

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ,  
МОЛОДЕЖИ И СПОРТА УКРАИНЫ  
Государственное высшее учебное заведение  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



**В.И. БУЗИЛО, Я.М. НАЛИВАЙКО, А.Г. КОШКА,  
А.В. ЯВОРСКИЙ, В.П. СЕРДЮК, Е.А. ЯВОРСКАЯ**

**РАЗРАБОТКА СБЛИЖЕННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ  
МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ КОМПЛЕКСАМИ В УСЛОВИЯХ ШАХТ  
ЛЬВОВСКО-ВОЛЫНСКОГО БАССЕЙНА**

**Монография**

**Днепропетровск**

**НГУ  
2012**

УДК 622.333:622.232.8(477.8)  
ББК 33.31(4Укр)  
Р65

Рекомендовано до друку  
вченою радою Державного ВНЗ «НГУ»  
(протокол № 2 від 21 лютого 2012 р.)

**Рецензенти:**

- С.С. Гребьонкін** – доктор технічних наук, професор кафедри гірництва і транспорту Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля (м. Луганськ);
- Л.Н. Ширін** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри транспортних систем і технологій ДВНЗ «Національний гірничий університет» (м. Дніпропетровськ).

**Разработка** сближенных угольных пластов механизированными комплексами в условиях шахт Львовско-Волынского бассейна [Текст]: моногр./ В.И. Бузило, Я.М. Наливайко, А.Г. Кошка и др. – Д.: Национальный горный университет, 2012. – 132 с.  
ISBN 978 – 966 – 350 – 331 - 8

Посвящено вопросам обоснования параметров выемки сближенных угольных пластов механизированными комплексами в сложных горно-геологических условиях. Определены рациональные параметры ведения очистных работ в шахтах Львовского региона (силовые и геометрические параметры механизированной крепи, допустимое расстояние между очистными забоями по сближенным пластам, скорость подачи комбайна, скорость подвигания лавы). Сформулированы рекомендации по параметрам выемки сближенных пластов в условиях наработки и подработки.

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

Ил. 44. Библиогр.: 112 назв.

УДК 622.333:622.232.8(477.8)  
ББК 33.31(4Укр)

© В.І. Бузило, Я.М. Наливайко,  
О.Г. Кошка, А.В. Яворський,  
В.П. Сердюк, О.О. Яворська, 2012

ISBN 978 – 966 – 350 – 331 - 8

© ДВНЗ «Національний гірничий університет», 2012

## ВВЕДЕНИЕ

Тенденция добычи и потребления угля в Украине свидетельствует о возрастании его роли в топливно-энергетическом комплексе. Энергетической стратегией Украины до 2030 года предусмотрено значительное увеличение доли угля в топливно-энергетическом балансе Украины. Это требует повышения эффективности работы угольных предприятий, во многом определяемой степенью обеспечения надежной работы горизонтов и участков в конкретных горно-геологических условиях.

Развитие угольной промышленности Львовской области связано с разработкой свиты пяти сближенных пластов рабочей мощностью 0,6...1,8 м при мощностях междупластьев 10...28 м. Промышленные запасы угля десяти действующих шахт ГП «Львовуголь» составляют свыше 108 млн. т. Добыча осуществляется 22 механизированными лавами. Проблема состоит не только в том, что одновременно вынимаются 2-3 пласта, а и в том, что из-за несогласованности в работе шахт компании существенно ухудшились горно-геологические условия: пласты оказались неоднократно подработанными, надработанными, очистным забоям приходится работать в зонах повышенного горного давления (ПГД) от целиков и краевых частей смежных пластов.

По данным технических служб шахт 81% лав работало под (над) целиками и краевыми частями смежных пластов, вследствие чего возросла нагрузка на механизированную крепь, увеличились частота и интенсивность вывалообразований пород кровли. Используемые очистные комплексы оказались непригодными к таким условиям, скорость подвигания лав, по сравнению с работой вне зон влияния целиков и краевых частей, снизилась на 40...60 %, участились случаи травматизма.

В связи с этим встал вопрос определения рациональных параметров ведения очистных работ в зонах повышенного горного давления, в частности, значений реакций крепи используемых комплексов, скорости подвигания лав и допустимого расстояния между очистными забоями смежных пластов.

Решение данного вопроса, актуального для горной науки и практики, требует определения и анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) слоистого неоднородного массива в окрестности очистной выработки и оценки степени влияния целиков и краевых частей на проявления горного давления в условиях надработки и подработки, что и сделано в данной монографии.

*В проведении натурных исследований участвовали сотрудники кафедры подземной разработки месторождений Государственного ВУЗ «Национальный горный университет» и работники шахт «Відродження», «Бендюзька», «Лісова» и «Степова» ГП «Львовуголь».*

*В разработке вычислительных программ принимали участие сотрудники кафедры высшей математики Национального горного университета профессор д.т.н. Новикова Людмила Васильевна, доцент Заславская Людмила Ивановна.*

*Всем им авторы выражают искреннюю признательность.*

# ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

## 1.1. Физико-механические свойства угля и вмещающих пород Львовского региона

Львовско-Волинский бассейн, к которому относятся шахты ГП «Львовуголь», характеризуются специфическими особенностями геологического строения, связанными с его образованием и историей геологического развития. Разрабатываемая свита включает пласты  $n_7^H$ ,  $n_7^6$ ,  $n_8$ ,  $n_8^6$  и  $n_9$ . Мощности этих пластов изменяются в пределах 0,6...1,8 м, мощности междупластий от 7 до 28 м [109]. Верхний пласт  $n_8^6$  является одним из основных промышленных пластов и интенсивно разрабатывается почти всеми Великомошовскими шахтами Червоноградского геолого-промышленного района. Этот пласт, как и пласт  $n_7^H$ , отработан на значительных площадях. В настоящее время очистные работы ведутся в основном по пластам  $n_7^H$ ,  $n_7^6$ ,  $n_8$  и  $n_8^6$  на глубине  $H = 360 - 560$  м. Углевмещающие породы – песчаники, аргиллиты и алевролиты. Описание их физико-механических свойств содержится в геологическом очерке [1]. Приведем краткую характеристику тех из них, которые являются исходными данными при решении задач оценки напряженно-деформированного состояния исследуемой области массива.

На полях шахт Червоноградского геолого-промышленного района почти повсеместно основную кровлю рабочих угольных пластов слагают песчаники. В северной части района песчаники устойчивы и имеют пределы прочности на сжатие 70...100 МПа. В кровле пластов  $n_8$  и  $n_8^6$  они довольно устойчивые, а в почве пластов  $n_8^6$  и  $n_7^H$  нередко залегают песчаники-«кучерявчики» с прочностью 30...50 МПа.

Алевролиты по сравнению с песчаниками принимают большее участие в сложении непосредственной кровли и почвы угольных пластов. Они чаще залегают в сечениях горных выработок и имеют более низкие прочностные характеристики.

