойки крепи работали в режиме нарастающего сопротивления. Характерное нагружение секций крепи породами кровли в условиях отработки пласта C_6^I (вне зоны надработки показан на рис. 4.9.).

Результаты измерений силовых параметров крепи

№ п.п	Лава	Период проведения измерений	Скорость подвигания лавы, м/сут	Вынимаемая мощность пласта, м	Значение	Давление в гидростойках крепи, МПа					
						начальное		рабочее		перед разгрузкой	
						I ряд	II ряд	I ряд	II ряд	I ряд	II ряд
1	215 пл. С ₆	08.09.01-29.10.01	2,8	0,85-0,87	мин.	10,3	13,4	15,2	18,7	23,2	24,6
					средн.	16,1	16,0	26,3	28,5	33,1	38,1
					макс.	19,7	24,7	42,0	40,6	47,7	45,8
2	215-я бис пл. С ₆	20.06.00.-24.08.00	2,4	0,87-0,9	мин.	12,4	14,3	16,5	17,7	22,5	24,0
					средн.	17,2	18,1	25,6	28,3	32,7	39,8
					макс.	20,5	23,7	40,2	44,0	44,2	48,3
3	117-я пл. С ₆	10.09.02.-22.10.02.	3,2	0,95	мин.	12,0	8,3	19,2	4,1	23,3	-
					средн.	15,5	9,6	30,5	6,6	36,4	4,4
					макс.	20,2	12,4	42,0	10,4	48,2	6,2
4	117-я бис пл. С ₆	02.10.03.-17.11.03.	3,0	0,95	мин.	14,7	6,3	20,0	3,3	24,5	-
					средн.	16,8	9,0	30,5	5,4	38,4	4,2
					макс.	19,0	11,4	44,3	8,2	48,4	8,3
5	110-я пл. С ₆	15.03.04.-03.05.04.	3,0	0,87	мин.	12,4	13,7	15,5	17,3	22,4	26,2
					средн.	17,6	17,5	24,0	27,2	35,7	40,5
					макс.	20,2	24,3	38,2	40,6	44,4	47,2



Рис. 4.9. Характер зависания пород кровли в выработанном пространстве пласта C_6^1

При работе лав по пласту C_6 в зонах надработки, и в связи с этим, повышенной трещиноватостью пород кровли, картина работы крепи изменялась: давление в задних стойках крепи было значительно ниже, чем в передних. Это объясняется разрушением кровли над задней стойкой крепи и практической потерей контакта “крепь-кровля”. При передвижке крепи начальное сопротивление в задних гидростойках задавалось на уровне 6...12 МПа, что в 2...2,5 раза меньше, чем в передних. При большем начальном сопротивлении задняя часть крепи, раздавливая вышележащие породы задиралась, козырьки крепи опускались вниз, что мешало проходу комбайна и приводило к потере контакта с кровлей между забоем и передней стойкой крепи.

Так как самопишущие манометры не фиксировали в пространстве и во времени быстротекущие процессы выемки и передвижки секций крепи, то для оперативного контроля давления в гидростойках крепи использовались показывающие манометры. Данные замеров позволили установить, что из-за

постоянной конвергенции боковых пород в лавах пласта C_6^1 при отсутствии выемки давление в гидростойках изменялось в сторону увеличения постоянно со скоростью 0,06...0,08 МПа за 0,5 часа. При приближении комбайна на расстояние 7...5 м до замерной станции скорость изменения давления начинала возрастать. После прохода комбайна и передвижки соседней секции, скорость изменения давления достигала максимального значения до 0,2 МПа за 1 минуту. Величина давления перед разгрузкой секций составляла: в передних стойках 23...28 МПа, в задних – 26...35 МПа. По пласту C_6 , характер изменения давления в передних гидростойках соответствовал описанному выше, однако значения изменения давления были в 1,2...1,5 раза выше. Величина давления перед разгрузкой секций в передних стойках составляла: 28...40 МПа. Задние стойки работали, в основном, в режиме снижения начального давления и величина давления в них, перед разгрузкой составляла 0...6 МПа. Это говорит о том, что механизированная крепь МК-98 применяется в условиях не соответствующих области ее применения, а именно – на пласте с неустойчивыми породами кровли. Ввиду этого считаем целесообразным, для отработки пласта C_6 в зонах наработки, использовать механизированный комплекс типа КД90, предназначенный для отработки тонких угольных пластов с неустойчивыми породами кровли, вместо применяемого комплекса КМК97М.

4.3. Результаты шахтных исследований в выемочных штреках

4.3.1 Общие сведения

Натурные исследования были проведены в бортовых и сборных штреках, пройденных по сближенным пластам C_6 и C_6^1 (см. табл.4.2).

Для выполнения замеров в исследуемых выработках оборудовались реперные замерные станции и контрольные рамы. Схема их размещения на примере 115-ого бортового штрека пласта C_6 представлена на рис 4.10. На рисунке 4.11 показана схема размещения оборудования на замерной станции, а на рис. 4.12 – замерная станция в штреке.

Ввиду того, что нас интересовали данные о влиянии на подготовительные выработки очистных работ пластов C_6 и C_6^1 замерные станции оборудовались по истечении двух-трех месяцев после проведения штреков, т.е. после стабилизации горного давления и затухания первоначальных сближений боковых пород.

В каждом штреке оборудовалось от 3 до 5 реперных станций и выбиралось от 10 до 25 контрольных рам. На контрольных рамах измерялись ширина и высота выработки, фиксировались расстояние от репера в почве до средней линии, расстояние от средней линии до верхняка, нахлест элементов арки в замковых соединениях и пр. На реперных станциях кроме измерения этих параметров, фиксировались величины сближения глубинных реперов.

4.3.2 Конвергенция боковых пород

Измерения конвергенции боковых пород выполнялись в выработках, которые погашались - до момента погашения; в выработках, которые сохранялись для повторного использования, до их перекрепления, после чего оборудовались новые станции и измерения продолжались до погашения выработки.

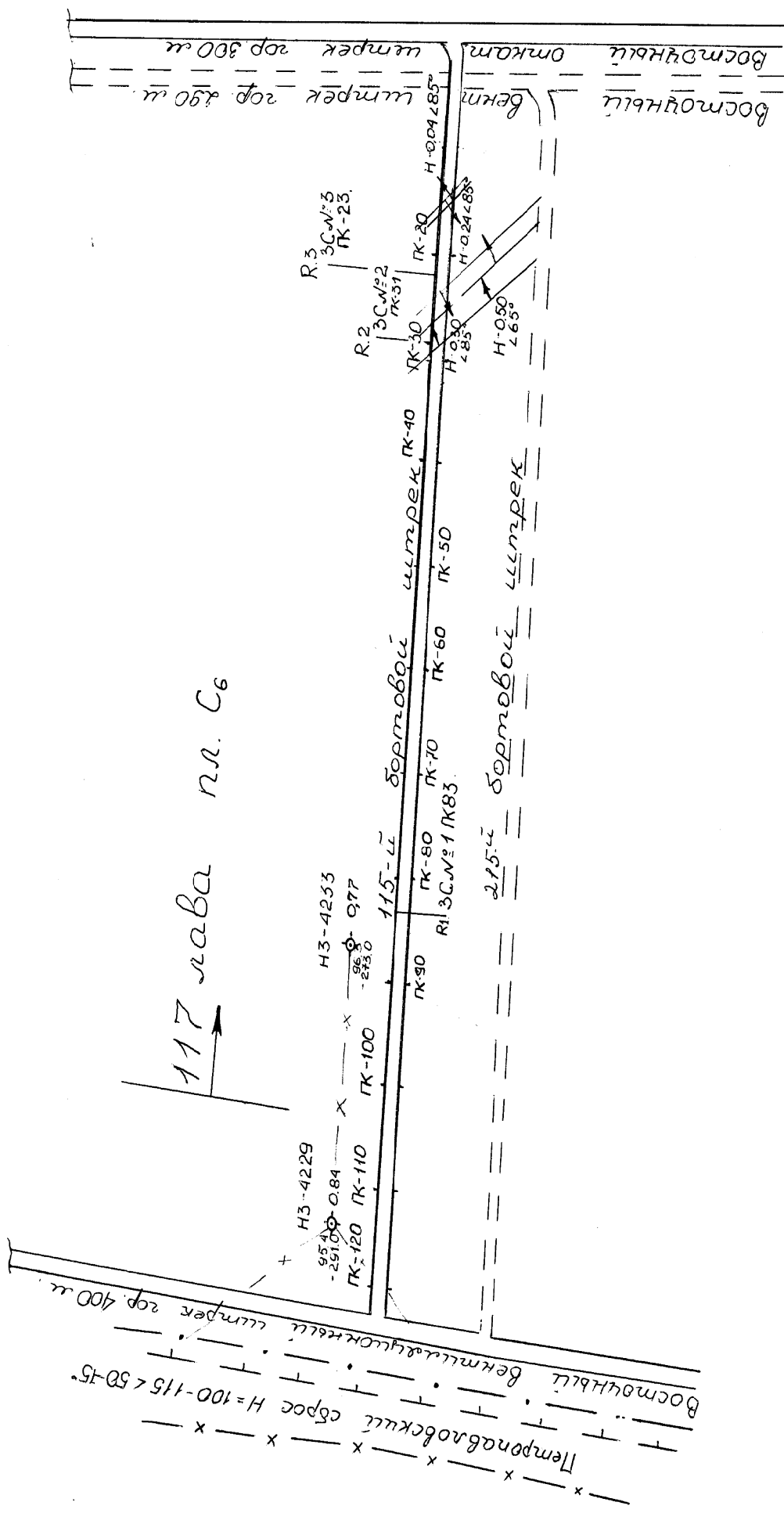


Рис. 4.10. Схема размещения замерных станций на 115-ом боковом шптреке ПК 110 – 15 - контрольные рамы; R1, R2, R3 – измерные реперные станции