Значительное распространение алевролиты имеют в южной части Червоноградского района. В основной кровле они то перемежаются с песчаниками, образуя отдельные слои мощностью 1,5...4,0 м, то слагают однородные толщи, достигающие мощности 6,0 ...10,0 м. Устойчивость их средняя с пределом прочности на сжатие от 24,3 МПа до 70,4 МПа. В почве пластов алевролиты имеют компактную текстуру и являются слабоустойчивыми. Максимальную прочность они имеют по пластам  $n_8$  и  $n_8^6$ , а минимальную – по пластам  $n_7^H$  и  $n_7^6$ .

Аргиллиты по сравнению с другими литотипами углевмещающих пород



распространены наиболее широко. Они имеют низкую прочность, даже при небольших горных давлениях сильно деформируются с образованием вывалов. Это обусловлено внутрiformационным размывом, в процессе которого породы первичной кровли пластов были замещены буровато-серым аргиллитом с неслоистой текстурой. Прочность таких пород изменяется в пределах 16 ... 50 МПа. Самую низкую прочность они имеют в непосредственной кровле пластов  $n_7$  и  $n_8$ .

Механическая прочность углевмещающих пород бассейна заметно снижается при их водонасыщении, а некоторых их разновидностей – даже при незначительном увлажнении. Лабораторные испытания образцов пород свидетельствуют о том, что при полном влагонасыщении, средний предел прочности аргиллитов и алевролитов уменьшается в 1,5...2,3 раза, а слоистых песчаников и алевролитов – в 3,9 раза. Таким образом, прочность углевмещающих пород исследуемого региона изменяется в широких пределах, причем, предел прочности на сжатие каждого литотипа пород увеличивается с севера на юг со стратиграфической глубиной и в последовательном литологическом ряду – от сланцев к песчаникам и известнякам (покрывающая угольные отложения толща), а также от пород, находящихся в непосредственном контакте с угольным пластом, – вверх и вниз по разрезу. Прочностные свойства пород заметно снижаются при их водонасыщении. Породы непосредственной кровли и почвы угольных пластов являются слабо- и среднеустойчивыми на севере бассейна и среднеустойчивыми на юге.

Что касается углей, то гумусовые по прочности относятся к средним классам, а сапропелевые и высокозольные гумусовые – к крепким. Свойства их так же, как и вмещающих пород, варьируют в широких пределах.

Средние значения пределов прочности угля и вмещающих пород на сжатие и растяжение, а также модулей упругости  $E$ , коэффициентов Пуассона  $\nu$  и плотностей  $\gamma$  по данным ВНИМИ [2,3] и Института геотехнической механики АН Украины [4] приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Физико-механические характеристики угля и вмещающих пород Львовского региона

Порода \ Параметр	$E \cdot 10^{-4}$ , МПа	$\nu$	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\sigma_c$ , МПа	$\sigma_p$ , МПа
Песчаник	1,4	0,25	2,67	80	8,0
Алевролит	1,0	0,26	2,78	44	4,4
Аргиллит	0,63	0,20	2,70	30	3,0
Уголь	0,28	0,30	1,69	20	2,0

Условия залегания пластов в рассматриваемом регионе характеризуются таблицей 1.2.

Таблица 1.2

## Количество лав по шахтам, пластам и условиям отработки

Шахта	Пласты рабочей мощности	Глубина разра-ботки, м	Мощность между-пластья	Породы между-пластья	Код-во лав (1996-2000г)	В том числе работающих в условиях влияния целиков (краевых частей) на пластах						Приме-чания	
						$n_7^H$	$n_7$	$n_7^6$	$n_8$	$n_8^6$	$n_9$		Всего
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Великомостівська	$n_8^6$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	$n_8$	415-420	8,6		3	3	-	3	-	-	-	3	
	$n_7^6$	429-465	12-14,4		2	2	-	-	-	2	-	2	
	$n_7^H$	438-472	7,3-14,2		2	-	-	2*	-	-	-	-	
Бендюзька	$n_8^6$	358-391	-		2	-	-	2	2	-	-	2	
	$n_8$	360-410	8,8-16,4		10	-	-	9	1*	8	2*	9	
	$n_7^6$	380-425	10-19,1		-	-	-	-	-	-	-	-	
	$n_7^H$				-	-	-	-	-	-	-	-	
Межирічанська	$n_8^6$	451-513	-	слан.песч.	-	-	-	-	-	-	-	-	
	$n_8$	461-527	10.5-22.6	-2 м;	4	4	-	1	-	2	2*	4	
	$n_7^6$	475-536	9,3-14,4	песч.-2 м;	6	3	-	-	4	1*	5	1*	5
	$n_7^H$	490-553	13,5-25,2	гл.-2 м	1	-	-	-	1	1*	-	1	

Продолжение таблицы 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Відродження	$n_8^6$	451-513	-		5	4		1	1	-	-	4	
	$n_8$	461-527	10,5-22,6		2	2		-	-	1	-	2	
	$n_7^6$	476-537	9,4-13		2	2		-	2	2	-	2	
	$n_7^H$	490-554	15,1-22,2		-	-		-	-	-	-	-	
№5 ВМ	$n_8^6$	381-391	-	гл.сл.-3м; п.сл.-4м;	1	1		1	-	-	-	1	
	$n_8$	390-402	5,3-15,8	гл.сл.-5м; сл.п.-7м;	1	1		-	-	1	-	1	
	$n_7^6$	402-417	6-18,6	п.-5м;	1	1		-	-	1	-	1	
	$n_7^H$	427-433	15-20	сл.п.-5м; п.-6м	2	-		1	-	2	-	2	
Лісова	$n_8^6$	455-506		сл.г.-1,2м; сл.п.- 6,5м;	5	-		1	-	-	-	5	
	$n_7^6$	484-533	25-28,2	п.-7м; п.-12м;	1	1		-	-	1	-	1	
	$n_7^H$	498-545	12-16,5	сл.п.-8м	2	2		2	-	2	-	2	

Продолжение таблицы 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Зарічна	$n_9$	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	
	$n_8^6$	463-476	-		3	-	-	-	-	-	-	-	
	$n_8$	475-494	12,7-17,3		-	-	-	-	-	-	-	-	
	$n_7^6$	489-507	12,7-13,8		4	2	-	-	2	2	2	4	
	$n_7^{II}$	507-528	17-20,4		-	-	-	-	-	-	-	-	
Візейська	$n_8^6$	395-415	-		-	-	-	-	-	-	-	-	
	$n_7^6$	416-436	23-26,2		4	1	-	-	-	4	-	4	
	$n_7$	421-432	3,7-5,6		1	-	-	-	-	-	-	-	
	$n_7^{II}$	436-448	14,5-15,6		4	-	4	-	-	2	-	4	
Нагія	$n_8^6$	376-384	-		-	-	-	-	-	-	-	-	
	$n_7$	400-415	23-31		2	1	-	-	-	2	-	2	
	$n_7^{II}$	418-432	14,3-15,6		6	1	5	-	-	6	-	6	
Степова	$n_8^6$	505-510	-		7	2	-	-	-	-	-	2	
	$n_7^{II}$	540-550	37,2-40,2		2	-	-	-	-	2	-	2	

Продолжение таблицы 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Червоноградська	$n_8^6$	470-490	-		4	-	-	-	1	-	-	1	
	$n_8$	480-500	8,3-12,3		5	-	-	-	-	4	-	4	
	$n_7^6$	500-520	17,1-28,8		2	-	-	-	2	2	-	2	
Всього по ГХК	$n_9$				-	-	-	-	-	-	-	-	Всього
	$n_8^6$				-	-	-	-	-	-	-	-	-
	$n_8$				27	11	-	5	4	11	-	15	20
	$n_7^6$				25	10	-	13	-	16	-	23	39
	$n_7$				22	10	-	-	10	19	2	21	41
	$n_7^H$				3	1	-	-	-	2	-	2	3
Всього					96	32	9	21	15	52	2	78	131

\* - подработка (надработка) без целиков

Как видно из таблицы 1.2, структура массива в исследуемом регионе изменяется в довольно широких пределах. Варьируют такие параметры, как глубина разработки, мощности пластов и междупластьев, в кровлях отрабатываемых пластов происходит замещение пород, лавы попадают в надработанную или подработанную зоны, в области повышенного горного давления от целиков или краевых частей.