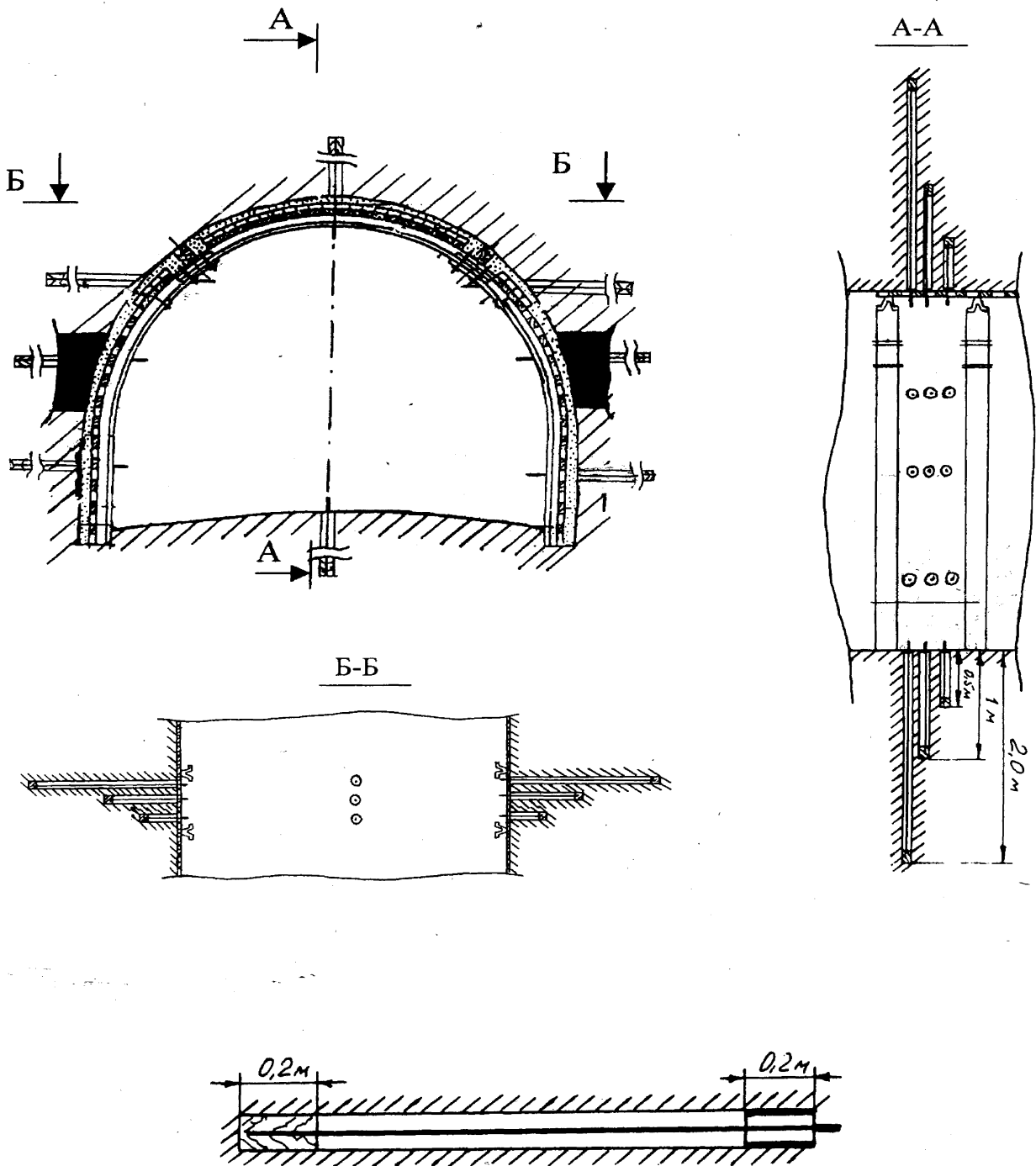


Рис. 4.11. Схема размещения оборудования на замерной реперной станции в штреке

а)



б)



в)



Рис. 4.12. Реперная замерная станция в штреке
а) - общий вид; б) - вид слева и в) - вид справа.

На рис. 4.13 представлены графики изменения величин сближения боковых пород, построенные по результатам измерений на реперных станциях бортовых штреков пласта C_6^1 (№№ 1 – 4, табл. 4.2). Замеры производились между парами реперов равной длины: 0,5-0,5; 1,0-1,0 и 2,0-2,0 м.

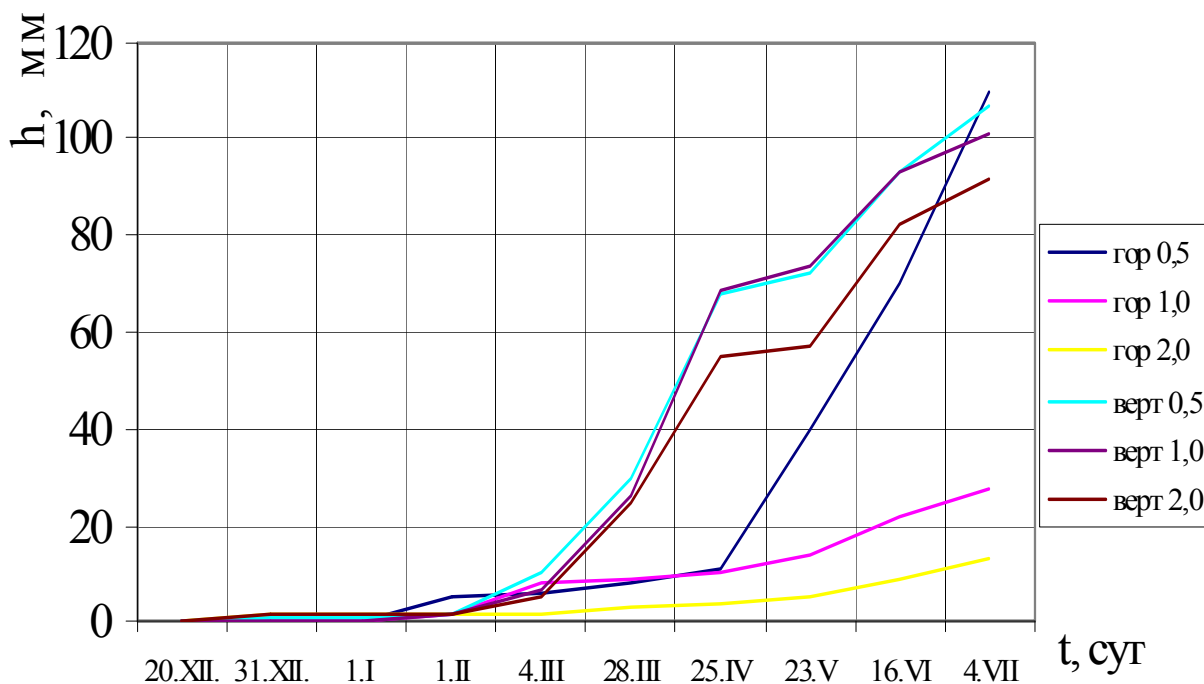


Рис. 4.13 Изменение величины конвергенции боковых пород по данным реперных станций бортовых штреков пл. C_6

В начальный период исследований скорость сближения, как боков, так и кровли с почвой оставалась постоянной по всем парам реперов и составляла 5...8 мм в месяц. Далее, когда лавы смежного пласта C_6^1 приближались к реперным станциям на расстояние 15...30 м, скорость конвергенции по вертикальным реперам начинала увеличиваться до 70...90 мм/мес, по горизонтальным – 30...50 мм/мес. Причем, как по вертикальным, так и по горизонтальным парам соблюдалась следующая закономерность: - чем длиннее репер, тем меньше скорость сближения пород и величина конвергенции. Это свидетельствует о том, что в боках выработки происходило разрушение и расслоение пород.

Измерения величин конвергенции на замерных реперных станциях в бортовых штреках пласта C_6 (в зоне влияния очистных работ по пласту C_6^1 и вне этой зоны), обработаны и представлены в виде графиков на рисунках 4.14 – 4.17. Из приведенных графиков следует, что заложение бортовых выработок пласта C_6 в зоне влияния очистных работ пласта C_6^1 на расстоянии 15 м от кромки верхнего пласта приводит к дополнительной потере высоты штрека на 0,1...0,3 м за счет повышения интенсивности конвергенции при отработке вышележащего пласта.

Так, в 115-ом бортовом штреке пласта C_6 заложенном в соответствии с требованиями нормативной методики [31] под выработанным пространством вышележащего пласта, на расстоянии 15 м (рис. 4.14) от его кромки по нормали за счет влияния отработки 217-ой лавы пл. C_6^I потеря высоты штрека составляла, в среднем 0,18...0,20 м. В 115-ом “бис” бортовом штреке того же пласта, проведенным уже в 25 м (рис. 4.15) от кромки пласта C_6^I , эта величина (при отработке 217-ой “бис” лавы) составила 0,08...0,10м, то есть в 2,0...2,5 раза меньше. В 111-ом и 111-ом “бис” бортовых штреках, заложенных согласно разработанной методике на расстоянии 40 м от кромки верхнего пласта, влияние его отработки 213-ой и 213-ой “бис” лавами практически не отмечалось (см. рис. 4.17).

Они “чувствовали” себя аналогично штрекам, проведенным под выработанным пространством вне зоны влияния очистных работ, как, например, 119-й бортовой штрек (см. рис. 4.16). Таким образом результаты шахтных исследований проявлений горного давления в подготовительных выработках в зависимости от места их заложения подтверждают положения методики и используемого в ней математического аппарата. Расхождения расчетных и фактических параметров не превышают 20%.