### 1.2. Характеристика условий отработки сближенных пластов шахт Львовского региона

В настоящее время на шахтах Львовского региона принята панельная схема подготовки. Запасы отрабатываются длинными столбами обратным ходом. С 1996 года используются механизированные комплексы КМК97М, КМК98, КМК87 и КМК88.

Типичный стратиграфический разрез углевмещающей толщи представлен на рис. 1.1.

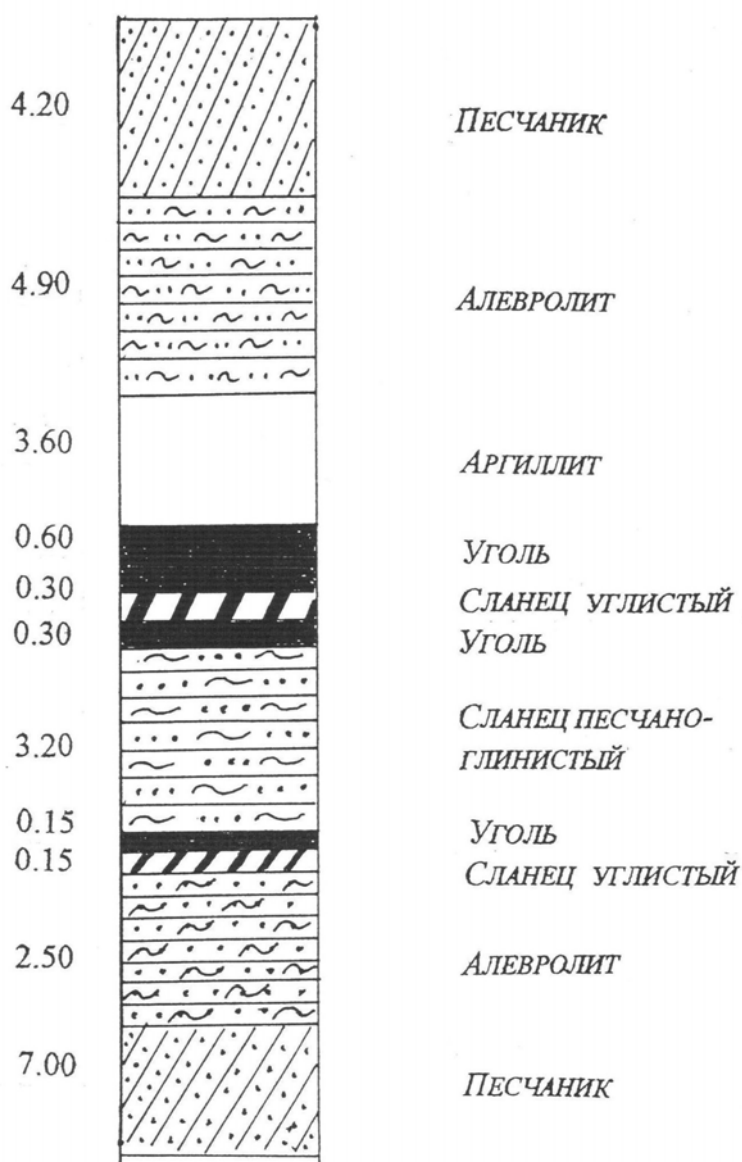


Рис. 1.1. - Типичный стратиграфический разрез углевмещающей толщи

Представление о распределении промышленных запасов угля по пластам шахт ГП «Львовуголь» дает таблица 1.3.

Таблица 1.3

Промышленные запасы угля по пластам на полях действующих шахт ГП «Львовуголь»

Шахты	$n_9$	$n_8^6$	$n_8$	$n_7^6$	$n_7$	$n_7^H$	Всего тыс.т.
Великомостівська	0	274	936	81	-	166	1457
Бендюзька	-	308	638	359	-	333	1638
Межирічанська	1213	865	1286	6284	2094	1191	12933
Відродження	2471	989	-	3607	0	510	7577
Лісова	0	3224	0	5750	0	2245	11219
Зарічна	1499	751	0	2324	0	467	5041
Візейська	-	-	-	291	206	339	836
Надія	-	-	-	-	-	353	353
Степова	9817	16331	-	7843	1121	8496	43608
Червоноградська	7272	3257	1898	7574	3901	-	23902
Всього	22272	25999	4758	34113	7322	14100	108564

Из этой таблицы видно, что наибольшие запасы сосредоточены в пластах  $n_9$ ,  $n_8^6$  и  $n_7^6$ . Специфика их разработки заключается в неоднократной подработке и надработке, в наличии краевых частей и целиков смежных пластов, создающих значительную концентрацию напряжений. В период с 1996 по 2001 год в зонах повышенного горного давления находилось 47,7% площади, обрабатываемой 96-ю лавами.

Более подробные данные по условиям отработки сближенных пластов, приведенные в таблице 1.2, свидетельствуют, что 81 % лав за период с 1996 по 2001 г. работало в зонах влияния целиков и краевых частей, из них 56,4 % - в зонах повышенного горного давления от целиков, оставляемых по двум-трем пластам одновременно.

В таких условиях, среднеустойчивая кровля переходит в разряд неустойчивой, наблюдаются частые вывалы пород, используемые механизированные комплексы оказываются неработоспособными.

Для обеспечения эффективной работы лав в зонах повышенного горного давления, очевидно, необходимо установить адекватные значения силовых и геометрических параметров механизированной крепи, определить наиболее рациональную скорость подвигания очистного забоя в конкретных горно-геологических условиях. Все это требует проведения тщательного анализа напряженно-деформированного состояния слоистого неоднородного массива вокруг очистной выработки с учетом подработки и надработки и наличия в исследуемой области целиков и краевых частей.

В этой связи в следующем параграфе приведем обзор методов изучения напряженно-деформированного состояния массива горных пород

применительно к разработке сближенных пластов и проанализируем известные результаты решений соответствующих задач.