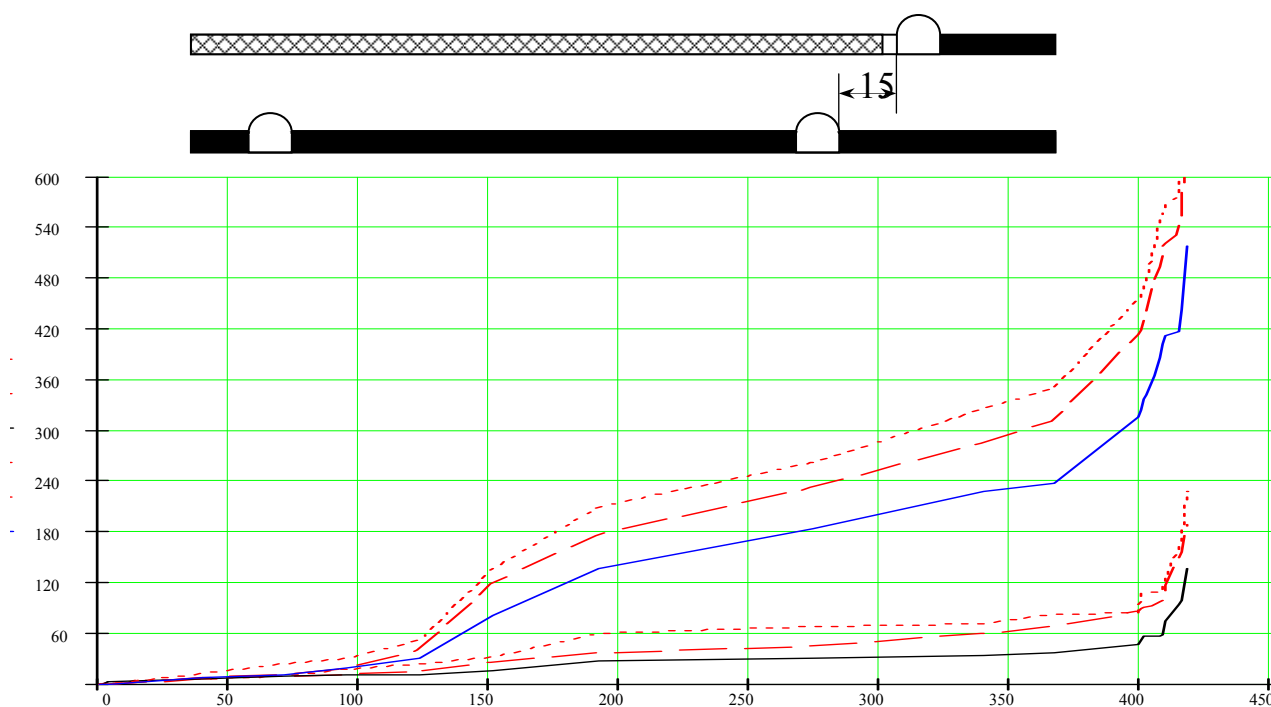


Рис. 4.14. Изменение конвергенции почвы и кровли выработки, заложенной на расстоянии 15 м от кромки верхнего пласта, во времени

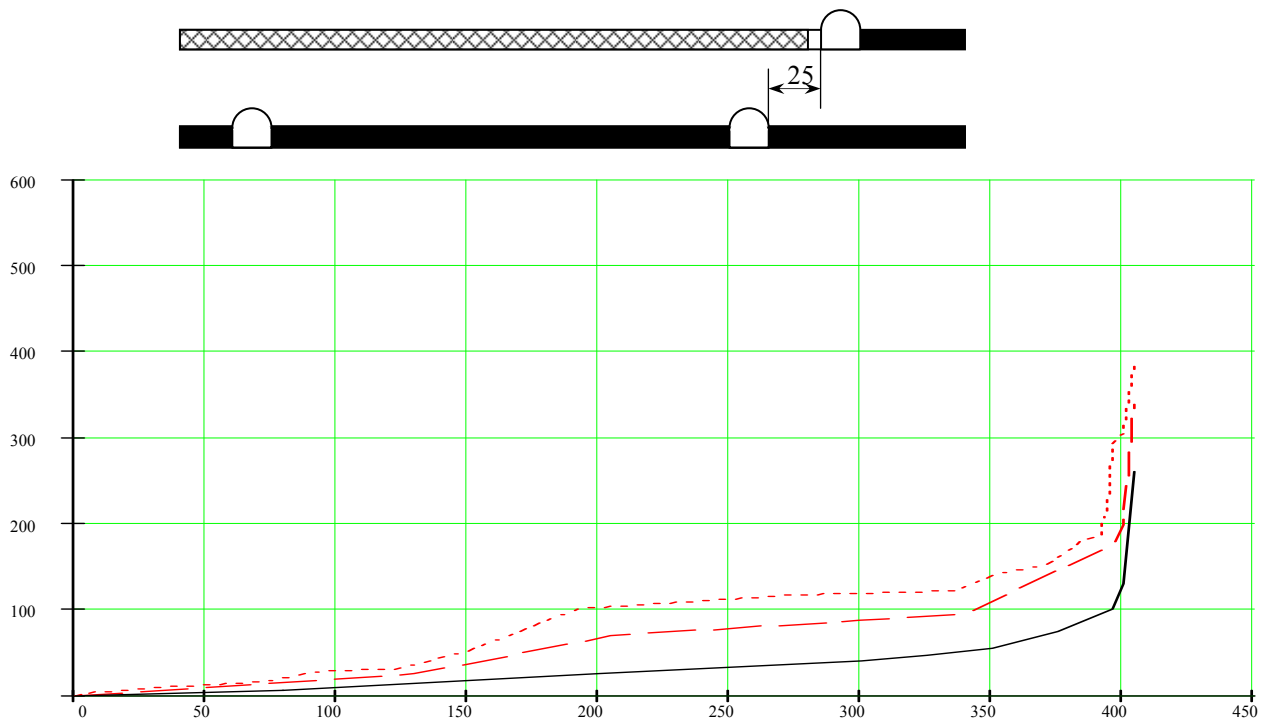


Рис. 4.15. Изменение конвергенции почвы и кровли выработки, заложеной на расстоянии 25 м от кромки верхнего пласта, во времени

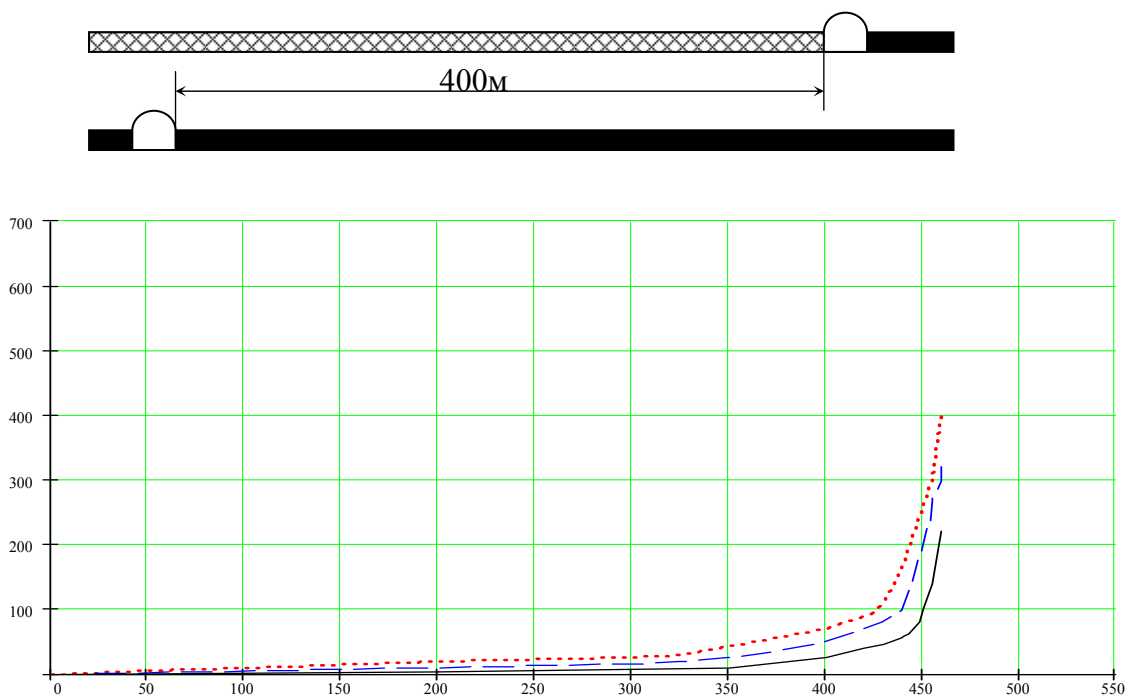


Рис. 4.16. Изменение конвергенции почвы и кровли выработки, заложеной на расстоянии 400 м от кромки верхнего пласта, во времени

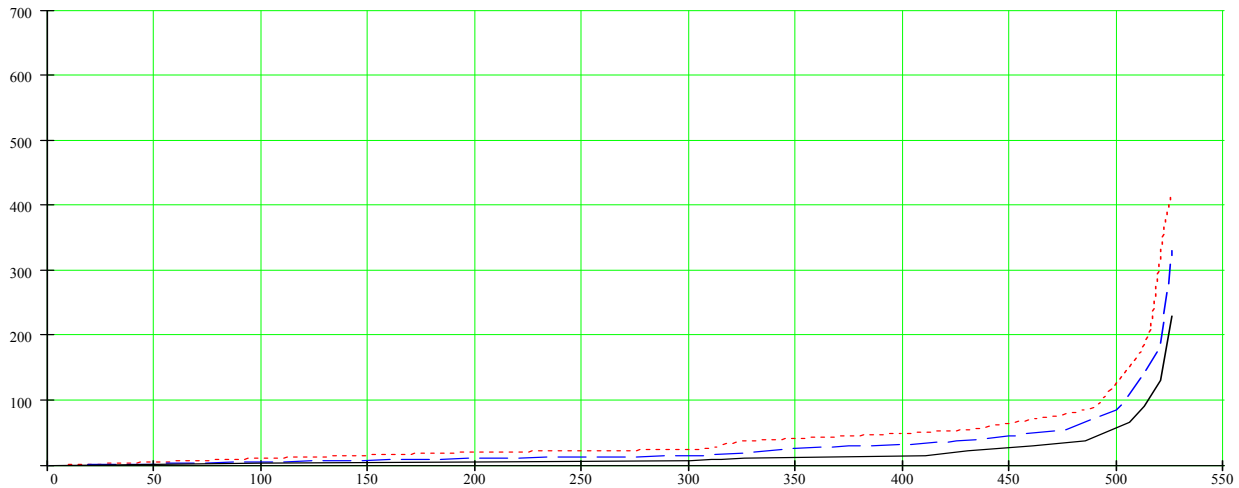
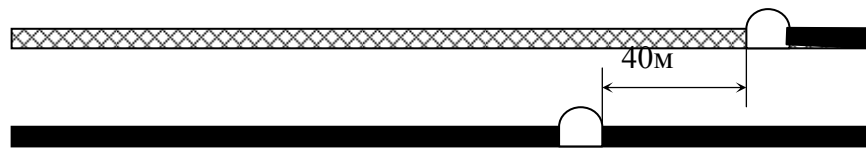


Рис. 4.17. Изменение конвергенции почвы и кровли выработки, заложенной на расстоянии 40 м от кромки верхнего пласта, во времени

Шахтные исследования подтвердили то, что наибольшие смещения боковых пород в выработке имеют место в непосредственной близости от очистных работ и в выработанном пространстве вслед за проходом лавы.