### **1.3. Развитие и современное состояние методов изучения напряженно-деформированного состояния массива применительно к разработке свиты пластов**

Большинство известных гипотез горного давления являются обобщением результатов натурных и лабораторных исследований [5-7, 8, 9]. Применительно к очистным выработкам гипотезы горного давления можно разделить на две основные группы. Гипотезы первого направления базируются на представлениях о том, что свойства массивов горных пород описываются моделями упругой, пластичной, сыпучей, ортотропной и других сред. Расчетные методы таких сред в большинстве своем численные. Расчетные схемы при этом учитывают конкретные горно-геологические и горнотехнические условия, поэтому результаты не могут быть распространены на другие условия [10-15].

Вторую группу составляют гипотезы и методы расчетов, в которых рассматриваются конкретные формы разрушения пород над очистным пространством и закономерности проявлений горного давления в зависимости от литологического состава и степени нарушения пород кровли. В этих гипотезах, как правило, речь идет о небольшой области влияния очистной выработки, захватывающей главным образом зону разрушенных пород, которая взаимодействует с крепью в очистном забое. Таковы гипотеза возможных перемещений Г.Н. Кузнецова [16-18], гипотеза ступенчатого опускания кровли П.М. Цимбаревича [19]. К этому же направлению относятся расчетные методы С.Т. Кузнецова [20,21], О. Якоби [22-24], М.П. Зборщика, Н.Н. Касьяна, А.П. Ключева, Р.И. Азматова [25] и др.

Из известных схем сдвижения и давления толщи пород под влиянием подземных разработок наиболее полно отображают картину сдвижений схемы ВНИМИ, ЛГИ и ДГТУ [26–30]. Согласно этим схемам вся область, затронутая влиянием очистной выемки, делится на характерные зоны, каждой из которых присущи определенные виды деформирования пород. В работах [27,31] они называются зонами разгрузки, беспорядочного обрушения, полных сдвижений, опорного давления, предельного напряженного состояния. Нахождение границ этих зон представляет важную для практики задачу, решение которой дает сведения о напряженно-деформированном состоянии пород вокруг очистной выработки, необходимые для определения рациональных технологических и геометрических параметров системы разработки, а также параметров крепления и поддержания выработок, обеспечивающих нормальное функционирование, как очистных забоев, так и транспортных и вентиляционных систем. Например, в шахтах Западного Донбасса при проведении выработок по надработанному пласту, как показали натурные наблюдения, нарушается его сплошность, происходит пучение. Мощность слоев, охваченных пучением, доходит до 6...7 метров. С учетом этого обстоятельства для предотвращения деформаций



выработок главных направлений в зонах влияния очистных работ в Западном Донбассе был осуществлен переход на крепи нового технического уровня [32-34].

В плоскости пласта можно выделить переднюю, заднюю (по отношению к забою) и боковые зоны опорного давления. Деформации пласта в передней и боковых зонах количественно различаются. В боковых зонах на достаточном удалении от лавы деформации пласта достигают максимума [35].

Конкретное распределение зон опорного давления нестабильно и зависит от ряда факторов: глубины работ, процессов деформирования и разрушения не только непосредственной и основной кровли, но и всей покрывающей толщи, свойств пласта, пород почвы и др.

По мере подвигания забоя изменение величины максимума опорного давления и расстояния от него до забоя происходит в определенных пределах как в периоды между посадками основной кровли, так и в периоды между полными оседаниями пород всей покрывающей толщи до поверхности. Это объясняется нестабильностью механических характеристик пород покрывающей толщи, изменением их мощностей, трещиноватостью и др. Динамика опорного давления обусловлена динамикой изменения пролетов завес пород покрывающей толщи, деформациями и разрушениями краевой зоны очистного забоя и вмещающих пород (кровли и почвы), а также технологическими параметрами: способом подготовки, системой разработки, скоростью ведения очистных работ, глубиной захвата, длиной лавы и др. Вероятность обрушения зависит от глубины разработки и соотношений между прочностными свойствами угля и вмещающих пород. Как показано в работе [36], выемка с одинаковыми геометрическими параметрами технологии разработки в слабых породах при крепком угле достаточно надежна до глубины 160...180 м, а в прочных породах – до глубины 500 м.

Ширина передней зоны опорного давления изменяется в пределах от 20 до 250 м, а расстояние от забоя до максимума опорного давления изменяется от 0 до 15 м и более. По некоторым данным ширина боковой зоны опорного давления (по падению и восстанию) составляет 15...50 м [37].

Разработка методов расчета опорного давления представляет значительные трудности. Первые решения для определения ширины боковой зоны опорного давления с использованием данных натуральных наблюдений были получены М.М. Протодяконовым [38] и В.Д. Слесаревым [39]. Позднее для расчета опорного давления другими авторами массив горных пород имитировался однородной изотропной упругой полуплоскостью с горизонтальной прямоугольной щелью на произвольной глубине [40, 41]. Изучению поведения подработанных и надработанных пород в однородном и слоистом массивах посвящены теоретические исследования А.М. Линькова и И.М. Петухова [31,42] и экспериментальные Б.В. Власова, Г.И. Грицко, Э. Айзаксона, Л.Н. Гапановича и др. [43-45]. Они явились основой принятых в инструкциях [46,47] значений углов сдвижений для горизонтальных и наклонных пластов, используемых при определении нагрузок на почву и в окружающих выработку породах. В ряде работ рассматриваются задачи

геомеханики для подработанных и надработанных областей массива в связи с изучением подготовительной стадии динамических явлений [48-50]. Решения осуществляются на основе модели упругой среды с заданием граничных условий в напряжениях, получаемых путем натуральных измерений. Интересны полученные результаты. Однако, из-за отсутствия соответствующих экспериментальных данных, ими, как и самим подходом к решению, невозможно воспользоваться при рассмотрении условий шахт Львовского региона.

В работе А.А. Борисова, Н.Н. Кайдалова и В.Г. Лабазина [51] описана методика расчета опорного давления в период деформирования кровли до первого обрушения вариационным методом Лагранжа. Используется модель упругой среды и расчетная схема многослойной балки. Трение между слоями полагается пренебрежимо малым. В результате получены эпюры распределения опорного давления в зависимости от длины пролета очистной выработки. Длина боковой зоны опорного давления при этом принимается по результатам шахтных измерений.

В работах [52,53] тех же авторов методом теории упругости в упрощенной постановке решается задача расчета напряжений в почве разрабатываемого пласта под краевыми зонами в случае управления кровлей плавным опусканием. Упрощение состоит в том, что действующая нагрузка (опорное давление, обусловленное деформированием слоистой толщи) считается заданной. Определяется напряженное состояние почвы под забоем и в начале зоны смыкания кровли и почвы. Породы почвы имитируются однородной изотропной средой. Расчет напряжений сводится к решению известной задачи о действии на упругую полуплоскость равномерно распределенной на некотором отрезке нагрузки. По результатам вычислений построены эпюры напряжений  $\sigma_y$  и  $\tau_{xy}$ . Анализ результатов расчета показал, что если максимум опорного давления принять за единицу, то на глубине 5 м максимум дополнительного напряжения  $\sigma_y$  составляет 0,5, а на глубине 25 м – только 0,14. Максимум касательных напряжений  $\tau_{xy}$  составляет примерно  $0,3(\sigma_y)_{max}$ .

Из полученного аналитического решения следуют и другие выводы, интересные с точки зрения приложений, но они относятся к разработке одиночного пласта.

В.Г. Гмошинский [54] исследовал формирование эпюры опорного горного давления впереди очистного забоя во времени с учетом частичного разрушения угля в окрестности выработки. Исходным было наиболее общее дифференциальное уравнение реологического состояния среды [55], записанное для случая хрупкого разрушения угля. Автор теоретически и экспериментально установил, что длина зоны разрушения угля существенным образом зависит от прочности угля, размеров выработанного пространства, мощности пласта, первоначального давления вышележащих пород. Особый интерес представляют приведенные в работе [54] в замкнутой форме решения плоской задачи теории упругости для определения горного давления на угольный пласт в зависимости

от скорости подвигания очистного забоя. С их помощью можно определять нагрузку на механизированную крепь, но только для очистной выработки в однородном изотропном массиве. При этом не затрагиваются вопросы надработки и подработки, сильно влияющие на величину коэффициента концентрации напряжений в зоне опорного давления впереди очистного забоя, а значит влияющие и на величину нагрузки, действующей на перекрытие механизированной крепи. Если первоначально действующее в кровле разрабатываемого угольного пласта давление определить решением задачи геомеханики для случая разработки свиты пластов в условиях надработки и подработки, определить коэффициенты концентрации напряжений с учетом наличия в исследуемой области целиков и краевых частей и ввести их в аналитические соотношения, приведенные в работе [54], то ими можно будет пользоваться при расчете рациональных параметров крепления кровли в очистных забоях в рассматриваемых горно-геологических условиях.

Исследованию закономерностей механических процессов, происходящих в массиве горных пород вокруг комплексно-механизированных очистных забоев, посвящены работы [56-59]. В них методом конечных элементов выполнена количественная оценка влияния на проявления горного давления таких факторов, как структура массива, физико-механические свойства пород, глубина разработки, мощность пласта и длина лавы. Однако в этих работах не рассматриваются свиты пластов.

Физическая сущность явлений, происходящих в массиве при отработке свиты пластов, раскрыта в работе А.А. Борисова [60]. В ней по результатам испытаний объемных моделей установлена конфигурация зон повышенного и пониженного напряжений в подстилающей толще в условиях надработки. Приводится качественная картина деформаций надрабатываемого пласта, акцентируется внимание на особенностях проявления горного давления под целиками и краевыми частями пластов. Рассмотрены также вопросы влияния подработки, в том числе на подготовительные выработки на верхнем пласте.

В работе О.В. Колоколова и Н.А. Лубенца [61] на основе шахтного эксперимента обоснованы границы допустимой подработки весьма сближенных пластов и определено рациональное место заложения подготовительной выработки для условий шахт Западного Донбасса.

Вопросу о взаимном влиянии сближенных крутых пластов на различных глубинах посвящены работы [62,63], в которых обобщаются данные натурных наблюдений, выполненных в шахтах Прокопьевско-Киселевского месторождения Кузбасса и Центрального Донбасса. Приведенные данные свидетельствуют о том, что степень вредного влияния опорного давления при разработке сближенных пластов возрастает с увеличением глубины разработки, причем, если на глубине 100...200 м ощутимое влияние опорного давления в случае наложения границ очистных работ наблюдалось при междупластьях 15...25 м, то на глубине 300...340 м завалы в очистных и подготовительных выработках имели место даже при мощностях междупластьев 50...60 м. Это говорит о том, что при обосновании параметров разработки свиты сближенных пластов в каждом конкретном случае напряженно-деформированное состояние

породного массива вокруг очистного забоя необходимо определять обязательно с учетом надработки и (или) подработки, а также с учетом возможного попадания очистного забоя в зону оставляемых целиков и краевых частей пластов. При этом следует как можно более полно отразить в расчетном алгоритме специфику рассматриваемых горно-геологических условий и горнотехнических ситуаций.

Картина распределения напряжений вокруг очистной выработки, без сомнения, зависит и от расстояния между очистными забоями по сближенным пластам. Различной она будет при надработке и подработке. Все эти аспекты должны быть в поле зрения исследователей при обосновании порядка отработки пластов в свите для конкретных горно-геологических условий. И тут нельзя обойтись лишь натурными наблюдениями. Необходимы соответствующие расчетные алгоритмы.

Один из таких алгоритмов разработан М.П. Зборщиком и В.В. Вишневецким [64]. Он позволяет определить распределение напряжений с учетом мощности пластов, расстояния между ними, жесткостных и прочностных свойств пород, а также с учетом относительного расположения выработанного пространства и порядка их отработки. Чтобы при вычислении прогибов в равной мере учесть влияющие факторы, авторы предусмотрели планирование математического эксперимента по методу латинского квадрата. Каждому из четырех определяющих факторов, – модулям упругости и сдвига породы междупластья, мощности междупластья и длине выработанного пространства, – задавались по 5 значений. Пределы их изменения предварительно обосновывались исходя из конкретных горно-геологических условий. Однако при этом не учитывались прочностные свойства породы и параметры самих угольных пластов, ни геометрические, ни физико-механические. Кроме того, расчетные схемы исследуемых областей массивов не содержали целиков, не изучалось влияние краевых частей пластов.

Влияние целиков и краевых частей вышерасположенных пластов на напряженно-деформированное состояние и устойчивость слоистой неоднородной кровли в лаве разрабатываемого пласта позволяет оценить расчетный алгоритм, разработанный В.В. Назимко, Ю.Б. Грядущим и М.И. Бугарой [65]. Авторы использовали его для обоснования параметров анкерного крепления кровли в области возможного вывалообразования в случае разработки свиты сближенных пластов в шахте “Южно-Донбасская” №1 в условиях надработки. Алгоритмом предусмотрено определение средневзвешенной прочности кровли в целом с учетом не только мощности и прочности отдельного слоя, но и его местоположения (вклад прочности каждого слоя обратно пропорционален расстоянию от его породного обнажения). Этим он отличается от традиционного метода расчета средневзвешенной прочности кровли. К сожалению, в работе нет каких-либо обобщающих зависимостей, а приводятся лишь данные одного конкретного расчета.

Вопрос о влиянии оставленных целиков и краевых частей на состояние кровли в очистных забоях смежных угольных пластов недостаточно изучен из-

за большого числа горно-геологических и горнотехнических факторов, влияющих на процессы формирования опорного давления на целиках и краевых частях и передачи повышенных напряжений через междупластье на кровлю очистных выработок. В указаниях по управлению кровлей в очистных забоях [66-68] выявлено влияние таких факторов, как глубина залегания пласта, на котором оставлен целик или краевая часть, его вынимаемая мощность, мощность пород междупластья, ширина целика.

Очевидно, что это далеко не все определяющие факторы. Например, свита может содержать более двух сближенных пластов, немаловажную роль играют также не учитываемые в упомянутых работах физико-механические свойства угля и вмещающих пород и т.п. Кроме того, многие выводы в работах [66-68] основываются на данных натуральных наблюдений и поэтому могут быть отнесены прежде всего к условиям Карагандинского, Печорского и Донецкого бассейнов, где в свое время велись экспериментальные исследования институтами ВНИМИ, ДонУГИ, КузнУГИ, ПечорНИИпроект и КНИУИ. Применение же данных рекомендаций в шахтах Львовского региона не вполне правомочно.