По результатам измерений на контрольных рамах бортовых штреков обоих пластов, предназначенных для повторного использования, построены зависимости величин сближения пород кровли и почвы от расстояния до лавы (см. рис. 4.18). На графике видно, что до подхода лавы на расстояние 25...30 м, величина сближения кровли и почвы незначительна (примерно 200 мм), а скорость конвергенции постоянная и не превышает 2 мм в сутки. При дальнейшем приближении лавы скорость конвергенции резко увеличивалась и в отдельных случаях достигала 25...35 мм в сутки. За период от начала исследований до подхода лавы к контрольной раме высота штрека уменьшалась на 700...750 мм.

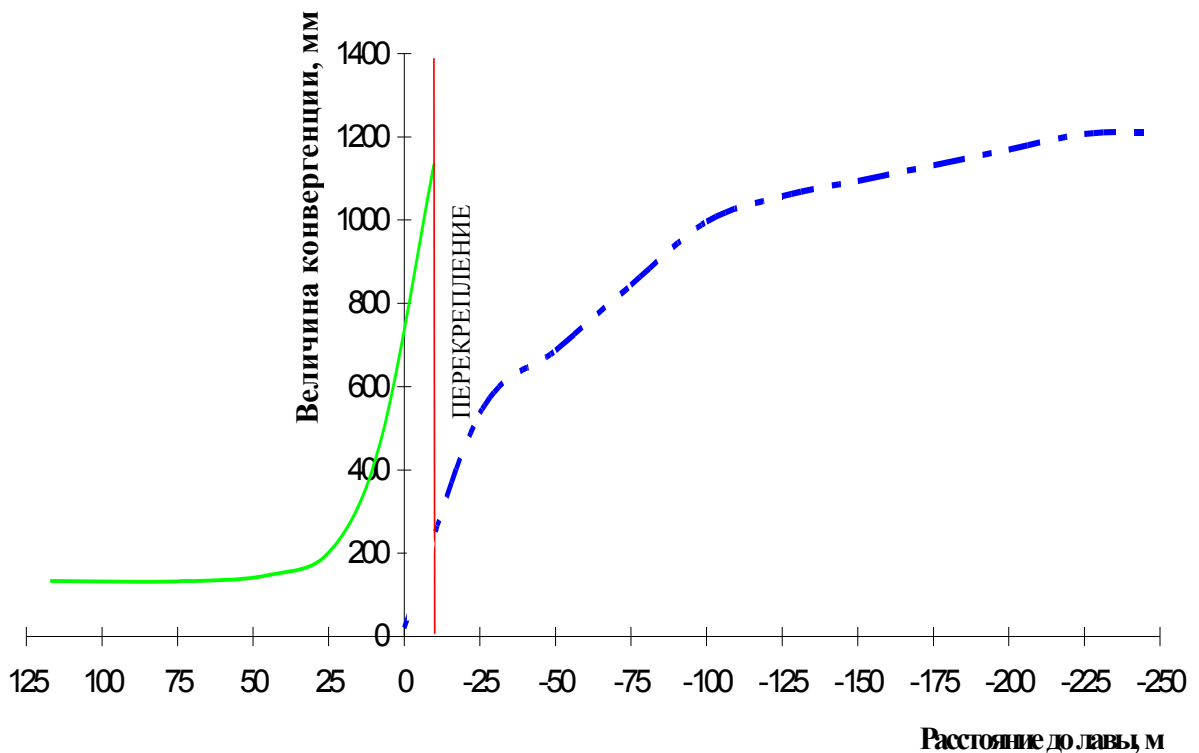


Рис. 4.18. Характер изменения величины конвергенции пород кровли и почвы в повторно используемых бортовых штреках

При этом податливость крепи, как правило, полностью исчерпывалась, а элементы арок деформировались (см. рис. 4.19). При подходе лавы на 2...3 м и далее до места перекрепления скорость и величина конвергенции резко возрастали. На этом участке потеря высоты штрека составляла еще 500...700 мм. Всего же с начала эксплуатации и до перекрепления высота в сечении штрека уменьшалась на 1200...1400 мм. Перекрепление штрека производилось на расстоянии 8...12 м позади лавы посредством выпуска пород кровли (см. рис. 4.20, а).

После перекрепления характер сближения кровли и почвы в штреке изменялся. Уже на расстоянии 50 м от забоя перекрепления высота выработки уменьшалась на 600...750 мм. Далее скорость конвергенции несколько снижалась и только через 100...150 м стабилизировалась (см. рис. 4.18). За это время общая величина конвергенции достигала 1000...1200 мм.

Ширина штреков за период проведения исследований (5...7 месяцев) уменьшалась на 120...190 мм, в среднем на 168 мм. После перекрепления выработки характер и величины сближения боков штрека оставались примерно такими же, как и до подхода лавы. Следует отметить, что пучение пород в штреке после перекрепления увеличивалось и в некоторых случаях составляло 40...50 % от общей величины конвергенции. Следовательно, перекрепление выработки на таком расстоянии от забоя лавы не дает позитивных результатов в данных условиях и для повторной эксплуатации штрека его необходимо еще раз перекреплять.

Состояние 115-ого бортового штрека после его перекрепления на расстоянии 100 и 250 м представлено на рис. 4.20 (б, в). Высота выработки на расстоянии 250 м от забоя перекрепки составляла всего 1,4...1,5 м. В связи с этим штрек перекреплялся еще раз, при этом производилась поддирка пород почвы проходческим комбайном (рис. 4.21).

Исходя из полученных результатов шахтных исследований и расчетов по разработанной методике установлено, что обеспечение безремонтного поддержания штрека и его перекрепление должно производиться на расстоянии не менее 150...200 м за лавой в зоне стабилизации горного давления.

а)



б)



в)



*Рис. 4.19. Характерные разрушения элементов арочной крепи
а) со стороны массива, б) и в) со стороны выработанного пространства*

a)



б)



в)



*Рис. 4.20. Состояние 115-ого бортового штрека после перекрепления
а) забой перекрепления; б) 100 м за лавой; в) 250 м за лавой*



Рис. 4.21. Повторное перекрепление 115-ого бортового штрека с выемкой пород почвы (1,0...1,2 м) проходческим комбайном

Рекомендуемые параметры были внедрены при проведении перекрепления 115 “бис” бортового штрека 117 “бис” лавы пласта С₆. Согласно паспорту перекрепления этого штрека его отставание от лавы было принято 100...120 м, в отличие от 115-ого бортового штрека, перекрепление которого производилось с отставанием 8...12 м от лавы. Результаты замеров сближений боковых пород по 115 “бис” бортовому штреку приведены на рис. 4.22.

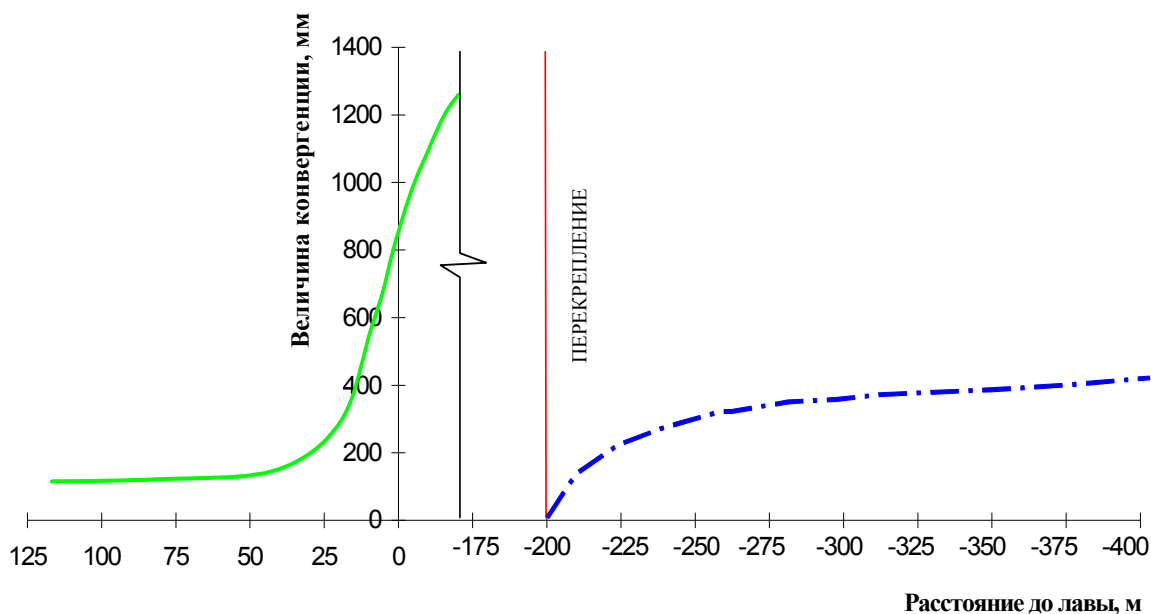


Рис. 4.22. Характер и величины конвергенции пород кровли и почвы в 115 “бис” бортовом штреке, при его перекреплении в 120 м за лавой.

Из данных рис. 4.22 видно, что в результате увеличения расстояния до 120 м от забоя лавы до места перекрепления 115 “бис” бортового штрека значительно уменьшилась суммарная величина сближения пород кровли и почвы, что дало возможность повторно использовать штрек без вторичного перекрепления. Таким образом, немаловажным параметром для сохранения устойчивости выемочных штреков и обеспечения возможности их повторного использования, наряду с местом заложения выработки является место и время ее перекрепления. В этом направлении необходимо выполнить дополнительные исследования, для достаточного обоснования рационального места перекрепления выработок. Рекомендуемые же в данной работе параметры получены на основании натуральных наблюдений для конкретных выработок.

4.4 Анализ сходимости результатов экспериментальных и теоретических исследований

4.4.1. Сравнение результатов расчета и шахтных измерений конвергенции боковых пород в очистных забоях.

Для установления сходимости результатов аналитических и шахтных исследований по разработанному алгоритму произведен расчет конвергенции боковых пород в очистных забоях верхнего $\Delta(u_{в})_{max}$ и нижнего $\Delta(u_{н})_{max}$ пластов в условиях надработки при мощности междупластья равной 8...11 м.