В работах [69-71] также обобщаются данные наблюдений за проявлениями горного давления под целиками и краевой частью пласта, проводившихся на шахтах ПО “Донецкуголь” в 1980–1981 годах. Методика наблюдений предусматривала получение сравнительных показателей в очистных забоях в предполагаемой зоне влияния и вне ее. В качестве таких показателей были приняты скорость опускания кровли, зависание ее за крепью, высота вывалов и отжим угля. Замечено, что в зоне повышенного горного давления скорость опускания кровли в период отсутствия влияния производственных процессов заметно увеличивается по сравнению со скоростью опускания вне зоны. В предполагаемой зоне разгрузки, примыкающей к зоне влияния, она в 1,5...2 раза меньше. В зоне повышенного горного давления отмечено также увеличение вывалообразований, причем высота отдельных вывалов достигала 0,8 м. тогда как вне зоны влияния она не превышала 0,1...0,2 м. Получен фактический угол влияния целика ( $\sim 84^{\circ}$ ). Наибольшие зависания кровли за крепью (не считая концевых участков лавы), равные одному шагу передвижки крепи, составили 0,5...0,7 м, а наибольшие значения глубины отжима в зоне разгрузки – 0,4...0,5 м.

Перечисленные количественные характеристики исследуемых параметров, а также приведенные в цитируемых работах графики скоростей опускания кровель и данные испытаний образцов пород на прочность, естественно, привязаны к определенным горно-геологическим и горнотехническим условиям.

С целью проверки и уточнения границ зон повышенного горного давления, определяемых на основе нормативных документов [72], натурные наблюдения были проведены на шахтах объединения Макеевуголь, Ленинскуголь, Челябинскуголь – ВНИМИ, Укрзападуголь – ЛГИ, Южкузбассуголь – КузнНИИ, Северокузбассуголь – ВостНИИ. В работе [73] в обобщенной форме приводятся выводы по результатам этих наблюдений. В них

отмечается, что для кровель любых классов в зонах повышенного горного давления скорости сближения боковых пород возрастают в очистных забоях в 2...5 раз. Значительное снижение устойчивости нижних слоев кровли в очистных забоях, работающих в зонах влияния опорного давления целиков и краевых частей, наблюдалось в основном для классов кровли по устойчивости, характеризующихся как неустойчивые и весьма неустойчивые. При этом высота вывалов возрастала в 3...10 раз, достигая всей мощности слоев неустойчивой породы (2...6 м и более). В меньшей степени влияние целиков и краевых частей сказывается на устойчивых и средней устойчивости породах нижних слоев кровли.

Признаком интенсивного проявления влияния целиков и краевых частей в очистных забоях (частичные или полные завалы лав, массовые зажатия, деформация и поломки крепи, высокие вывалы), свидетельствующим об аварийном состоянии очистных забоев в целом, может служить снижение скорости подвигания очистного забоя на 50% и более.

При анализе опытных данных маркшейдерской документации и натурных исследований установлено, что в ряде случаев влияние целиков и краевых частей на работу очистных забоев в сходных горно-геологических условиях (в пределах одного выемочного поля) проявляется по-разному. Причем различия бывают настолько значительными, что в одном случае влияние может проявиться интенсивно, а в другом остаться незамеченным. Это объясняется влиянием ряда факторов, осложняющих работу очистных забоев в зонах повышенного горного давления, таких, как работа крепи на нижнем пределе раздвижности, плохое техническое состояние гидросистемы механизированной крепи, длительные простои очистного забоя. Эти факторы способны не только резко усиливать влияние целиков и краевых частей, но и увеличивать протяженность их влияния [74].

Подобные явления наблюдались и на шахтах объединения Шахтерскуголь в процессе отработки пологих и наклонных пластов Алмазной, Каменной и Смоляниновской свит. Экспериментальными исследованиями установлено, что величины и скорости сближения боковых пород в зонах повышенного горного давления в 1,5...2 раза, а отжим угля в 1,7 раза больше, чем вне этих зон. Зона повышенного горного давления образуется впереди движущегося очистного забоя разрабатываемого пласта и у его стационарных границ, она распространяется в кровлю и почву пласта. В процессе отработки подвергаются многократным изменениям напряженно-деформированные состояния как отрабатываемого, так и смежных пластов. При этом происходят структурные изменения (разрыхление или уплотнение). При нагружении пласта в зоне опорного давления в условиях неравнокомпонентного трехосного сжатия наблюдается развитие внутренней трещиноватости. Интенсивность процесса трещинообразования тем выше, чем больше разница между нормальными составляющими тензора напряжений. Особо сложной является зона изгиба, расположенная между зонами повышенного горного давления и разгрузки. Это так называемая зона знакопеременных напряжений [75].

О характере структурных изменений, развитии трещиноватости или об

уплотнении четкое представление дают результаты стендовых испытаний и испытаний образцов угля на трехосное сжатие. В работе [76] установлено, что уменьшение бокового распора на границе зоны опорного давления и зоны разгрузки способствует нарушению исходной структуры угля за счет развития микродефектов. Наибольшую склонность к резкому (ударообразному) разрушению проявляют уголь и хрупкие породы (песчаники, песчаные аргиллиты, алевролиты) на границе зон опорного давления и разгрузки. Угольные пласты с повышенной влажностью проявляют некоторую пластичность.

Таким образом, при прогнозе возможного влияния целиков и краевых частей на работу очистных забоев по смежным угольным пластам необходимо, руководствуясь принятыми по нормативным документам границами зон влияния, в каждом отдельном случае учитывать особенности горно-геологических и горнотехнических условий разработки, способных существенно изменить характер и степень воздействия. Это касается, в первую очередь, разрабатываемых алгоритмов решения соответствующих задач геомеханики.

Существующие алгоритмы и методики расчета параметров систем разработки в большинстве своем используют численный метод конечных элементов (МКЭ). Применение МКЭ в горной геомеханике, в том числе при рассмотрении физически нелинейных сред, подробно описано в монографиях Б.З. Амусина, А.Б. Фадеева [77, 78], Ж.С. Ержанова, Т.Д. Каримбаева [79, 80], Ю.М. Либермана [81-83] и др. К этому направлению относятся и вышеупомянутые работы С.Н. Комиссарова.

О.В. Колоколов и Н.А. Лубенец в работе [84] методом конечных элементов с использованием модели упругопластической среды установили преимущества восходящего порядка отработки весьма сближенных пластов в условиях Западного Донбасса.

Следует заметить, что, несмотря на широкие возможности МКЭ в отношении учета структурной и физической неоднородности исследуемых объектов, использование его для анализа напряженно-деформированного состояния слоистых сред применительно к разработке свит сближенных угольных пластов нельзя признать рациональным, т. к. необходимо дискретизировать всю, достаточно большую, область массива. Формирование исходной системы уравнений и ее решение при этом требуют больших затрат машинного времени. Поэтому в последнее время все большее распространение находит другой численный метод – граничных элементов (МГЭ). Он предусматривает дискретизацию не всей области, а только ее границ, в связи с чем значительно сокращается время на подготовку входной информации и решение сформированной системы уравнений, чем обеспечивается возможность решения самых разнообразных и сложных задач геомеханики [85-93].