Расчеты выполнялись по формулам 2.12. Рассматривались случаи работы лавы по верхнему пласту C_6^I (пласт не надработан и не подработан) и отработки нижнего пласта C_6 в зоне надработки. При этом значение глубины ведения очистных работ варьировалось в пределах от 300 до 350 м с шагом 10 м. Остальные исходные данные имели следующие значения: $L=100$ м, $m_в=0,9$ м, $m_н=0,95$ м, $h=12$ м, $E_{п} = 0,29 \cdot 10^{-4}$ МПа, $E_{в} = 0,36 \cdot 10^{-4}$ МПа – для пласта C_6^I и $E_{п} = 0,28 \cdot 10^{-4}$ МПа, $E_{в} = 0,35 \cdot 10^{-4}$ МПа – для пласта C_6 . Результаты расчетов и шахтных измерений величин конвергенции в очистных забоях приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8

Результаты аналитических и натурных исследований конвергенции боковых пород в очистных забоях

Глубина ведения работ Н, м	Конвергенция, Δu_{\max}		Расхождение результатов расчетов и натурных исследований, %
	расчетная, мм	фактическая, мм	
пласт C_6^I			
300	125	116...146	17,2
310	139	125...159	14,4
320	153	132...162	13,7
330	166	133...178	19,8
340	178	147...193	17,4
350	189	166...196	12,2
пласт C_6			
300	182	156...193	14,3
310	194	163...204	16,0
320	203	176...207	13,3
330	211	185...217	12,3
340	219	187...223	14,6
350	226	186...227	17,7

Как видно из данных табл. 4.8, расхождение результатов расчетов с фактическими значениями конвергенции пород в очистных забоях отработываемых пластов не превышает 20%.

4.4.2. Сравнение результатов расчета и шахтных измерений конвергенции боковых пород подготовительных выработок.

Для оценки сходимости результатов экспериментальных наблюдений с расчетными значениями конвергенции пород кровли и почвы в подготовительных выработках, при различном их расположении относительно краевой части вышележащего сближенного пласта, проведено сравнение соответствующих фактических значений конвергенции полученных на замерных станциях с расчетными ее значениями. При этом, расчетные значения конвергенции определялись с учетом конкретных характеристик вмещающих пород, глубины отработки, мощности междупластья, временных параметров и пр. Результаты расчетов и измерений приведенные в табл. 4.9.

Таблица 4.8

Результаты аналитических и натурных исследований конвергенции боковых пород в подготовительных выработках

Номер замерной станции	Конвергенция, Δu_{\max}		Расхождение результатов расчетов и натурных исследований, %
	расчетная, мм	фактическая, мм	
Выработка: 115-й бортовой штрек, l = 15 м			
1	308,4	368	19,5
2	356,8	422	18,2
3	348,5	404	15,9
Выработка: 115-й «бис» бортовой штрек, l = 25 м			
1	172,2	197	14,4
2	196,5	235	19,6
3	211,4	242	14,5
4	225,7	264	17,0
Выработка: 111-й бортовой штрек, l = 40 м			
1	109,3	124	13,4
2	112,5	127	12,9
3	120,2	142	18,1
4	126,6	147	16,1

Как видно из табл. 4.9. расхождение результатов фактических и расчетных значений конвергенции в подготовительных выработках также не превышает 20%.

Выводы

По результатам шахтных исследований в очистных и подготовительных выработках сближенных пластов можно сделать следующие выводы:

1. На сближенных пластах с малой мощностью междупластья (до 10...15 м), в лавах работающих в зонах надработки резко ухудшается состояние пород непосредственной кровли: в 3...5 раз возрастает интенсивность трещинообразования, в 2...2,5 раза – вывалообразования, увеличивается конвергенция боковых пород (на 20...25%). Уже на расстоянии 2...2,5 м от забоя кровля разрушается и теряет свою сплошность.

2. В зонах надработки необходимо использовать оборудование предназначенное для отработки пластов с неустойчивыми кровлями, т.е. произвести замену механизированных комплексов КМК97М на КД90.

3. При отработке сближенных пластов подготовительные выработки необходимо размещать в зоне разгрузки, вне зоны влияния очистных работ смежного пласта. Для рассмотренных горно-геологических условий расстояние от кромки вышележащего пласта до выработки, в плане, должно быть не менее 35...40 м.

4. Наибольшие смещения боковых пород в подготовительной выработке имеют место в непосредственной близости от очистных работ - до 15 м впереди лавы и до 150 м - вслед за проходом лавы, в связи с этим рекомендуется перекрепление выемочных штреков предназначенных для повторного использования производить на расстоянии не менее 150 м за лавой, в зоне стабилизации горного давления.

5. Результаты шахтных исследований, в целом, подтверждают теоретические расчеты. Расхождение результатов расчетов с фактическими значениями исследуемых параметров не превышает 20%, что удовлетворяет необходимой точности расчетов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная монография является весомой научно-исследовательской работой, в которой решена актуальная научная задача обоснования граничных параметров концентрации горных работ на основе установления закономерностей проявлений горного давления в очистных и подготовительных выработках при отработке сближенных угольных пластов в условиях шахт Западного Донбасса.

Основные научные и практические рекомендации сводятся к следующему:

1. На основе метода граничных элементов произведена оценка влияния одновременной отработки двух сближенных угольных пластов на напряженно-деформированное состояние горного массива при опережающей надрботке.

Результаты расчетов по разработанному алгоритму обобщены и представлены в виде соотношений, характеризующих закономерности проявления горного давления при выемке сближенных пластов в рассматриваемых горно-геологических условиях.

Принятый математический аппарат и полученные корреляционные соотношения для определения максимальных смещений пород почвы и кровли рассматриваемых пластов, учитывающие глубину разработки, мощность пластов и междупластья, физико-механические характеристики угля и вмещающих пород, а также расстояние между лавами являются основой определения безопасных границ ведения очистных работ на сближенных пластах.

Полученные корреляционные соотношения, позволяющие оценить максимальные эквивалентные напряжения в массиве и смещения боковых пород по контуру выработки дают возможность определить безопасное расстояние между подготовительными выработками и очистными работами смежных пластов.

2. На основе анализа влияющих горно-геологических и горно-технических факторов, а также результатов моделирования определены рациональные границы концентрации горных работ, обеспечивающие безопасное и экономически целесообразное ведение очистных и подготовительных работ на сближенных пластах.

Для рассматриваемых условий шахт Западного Донбасса безопасные по фактору горного давления расстояния между очистными забоями смежных пластов составляют: не менее 70 м, при $h = 5$ м и 60 м, при $h = 15$ м.

Для определения минимально допустимых границ безопасного по фактору горного давления и экономически целесообразного заложения горных выработок при концентрации горных работ на сближенных пластах необходимо комплексно учитывать эквивалентные напряжения в массиве и максимальные допустимые смещения пород по контуру выработки.

Для рассматриваемых условий определены расстояния по надрбатываемому пласту до краевой части верхнего пласта равные: 60 м при мощности междупластья $h = 5$ м и 25 м при $h = 15$ м. По мере сокращения этих

расстояний, напряжения в кровле рассматриваемых выработок резко возрастают, и непосредственно под краевой частью пласта более чем в 5 раз превышают предел прочности пород на сжатие. А это приводит к потере сечения выработок, необходимости их перекрепления и ремонта.

3. Для оценки достоверности результатов теоретических исследований проведены шахтные исследования проявлений горного давления в очистных и подготовительных выработках в процессе отработки сближенных угольных пластов. Установлено, что концентрация горных работ на сближенных пластах возможна и целесообразна в определенных пределах. Границы такой концентрации должны быть обоснованы с точки зрения безопасности по фактору горного давления и экономическим затратам на проведение, ремонт и перекрепление выработок.

Проверка сходимости результатов теоретических расчетов с фактическими значениями исследуемых параметров показала, что расхождения не превышают 20%, а поэтому можно использовать результаты данной работы при обосновании границ концентрации горных работ на сближенных пластах.

Множественные корреляционные отношения установленных зависимостей имеют значения 0,83...0,98, а величины критерия Фишера значительно превышают однопроцентные пределы отклонений, что свидетельствует о достаточно тесной корреляции исследуемых случайных величин с варьируемыми параметрами и о статистической значимости установленных связей.

4. На основе полученных корреляционных зависимостей и результатов шахтных наблюдений разработана "Методика определения рационального расположения подготовительных выработок при отработке сближенных пластов Западного Донбасса". Составленная методика принята для использования на шахтах ПАО "ДТЭК Павлоградуголь" и в проектной организации "Днепрогипрошахт".

Для горно-геологических условий шахт Западного Донбасса сформулированы рекомендации по планированию горных работ и отработки сближенных угольных пластов.

Данные рекомендации учтены при планировании и проведении горных работ на шахте "Степная" ПАО "ДТЭК Павлоградуголь".

Фактический экономический эффект, обусловленный уменьшением затрат на поддержание и повторное использование 115-го бортового штрека 117-«бис» лавы, при его заложении в 25 м от кромки пласта c_6^1 составил 808860 (восемьсот восемь тысяч восемьсот шестьдесят) грн.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Геолого-промышленный очерк Западного Донбасса: Геологический отчет / Под ред. М. Н. Струева. – Киев: Фонды УТГР. – 395 с.
2. Балановский В. Ф. Угольные ресурсы Западного Донбасса. // Сб. “Вопросы развития угольной промышленности Западного Донбасса”. К. Техника. – 1973, - С. 8–10.
3. Закономерности угленакопления на территории Западного Донбасса / Под ред. А.З. Широкова. – М.Госгортехиздат, 1963. – 452 с.
4. Техничко-экономическое обоснование комплекса мероприятий по предотвращению вредного влияния на поверхность от ведения горных работ по шахтам ПО “Павлоградуголь”. Том 1, Технологическая часть. Днепропетровск, “Днепрогипрошахт”, 1991. – 542 с.
5. Васильев В.Е. Анализ условий разработки пластов Западного Донбасса. Науковий вісник НГУ – Днепропетровск. №9. – 2004.
6. Разработка и внедрение мероприятий по повышению технического уровня шахт ПО “Павлоградуголь”: Отчет о НИР / ВНИМИ; № ГР 0292511000. – Ленинград, 1986. – 88 с.
7. “Исследование влияния параметров напряженно-деформированного состояния горного массива на ведение очистных и подготовительных работ в условиях шахты «Степная» ГХК «Павлоградуголь» / Отчет о НИР. Национальный горный университет (НГУ); Руководитель Кошка А.Г.; №ГР 0102U004377. – Днепропетровск, 2003. – 130 с.
8. Барановский В.Н. Влияние природных факторов на выбор способов разработки угольных пластов на глубоких горизонтах. – М.: Гостехгориздат, 1963. – 180 с.
9. Гришко Н.Т., Марголин В.А., Дорошев В.П. Подготовка смежных столбов на шахтах Западного Донбасса // Уголь Украины. – 1966. – №2. – С. 10–13.
10. Колоколов О.В., Халимендик Ю.М., Лубенец А.О. О порядке разработки весьма сближенных пластов в слабых вмещающих породах // Уголь Украины. – 1994. – №1. – С. 10–13.
11. Яворский В.Н. Обоснование параметров технологии отработки угольных целиков камерами в условиях шахт Западного Донбасса. Дисс. канд. техн. наук – 05.15.02. – Днепропетровск. – 2000. – 139 с.
12. Каталог механических свойств горных пород при длительном испытании в условиях одноосного сжатия / А.Н.Ставрогин, В.С.Георгиевский, Е.В. Лодус и др. – Л.: ВНИМИ, 1972. – 73 с.
13. Халимендик Ю.М. Опыт работы шахты в особо сложных горно-геологических условиях // Уголь Украины. – 1995. – №6. – С. 12–14.
14. Зорин А.Н., Колесников В.Г., Халимендик Ю.М. Некоторые аспекты разрушения угля и пород при различных воздействиях на горный массив // Известия Донецкого горного института. – 1996. – №1(3). – С. 45–46.

15. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов.– М.: Высшая школа, 1978.– 447 с.
16. Усаченко Б.М. Свойства пород и устойчивость горных выработок.– Киев: Наукова думка, 1979.– 133 с.
17. Усаченко Б.М. Исследование реологических свойств горных пород и взаимодействие массива с крепью выработок в условиях шахт Западного Донбасса: Автореф. дис. канд. техн. наук.– Днепропетровск.– 1971.– 24 с.
18. Ползучесть осадочных горных пород (теория и эксперимент) / Ж.С. Ержанов, А.С. Сагинов, Г.Н. Гуменюк и др.– Алма-Ата: Наука, 1970.– 208 с.
19. Габдрахимов И.Х., Дедюкин М.В., Поздеев А.А. К феноменологической теории прочности карнолита и расчету длительной устойчивости целиков // Проблемы механики горных пород.– Алма-Ата: Наука, 1966.– С. 107–112.
20. Габдрахимов И. Х. Исследование длительной прочности пород и совершенствование параметров системы разработки в условиях Верхнекамских калийных рудников: Автореф. дис. канд. техн. наук.– Фрунзе, 1968.– 16 с.
21. Усаченко А. В. Обоснование рациональных параметров камерной системы разработки при слоевой выемке тельных известняков: Автореф. дис. канд. техн. наук – Днепропетровск, 1989.– 25 с.
22. Зильберман А.И., Новикова Л.В., Уланова Н.П. Оценка устойчивости камер сложной конфигурации // Шахтное строительство.– 1989.– №12.– С. 12–14.
23. Новикова Л.В., Князев М.В., Сдвижкова Е.А. Оценка устойчивости горных пород вокруг ряда выработок // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых.– 1984.– №5.– С. 94–96.
24. Новикова Л.В., Сдвижкова Е.А. Учет фактора времени при обосновании параметров технологии разработки марганцеворудных пластов // Марганец.– 1985.–№6.– С. 18–21.
25. Заславская Л.И., Яворский В.Н., Сердюк В.П., Кошка А.Г. Исследование влияния фактора времени на сближение почвы и кровли выемочной камеры // Разработка рудных месторождений: Республиканский межвед. научн.-техн. сб.– Кривой Рог.– 1999.– №70.– С. 35–38.
26. Новикова Л.В., Заславская Л.И., Яворский В.Н. Оценка конвергенции пород в камере при отработке тонких угольных пластов в слабых породах // Науковий вісник НГА України (за матеріалами I-ї науково-практичної конференції «Нестеровские чтения»).– Днепропетровск. – 2000. – №3. – С. 99–100.
27. Выбор схем совместной разработки пластов Донбасса / ДонУги, Украинский филиал ВНИМИ.– М.: Госиздат литературы по горному делу, 1963.– 108 с.
28. Слесарев В.Д. Управление горным давлением при разработке угольных пластов Донецкого бассейна.– М.: Углетехиздат, 1952.– 378 с.

29. Килячков А.П. О минимальной мощности междупластья, допускающей восходящий порядок выемки пластов пологого падения // Уголь.– 1951.– №2.– С. 10–12.
30. Западинский Л.А., Приступа В.П., Толмачев С.А. Опыт подработки угольных пластов в Кузбассе // Уголь.– 1990.– №7.– С. 26–27.
31. Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах. Методические указания, Донецк: Руководящий нормативный документ Министерства угольной промышленности, 1998.– 149 с.
32. Прокофьев В.П., Заика К.П. Рациональные способы подготовки и системы разработки сближенных пластов.– М.: Углетехиздат, 1959.– 200 с.
33. Руководство по расположению, охране и поддержанию подготовительных выработок в Западном Донбассе / Гришко Н.Т., Марголин В.А.-Днепропетровск: ДГИ, 1984.– 36 с.
34. Зборщик М.П., Назимко В.В., Мордасов В.Н. О подготовке и очередности выемки запасов при разработке сближенных пластов // Уголь Украины.– 1990.– №3.– С. 9–12.
35. Зборщик М.П., Назимко В.В., Мордасов В.Н. Охрана выработок в зонах разгрузки при отработке сближенных пластов на больших глубинах / Пути улучшения состояния горных выработок: Тезисы докладов всесоюзн. науч.-техн. совещания // Сб. научн. трудов.– М.: НИЭуголь.– 1969.– С. 18–19.
36. Зборщик М.П., Братишко А.С., Прокофьев В.П. Выбор способов охраны и места расположения подготовительных выработок.– К.: Техника, 1970.– 228 с.
37. Суганов В.А. Способы охраны подготовительных выработок при развитии горных работ в свите пластов // Уголь Украины.– 1995.– №8.– С. 6–8.
38. А.с. СССР 1535990. Способ охраны горных выработок от вредного влияния очистных работ / Назимко В.В. (Украина).– Опубл. 27.04.90; БИ №2.
39. Зборщик М.П., Назимко В.В. Охрана выработок глубоких шахт в зонах разгрузки.– К.: Техника, 1991.– 248 с.
40. Временные указания по управлению горным давлением на пластах мощностью до 3,5 м с углом падения до 35°.– Л.: ВНИМИ, 1982.– 134 с.
41. Построение зон защиты и ПГД для условий больших глубин. Методика КД 12.07.301-96, Донецк: АО“Издательство “Донеччина”, 1977.- 44 с.
42. Лубенец Н.А. Обоснование рациональных параметров подготовки весьма сближенных пластов на шахтах Западного Донбасса: Автореф. дис... канд. техн. наук.– Днепропетровск: 1999.– 24 с.
43. Новикова Л.В., Бузило В.И., Наливайко Я.М. Оценка степени влияния очистных работ на подготовительные выработки при отработке сближенных пластов // Сб. науч. трудов НГА Украины.– №10.– 2000.– С. 35–38.
44. Ильштейн А.М. О работе института горного дела АН СССР по исследованию проявлений горного давления методом моделирования эквивалентными материалами / Л.: ВНИМИ.– Сб. XLIV.– 1962.– С. 18–28.

45. Руппенейт К.В. Некоторые вопросы механики горных пород.– М.: Углетехиздат, 1954.– 384 с.
46. Руппенейт К.В. Давление и смещение горных пород в очистных выработках пологопадающих пластов.– М.: Углетехиздат, 1957.– 228 с.
47. Борисов А.А. Расчеты горного давления в лавах пологих пластов.– М.: Недра, 1964.– 278 с.
48. Ильштейн А.М. Закономерности проявлений горного давления в лавах пологих пластов каменноугольных месторождений.– М.: Углетехиздат, 1958.– 272 с.
49. Родин И.В. Снимаемая нагрузка и горное давление // Исследование горного давления.– М.: Госгортехиздат, 1960.– С. 343–374.
50. Андрушкевич С.Г. К вопросу устойчивости обнажений кровли пологих пластов Донбасса // Сб. тр. ИГД АН УССР, №9.– 1960.– С. 26–42.
51. Авершин С.Г. О направлениях и методах исследования горного давления // Исследования горного давления.– М.: Госгортехиздат, 1960.– С. 3–6.
52. Канлюбаева Ж.М. Закономерности сдвижения горных пород в массиве.– М.: Наука, 1968.– 108 с.
53. Орлов А.А. О расслоении пород кровли в очистных выработках // Уголь.– 1960.– №5.– С.44–47.
54. Кузнецов Г.Н. Аналитические расчеты на базе механики раздельно-блочной системы.– Л.: ВНИМИ.– 1970.– №78.– С. 13–36.
55. Кузнецов Г.Н. О механизме взаимодействия боковых пород и крепи в очистных выработках пологопадающих пластов // Исследования горного давления применительно к механизированным крепям.– М.: Углетехиздат, 1954.– С. 78–113.
56. Кузнецов С.Т., Воронин И.Н. О прогнозе расслаивания осадочных пород при решении задач об устойчивости их над очистными выработками.– Л.: ВНИМИ. – Сб. тр.– 1968.– №64.– С. 3–24.
57. Зборщик М.П., Касьян Н.Н., Ключев А.П., Азматов Р.И. Геомеханические процессы в зоне разрушенных пород // Уголь Украины.– 1996.– №4.– С. 7–9.
58. Зборщик М.П., Назимко В.В. Механизм сдвижения пород и перераспределения напряжений вокруг выработок, поддерживаемых в обрушенной и утопленной толще // Разработка месторождений полезных ископаемых.– 1986.– Вып. 73.– С. 52–78.
59. Зборщик М.П. Механизм сдвижения пород надрабатываемой толщи при отработке пологих пластов на глубоких горизонтах // Разработка месторождений полезных ископаемых.– 1984.– Вып. 67.– С. 89–94.
60. Петухов И.М., Линьков А.М. Механика горных ударов и выбросов.– М.: Недра, 1983.– 280 с.

61. Сдвигение горных пород при подземной разработке угольных и сланцевых месторождений / А.Г.Акимов, В.Н.Земисев, Н.Н.Кацнельсон и др.– М.: Недра, 1970.– 245 с.
62. Заря Н.М., Музафаев Ф.И. Схема механизма сдвижения толщи пород при выемке пологих пластов для одиночной лавы // Уголь Украины.– 1966.– №12.– С. 9–12.
63. Защитные пласты/ И.М.Петухов, А.М.Линьков, И.А.Фельдман и др.– Л.: Недра, 1972.– 424 с.
64. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов.– М.: Недра, 1980.– 360 с.
65. Шуликов А.М., Водянов В.Ф. Определение размеров зон опорного давления при разработке пологих пластов Донбасса // Разработка месторождений полезных ископаемых.– 1976.– Вып. 45.– С. 21–24.
66. Протождяконов М.М. Давление горных пород и рудничное крепление.– М.: ГОНТИ, 1931.– 104 с.
67. Слесарев В.Д. Механика горных пород.– М.: Углетехиздат, 1948.– 303 с.
68. Динник А.Н. Статьи по горному делу.– М.: Углетехиздат, 1957.– 195 с.
69. Христианович С.А., Баренблат Г.И. Об обрушении кровли в горных выработках // Изв. АН СССР.– 1955.– №11.– С. 73-86.
70. Айзаксон Э. Давление горных пород в шахтах.– М.: Изд. иностр. лит. 1961.– 176 с.
71. Власов Б.В., Грицко Г.И. Определение напряжений в породах по измеренным смещениям их над пластом и в выработанном пространстве // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых.– 1965.– №6.– С. 35–44.
72. Гапанович Л.Н., Гайдуков Ю.Г., Лаврухин В.Н. Исследование закономерностей проявления горного давления в выработанном пространстве при выемке угля слоями в Челябинском бассейне // Уголь.– 1974.– №2.– С. 13–18.
73. Фельдман И.А., Якубсон Г.Г. Результаты и перспективы приложения экспериментально-теоретического подхода к исследованию защитного действия пластов // Аналитические методы и вычислительная техника в механике горных пород.– Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1971.– С. 23–33.
74. Николин В.И., Подкопаев С.В., Скоропуд М.П., Савченко П.И. Новые представления (гипотеза) физической сущности эффективности первоочередной разработкой защитных пластов // Известия Донецкого горного института.– 1998.– №1(7).– С. 43–44.
75. Черняев В.И., Грищенко Н.Н. Прогнозирование напряженного состояния толщи горных пород при подземной разработке угольных пластов // Известия Донецкого горного института.– 1995.– №1.– С. 50–54.

76. Черняев В.И., Грищенко Н.Н. Расчет и построение зон повышенного горного давления при многократной подработке и надработке угольных пластов // Горно-металлургические проблемы Донбасса: сб. науч. тр. – Донецк: ДонГТУ, 1995.– №1.– С. 80–90.

77. Зборщик М.П., Грищенко Н.Н. Компьютерное моделирование геомеханических параметров отработки свит угольных пластов // Сб. науч. тр. НГА Украины.– Днепропетровск, 1999.– №7.– Т.2.– С. 3–7.

78. Грищенко Н.Н. Уточненная модель построения зон повышенного горного давления // Проблемы горного давления: Сб. науч. тр.– Донецк: ДонГТУ, 1999.– №3.– С. 122–129.

79. Борисов А.А., Кайдалов Н.Н., Лабазин В.Г. Расчет опорного давления при плавном опускании кровли // Изв. вузов. Горный журнал.– 1977.– №10.– С. 23–27.

80. Борисов А.А., Кайдалов Н.Н., Лабазин В.Г. Расчет напряжений в почве разрабатываемого пласта под краевыми зонами // Изв. вузов. Горный журнал.– 1979.– №3.– С. 10–12.

81. Комиссаров С.Н. Управление массивом горных пород вокруг очистных выработок.– М.: Недра, 1981.– 235 с.

82. Комиссаров С.Н., Жулин И.Е. Исследование ползучести пород в призабойном пространстве // Технология добычи угля подземным способом.– 1972.– №6(67).– С. 13–15.

83. Комиссаров С.Н. Исследование деформированного и напряженного состояния горного массива при очистной выемке пологих пластов // Уголь.– 1972.– №19.– С. 23–29.

84. Николин В.И., Игнатович Н.В., Шепеленко В.А. Особенности проявлений горного давления на глубине 1200 м // Уголь Украины.– 1994.– №5.– С. 12–15.

85. Борисов А.А. Взаимодействие выработок при разработке свит пластов.– Л.: ЛГИ, 1980.– 96 с.

86. Бич Я.А., Аман И.П. О надработке пластов в Прокопьевском районе Кузбасса.– Л.: ВНИМИ.– Сб. тр.– №47.– 1963.– С. 22–32.

87. Кузнецов С.Т., Ардашев К.А., Тихомиров Ю.Э. Влияние глубины на проявления горного давления при разработке свит сближенных пластов Прокопьевского месторождения Кузбасса // Горное давление, сдвигание горных пород и методика маркшейдерских работ.– Л.: ВНИМИ, 1964.– Вып. 53.– С. 105–119.

88. Снижко В.Д., Недодаев Н.В., Питаленко Е.И., Рева В.Н., Борисенко Э.В. Отработка угольных пластов в условиях влияния зон повышенного горного давления // Уголь Украины.– 1997.– №4.– С. 13–14.

89. Колоколов А.В., Лубенец Н.А. Математическое моделирование геодинамических процессов при различной очередности отработки весьма сближенных пластов в условиях Западного Донбасса // Науковий вісник НГА України.– 2000.– №3.– С. 101–102.

90. Зборщик М.П., Вишневецкий В.В. Компьютерная модель для расчета перераспределения горного давления при произвольном порядке развития очистных работ в свите пластов // Известия Донецкого горного института.– 1998.– №1.– С. 3–5.

91. Бугара М.И., Грядущий Ю.Б., Назимко В.В. Прогноз устойчивости непосредственной кровли в сложных горно-геологических условиях // Уголь Украины.– 1997.– №4.– С. 15–17.

92. Амусин Б.З., Фадеев А.Б. Метод конечных элементов при решении задач горной геомеханики.– М.: Недра, 1975.– 144 с.

93. Применение метода конечных элементов к задачам механики горных пород / Ж.С.Ержанов, Т.Д.Каримбаев и др. // Механика горных пород.– Алма-Ата: Наука, 1973.– С. 3–17.

94. Ержанов Ж.С., Каримбаев Т.Д. Метод конечных элементов в задачах механики горных пород.– Алма-Ата: Наука, 1975.– 238 с.

95. Исследование напряженного состояния пород вокруг выемочных выработок методом конечных элементов / Ю.М. Либерман, С.Н. Выборнова, А.С. Диманштейн и др. // Научн. сообщения ИГД им. А.А. Скочинского, 1982.– №213.– С. 72–78.

96. Либерман Ю.М., Хаимова-Малькова Р.Н. Упругопластический анализ напряженного состояния краевой части угольного пласта методом конечных элементов // Научн. сообщения ИГД им. А.А. Скочинского.– 1982.– №204.– С. 34–40.

97. Либерман Ю.М., Хаимова-Малькова Р.Н. Применение ЭВМ для решения задач геомеханики // Труды XVII междунар. симпозиума «Применение ЭВМ и математических методов в горном деле».– Т.1.– 1980.– С. 160–164.

98. Линьков А.М. Плоские задачи о статическом нагружении кусочно-однородной линейно упругой среды // Прикладная математика и механика.– 1982.– Т. 47.– Вып. 4.– С. 644–651.

99. Жданкин И.А., Колоколов С.Б. Об использовании результатов решения плоской задачи для определения деформированного состояния массива горных пород // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых.– 1982.– №1.– С. 97–98.

100. Комаров В.О., Тлеужанов Н.А. Численные методы решения задач горной геомеханики с учетом разупрочнения // Физико-технические и технологические проблемы разработки и обогащения твердых полезных ископаемых.– М.: ИПКОН АН СССР, 1962.– С. 132–135.

101. Бенерджи П., Баттерфилд Р. Методы граничных элементов в прикладных науках.– М.: Мир, 1984.– 494 с.

102. Крауч С., Старфилд А. Методы граничных элементов в механике твердого тела.– М.: Мир, 1987.– 398 с.

103. Jaswon M.A., Pontor A.P. An integral equation method for a torsion problem // Proc. Roy. Soc. Sec. 4.– 1963.– 273.– P. 237–246.

104. Rizzo F.J. Anintegral equation approach to boundary value problems of classical elastostatics // Quart. Appl. Math.– 1967.– 25.– P. 83–95.

105. Jaswon M.A., Maiti M., Symm M. Numerical beharmonic analysis and some applications // *Int. J. Solids and Structures*.– 1967. – 3.– P. 309–332.
106. Rizzo F.J., Shippy D.J. A formulation and solution procedure for the general non homoge neous elastic inclusion problem // *Int. J. Solid and Structures*.– 1968.– 4.– P. 1161–1179.
107. Метод граничных элементов в задачах горной геомеханики / Л.В. Новикова, П.И. Пономаренко, В.В. Приходько, И.Т. Морозов.– Днепропетровск: Наука и образование, 1997.– 180 с.
108. Матюшев В.С. Устойчивость выработок в зонах разгрузки и повышенного горного давления // *Уголь Украины*.– 1995.– №6.– С. 14–16.
109. Новикова Л.В., Заславская Л.И., Наливайко Я.М. Напряженно-деформированное состояние массива при разработке свиты пластов // *Геотехническая механика. Межвед сб. науч. трудов НАН Украины, ИГТМ*.– Вып. 25.– 2001.– С. 85–88.
110. Новикова Л.В., Кошка А.Г., Наливайко Я.М. Определение зон повышенного горного давления и оценка их влияния на отработку сближенных пологих пластов // *Геотехническая механика. Межвед сб. науч. трудов НАН Украины, ИГТМ*.– Вып. 26.– 2001.– С. 87–91.
111. Новикова Л.В., Заславская Л.И., Наливайко Я.М. Получение корреляционных соотношений для определения напряжений и перемещений в междупластье // *Труды X международного симпозиума «Методы дискретных особенностей в задачах математической физики»*.– МДОЗМФ.– 2001.– Херсон. – С. 246–248.
112. Прочность и деформируемость горных пород / Ю.М.Карташов, В.В.Матвеев и др.– М.: Недра, 1979.– 269 с.
113. Тажибаев К.Т. Деформация и разрушение горных пород при различных контактных условиях передачи нагрузки.– Фрунзе: Илим, 1986.– 107 с.
114. Березанцев В.Т. Осесимметричная задача предельного равновесия.– М.: Гостехиздат, 1952.– 120 с.
115. Баклашов И.В., Картозия Б.А. Механические процессы в породных массивах.– М.: Недра, 1986.– 271 с.
116. Якоби О. Практика управления горным давлением.–М: Недра, 1987. 566 с.
117. Мизин В.А., Сытник А.В., Нагорный А.В. Творческое сотрудничество института, завода и шахты – залог успеха // *Уголь Украины*.– №8.– 2003.– С. 43–44.
118. Глушко В.Г., Цай Т.Н., Ваганов И.И. Охрана выработок глубоких шахт.– М.: Недра, 1975.– 200с.