Методу граничных элементов отдается предпочтение и в диссертационной работе.

В задачах геомеханики важно не только установить картину напряженно-деформированного состояния в исследуемой области массива, но и выполнить его анализ с помощью того или иного критерия прочности пород. Чаще всего

считается, что действующие максимальные напряжения не должны превышать пределов прочности пород на сжатие или растяжение. Популярно у исследователей также условие прочности Мора с прямолинейной или криволинейной огибающей кругов [94]. К этому направлению относится известный критерий П.П. Баландина, в котором достаточно полно отражаются свойства среды, по-разному сопротивляющейся растяжению и сжатию [95, 111]. Таково специфическое свойство горных пород, поэтому в работе используется именно этот критерий. В итоге приходим к следующим выводам:

1) трудность получения достоверных физико-механических характеристик горных пород, их зависимость от напряженно-деформированного состояния, вынужденная идеализация сложных реальных горно-геологических условий не позволяет получать эффективных решений задач о проявлениях горного давления применительно к разработке свиты сближенных угольных пластов чисто аналитическим путем;

2) известные результаты натуральных и лабораторных экспериментов несопоставимы в различных горно-геологических и горнотехнических условиях;

3) существующие решения, полученные численными и экспериментально-аналитическими методами, чаще всего не содержат обобщающих зависимостей, отражают детерминированные условия и поэтому имеют ограниченную область применения;

4) обоснование параметров технологии разработки свиты сближенных пластов требует проведения тщательного анализа напряженно-деформированного состояния слоистого неоднородного массива в зонах повышенного и пониженного горного давления с учетом надработки и подработки; особого внимания требуют области, подверженные влиянию очистных забоев, целиков и краевых частей смежных пластов;

5) расчетные алгоритмы, создаваемые для определения напряжений и перемещений в вышеупомянутых областях, должны учитывать структуру и геометрические размеры исследуемой области массива, включая несущие элементы и зоны надработанных и (или) подработанных пород, физико-механические характеристики угля и междупластьев, глубину разработки, фактор времени и скорость подвигания очистного забоя.

Все это предопределило постановку сформулированных задач исследований.

#### **1.4. Общая методика выполнения исследований**

Для достижения поставленной цели и решения сформулированных задач были выполнены теоретические, прикладные и экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния неоднородного слоистого массива применительно к разработке свиты сближенных угольных пластов в сложных горно-геологических условиях. Структурная схема методики исследований представлена на рис. 1.2.

Теоретические исследования включали анализ горно-геологических и



горнотехнических условий, анализ существующих подходов к решению родственных задач, выбор метода определения и критерия оценки НДС исследуемой области массива, обоснование расчетных схем. Результатом теоретических исследований явился расчетный алгоритм, разработанный на основе метода граничных элементов (МГЭ) и аналитического решения В.Г. Гмошинского с использованием критерия П.П. Баландина.

В отличие от известных, разработанный алгоритм позволяет определять нагрузку на механизированную крепь при работе механизированных комплексов в зонах ПГД от целиков (краевых частей) смежных пластов в условиях подработки и надработки. При этом учитывается концентрация напряжений в области опорного давления впереди забоя и скорость подвигания лавы.

Прикладные исследования состоят в составлении вычислительной программы для реализации разработанного алгоритма и выполнении численного эксперимента. Суть численного эксперимента – в многократном повторении расчетов при различных значениях определяющих параметров и выполнении множественного корреляционного анализа результатов.

В конечном итоге были получены соотношения для определения максимальных коэффициентов концентрации напряжений  $\sigma_{yy}$  впереди очистного забоя по отношению к уровню  $\gamma H$  и максимальной конвергенции в лаве в зонах ПГД от целиков (краевых частей) смежных пластов в условиях надработки и подработки.

Установленные соотношения легли в основу разработанной методики расчета рациональных параметров технологии очистных работ.

Экспериментальные исследования включали составление программы и методики проведения шахтных наблюдений.

В соответствии с программой определялись усилия в гидростойках механизированной крепи при работе механизированных комплексов в зонах ПГД от целиков (краевых частей), конвергенция и скорость конвергенции пород в лаве, велись наблюдения за состоянием краевой части пласта и пород кровли, устанавливались частота, интенсивность и объем вывалообразований при различных скоростях подачи комбайна и подвигания лавы.

После статистической обработки экспериментальных данных и сравнения их с соответствующими теоретическими значениями были уточнены исходные данные к расчету, в частности, расчетные схемы перекрытия при работе крепи в зонах ПГД и вне этих зон и внесены соответствующие коррективы в методику расчета параметров технологии очистных работ.

По уточненной методике были определены рациональные параметры для условий шахт Львовского региона: сопротивления гидростоек механизированной крепи; скорость подачи комбайна; скорость подвигания лавы; допустимое расстояние между очистными забоями, работающими по смежным пластам.