119. Оценка продолжительности эффекта локальной разгрузки пород почвы выработок для обеспечения их длительной устойчивости / Ю.А. Петренко, А.О. Новиков, А.В. Захаренко и др. // Перспективы развития горных технологий в начале третьего тысячелетия: Сб. науч. тр.– Алчевск: ДГМА, 1999.– С. 83–87.

120. Зборщик М.П. Охрана выработок глубоких шахт в выработанном пространстве.– К.: Техника, 1978.– 176 с.

121. Методы и приборы для изучения горного давления. – М.: Недра, 1964.–104 с.

122. Управление кровлей и крепление в очистных забоях на угольных пластах с углом падения до 35 град. Руководство КД 12.01.01.503-2001. – Киев: Минтопэнерго Украины, 2002. – 142 с.

123. Бузило В.И., Васильев В.Е., Расстрига В.П., Долгий А.А.. Особенности проявлений горного давления в лавах при отработке сближенных угольных пластов в условиях шахт Западного Донбасса. Науковий вісник НГУ – Днепропетровск. №11.– 2004. – с. 24-28.

124. Бузило В.И., Васильев В.Е., Кошка А.Г., Мамайкин А.Р., Медяник В.Ю. Исследование состояния выемочных штреков при отработке сближенных пластов Западного Донбасса. Разработка рудных месторождений – Кривой Рог. 2004. – Вып. 87. – С.32-34.

125. Васильев В.Е. Влияние очистных работ на состояние горных выработок в слабых породах Западного Донбасса. Сб. научн. тр. НГУ №17, том 1.– Днепропетровск: РИК НГУ, 2003.– с. 151-155.

126. Новикова Л.В., Заславская Л.И., Васильев В.Е. Напряженно-деформированное состояние породной толщи при отработке сближенных пластов. Украинско-польский форум горняков – 2004. (Ялта. Крым 13-19 сентября 2004).– Днепропетровск: НГУ, 2004, С. 80-85.

127. Новикова Л.В., Заславская Л.И., Васильев В.Е. Определение смещений в окрестности очистных забоев на сближенных пластах в условиях надработки //Сб. науч. тр. НГУ. – Дніпропетровськ: РИК НГУ. – 2004. – №20. – С. 37-43.

128. Новикова Л.В., Заславская Л.И., Васильев В.Е. Определение допустимой мощности междупластья при отработке сближенных пластов. “Геотехническая механика”. Межвузовский сборник научных трудов НАН Украины ИГТМ. №53, 2005. – С. 105-110.

129. Новикова Л.В., Заславская Л.И., Васильев В.Е. Определение рационального местоположения подготовительных выработок на сближенных пластах // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ.– 2005.– №3.– С. 22-25.

130. Бузило В.И., Васильев В.Е., Кошка А.Г. Обоснование границ концентрации горных работ при отработке сближенных пластов Западного Донбасса // Матер. междун. конф. «Форум горняков». – Д.: НГУ, 2006.

131. Buzylo V.I., Koshka A.G., Vasilyev V.E., Morozova T.I. Mining of Adjacent Coal Seams in the Mines/ Materialy Szkoły Eksploatacyj Podzemnej 2006. – Krakow: Wydawnictwo IGSMiE PAN. – P. 591-597.

132. Бузило В.И., Черватюк В.Г., Васильев В.Е., Ковалевская И.А. The modern aspects of the anchor fastening use in the environment of SC «Pavlogradvugilla» - Всемирный горный конгресс. – Краков, 2008, С. 139-146.
133. Buzilo V., Serdyuk V. & Yavorsky A. 2010. Research of influence of support resistance of the stope in the immediate roof condition, New techniques and technologies in mining. Taylor & Francis Group, London, p. 127-130.
134. Технология отработки угольных целиков камерами в условиях шахт Западного Донбасса : моногр./ В.И. Бузило, В.Н. Яворский, А.Г. Кошка, В.П. Сердюк, А.В. Яворский - Д.: Национальный горный университет, 2011.- 95 с.
135. Buzilo V., Koshka O. & Yavors'kyu A. 2011 Bolt-pneumatic support for development workings with big cross-section, Technical and Geoinformational Systems in Mining. Taylor & Francis Group, London, p. 149-155.
136. Разработка сближенных угольных пластов механизированными комплексами в условиях шахт Львовско-Волинского бассейна: моногр./ В.И. Бузило, Я. М. Наливайко, А.Г. Кошка, А.В. Яворский, В.П. Сердюк, О.О. Яворська - Д.: Национальный горный университет, 2012.-132 с.
137. Технология селективной отработки тонких угольных пластов [Текст]: моногр. / В.И. Бузило, А.Г. Кошка, В.П. Сердюк и др. – Д.: Национальный горный университет, 2012. – 138 с.
138. Технология отработки тонких пластов с закладкой выработанного пространства [Текст]: моногр./ В.И. Бузило, В.И. Сулаев, А.Г. Кошка и др. - Д.: Национальный горный университет, 2013. – 124 с.
139. Stress-strain state of rock mass while mining flat coal seam under protected objects: monograph/ A.V. Yavorsky, E.A. Yavorskaya, A.G. Koshka, L.A. Tokar, V.P. Serdyuk; Ministry of Education and Science of Ukraine; National Mining University. – D.: NMU, 2014. – 112 p.
140. Обоснование параметров и области применения бесконсольных механизированных крепей очистных комплексов: монография/ В.И. Бузило, В.П. Сердюк, А.Г. Кошка, Е.А. Яворская, Е.А. Коровяка, А.В. Яворский; М-во образования и науки Украины; Нац. горн. ун-т., 2014. – 95 с.
141. Екологіозберігаючі технології розробки вугільних родовищ Західного Донбасу та Львівсько-Волинського басейну. Монографія. / Бузило В.І., Наливайко Я.М., Акімов О.А., Дяченко А.П., Павличенко А.В., Сердюк В.П., Кошка О.Г., Яворський А.В., Яворська О.О . Під заг. ред. Бузила В.І. – Дніпропетровськ: Літограф, 2014. – 244 с.
142. Технології підвищення екологічної безпеки при відпрацьовуванні тонких і надтонких вугільних пластів у складних гірничо-геологічних умовах. Монографія. / Бузило В.І., Акімов О.А., Дяченко А.П., Павличенко А.В., Сулаєв В.І., Яворський В.М., Сердюк В.П., Кошка О.Г., Яворський А.В., Яворська О.О. Під заг. ред. Бузила В.І. – Дніпропетровськ: Літограф, 2014. – 228 с.
143. Selective mining technique for thin coal seams :monograph / V.I. Buzilo, A.G. Koshka, A.V. Yavorsky, E.A. Yavorskaya, L.A. Tokar, V.I. Sulaev, V.P. Serdyuk; Ministry of Education and Science of Ukraine; National Mining University. – D.: NMU, 2015. – 131 p.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. СПЕЦИФИКА ОТРАБОТКИ СБЛИЖЕННЫХ ПЛАСТОВ В УСЛОВИЯХ ШАХТ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА.....	4
1.1. Горно-геологическая характеристика условий отработки сближенных пластов в Западном Донбассе.....	4
1.2. Способы отработки сближенных пластов на шахтах ПАО “ДТЭК Павлоградуголь”.....	7
1.3. Условия проведения и поддержания подготовительных выработок на сближенных пластах Западного Донбасса	9
1.4. Анализ исследований, посвященных проблемам отработки сближенных пластов.....	11
1.5. Задачи исследований	14
ГЛАВА 2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ АНАЛИЗА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОРОД ПРИ ОТРАБОТКЕ СБЛИЖЕННЫХ ПЛАСТОВ.....	15
2.1. Описание расчетной схемы	15
2.2. Формулировка рассматриваемой задачи в терминах метода граничных элементов.....	15
2.3. Определение смещений в окрестности очистных забоев в условиях надработки	17
2.4. Определение напряжений и смещений в зоне влияния очистных работ.....	19
2.5. Результаты расчетов и их анализ.....	21
Выводы.....	31
ГЛАВА 3. ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО МЕСТА ЗАЛОЖЕНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ КОНЦЕНТРАЦИИ ГОРНЫХ РАБОТ.....	32
3.1. Общие сведения.....	32
3.2. Описание расчетной схемы.....	33
3.3. Результаты расчетов и их анализ.....	37
3.4. Рекомендуемые технологические схемы	45
Выводы.....	47
ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ШАХТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЯВЛЕНИЙ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ ОТРАБОТКЕ СБЛИЖЕННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ.....	48
4.1. Характеристика условий исследований.....	48
4.2. Результаты шахтных исследований в лавах.....	48
4.3. Результаты шахтных исследований в выемочных штреках.....	71
4.4. Анализ сходимости результатов экспериментальных и теоретических исследований.....	83
Выводы.....	86
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	87
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	89

Наукове видання

Бузило Володимир Іванович
Васильєв Віталій Євгенович
Яворська Олена Олександрівна
Яворський Андрій Васильович
Кошка Олександр Григорович
Сердюк Володимир Петрович

**ГРАНИЧНІ ПАРАМЕТРИ КОНЦЕНТРАЦІЇ ГІРНИЧИХ РОБІТ
ПРИ ВІДПРАЦЮВАННІ ЗБЛИЖЕНИХ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ
ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ**

Монографія

(Російською мовою)

Друкується в редакційній обробці авторів.

Підп. до друку 09.04.2015. Формат 30x42/4.
Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк. 5,5.
Обл.-вид. арк. 5,3. Тираж 300 пр. Зам. №

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

49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.