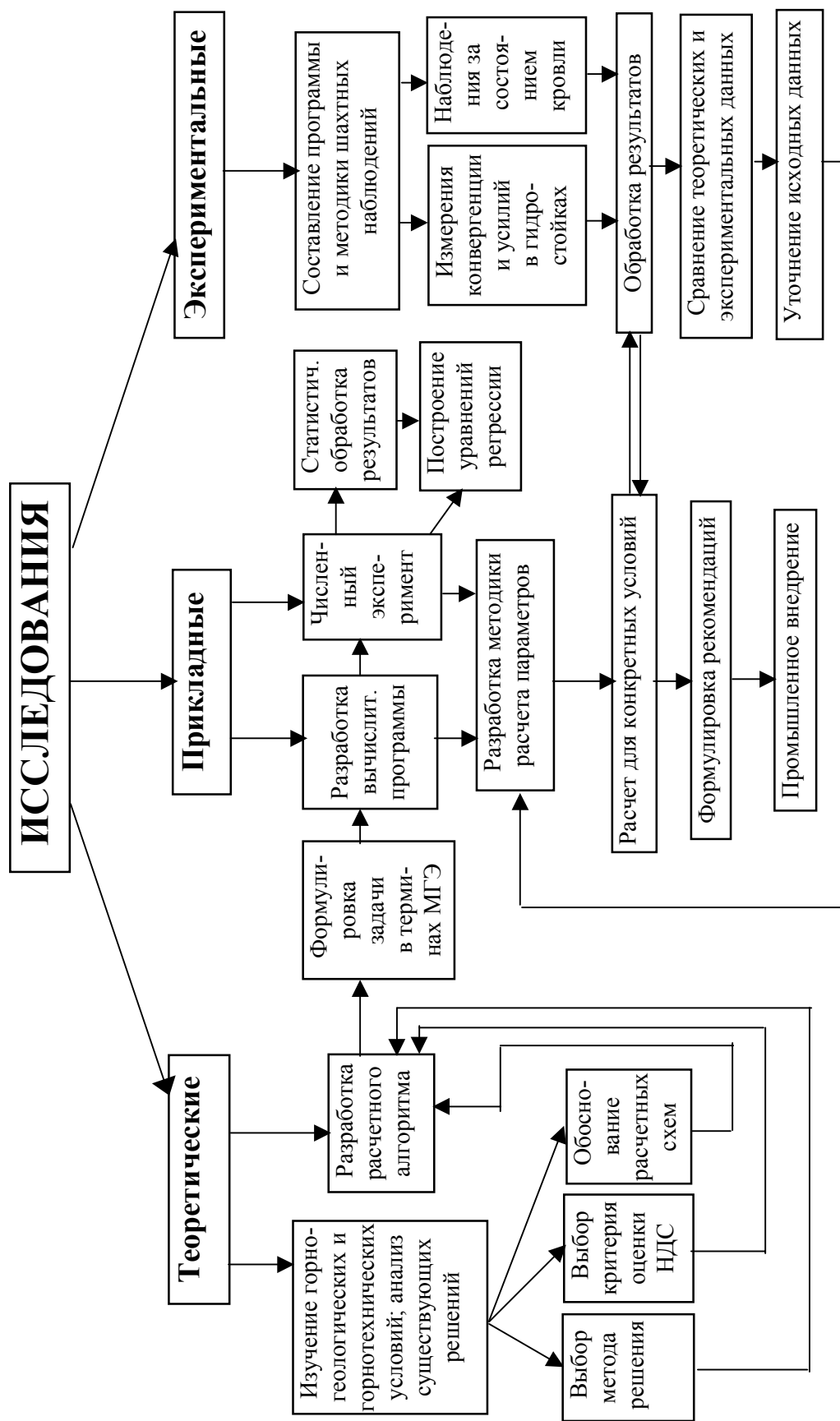


Рис. 1.2. - Структурная схема методики исследований

Исследования завершились формулировкой рекомендаций по параметрам системы разработки сближенных пластов в условиях Львовско-Волынского бассейна и внедрением их на шахтах ГП «Львовуголь».

## ГЛАВА 2. АЛГОРИТМ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕНИЙ И СМЕЩЕНИЙ В ПОРОДНОМ МАССИВЕ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К РАЗРАБОТКЕ СВИТЫ ПОЛОГИХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

### 2.1. Давление на кровлю угольного пласта в однородном массиве при неподвижном очистном забое

Изменение напряжений в кровле угольного пласта во времени для однородного пласта исследовано В.Г. Гмошинским и описано в работе [54]. Приведем те аналитические соотношения из этой работы, которые используются в разрабатываемом алгоритме численного решения сформулированных задач.

Для нормальных напряжений  $\sigma_y$  при неподвижном очистном забое имеет место формула

$$\sigma_y(t) = C e^{\frac{fx}{h\lambda}} + \left[ \gamma H \left( 1 + K e^{-\frac{2x}{l_1}} \right) - C e^{\frac{fx}{h\lambda}} \right] \cdot e^{-\frac{t}{T}}, \quad (2.1)$$

где  $C$  – сцепление угля, МПа;

$f = \operatorname{tg}\varphi$  - коэффициент трения угля по углю;

$\varphi$  - угол внутреннего трения угля;

$\lambda = \nu/(1-\nu)$  – коэффициент бокового отпора;

$\nu$  - коэффициент Пуассона угля;

$h = m/2$  – половина мощности угольного пласта, м;

$x$  – координата рассматриваемого сечения, отсчитываемая от линии очистного забоя в глубь массива, м;

$l_1$  – размер выработанного пространства вдоль оси  $Ox$ , не заполненного разрушенными породами, м;

$\gamma$  - плотность пород кровли, т/м<sup>3</sup>;

$H$  – глубина разработки, м;

$t$  – время, отсчитываемое от начала работы лавы, час.;

$T = 5...6$  час. – реологический коэффициент, характеризующий время релаксации напряжений при разрушении угля (установлен экспериментально в шахтных условиях В.Г. Гмошинским);

$K = (K_y)_{max} - 1$ ;

$(K_y)_{max}$  – максимальный коэффициент концентрации напряжений по отношению к уровню  $\gamma H$  впереди очистного забоя.

В работе [54] величина коэффициента  $(K_y)_{max}$  определяется приближенно, в зависимости от соотношения модулей упругости породы и угля, по эпюрам напряжений вокруг прямоугольной одиночной выработки в весомой однородной упругой среде [96,97].

В монографии коэффициенты концентрации напряжений устанавливаются в результате численного решения задачи геомеханики для неоднородного массива с учетом наличия в исследуемой области наработанных и подработанных пород, целиков и краевых частей сближенных угольных пластов. Созданный для этой цели алгоритм и используемые расчетные схемы описываются в последующих параграфах данного раздела.

Формула (2.1) получена исходя из наиболее общего дифференциального уравнения реологического состояния [55]

$$T \frac{d\sigma_t}{dt} + \sigma_t = E_y \varepsilon + \tilde{m} \frac{d\varepsilon}{dt}, \quad (2.2)$$

где  $E_y$  – модуль упругости угля;

$\varepsilon$  – относительная линейная деформация;

$\tilde{m}$  – вязкость угля.

Напряжение  $\sigma_t$ , входящее в уравнение (2.2), определяется равенством

$$\sigma_t = (\sigma_y - \sigma_{yp}) \cdot \psi(t) \quad (2.3)$$

Начальные упругие напряжения  $\sigma_y$  задаются соотношением

$$\sigma_y = \gamma H \left( 1 + K e^{-\frac{2x}{l_1}} \right), \quad (2.4)$$

где  $\sigma_{yp}$  – напряжения, в которые трансформируются напряжения  $\sigma_y$  за счет разрыхления угля (рис. 2.1).

Формула для их определения имеет вид

$$\sigma_{yp} = C e^{\frac{fx}{h\lambda}}. \quad (2.5)$$

Напряжения  $\sigma_t$  именуется в работе [54] горным давлением, «снимаемым» с пласта в связи с его частичным разрушением, а функция  $\psi(t)$  – функцией времени.

Формулы (2.4) и (2.5) для  $\sigma_y$  и  $\sigma_{yp}$  получаются из решения дифференциального уравнения предельного равновесия элементарного участка  $dx$  угольного пласта, отстоящего от кромки забоя на расстоянии  $x$ , при условии:  $x = 0$ ,  $\sigma_{yp} = C$  (на кромке пласта напряжение  $\sigma_{yp}$  равно сцеплению угля).

Функция времени  $\psi(t)$  находится путем следующих рассуждений.

При  $T \neq 0$  и  $\frac{d\varepsilon}{dt} = 0$  (хрупкое разрушение материала) уравнение реологического состояния (2.2) принимает вид

$$T \frac{d\sigma_t}{dt} + \sigma_t = E_y \varepsilon. \quad (2.6)$$

Понимая под  $\varepsilon$  полную относительную деформацию, соответствующую трансформации напряжений  $\sigma_y$  в  $\sigma_{yp}$ , получим равенство

$$E_y \varepsilon = \sigma_y - \sigma_{yp} = \sigma_0.$$

Тогда уравнение (2.6) запишется так:

$$T \frac{d\sigma_t}{dt} + \sigma_t = \sigma_0. \quad (2.7)$$

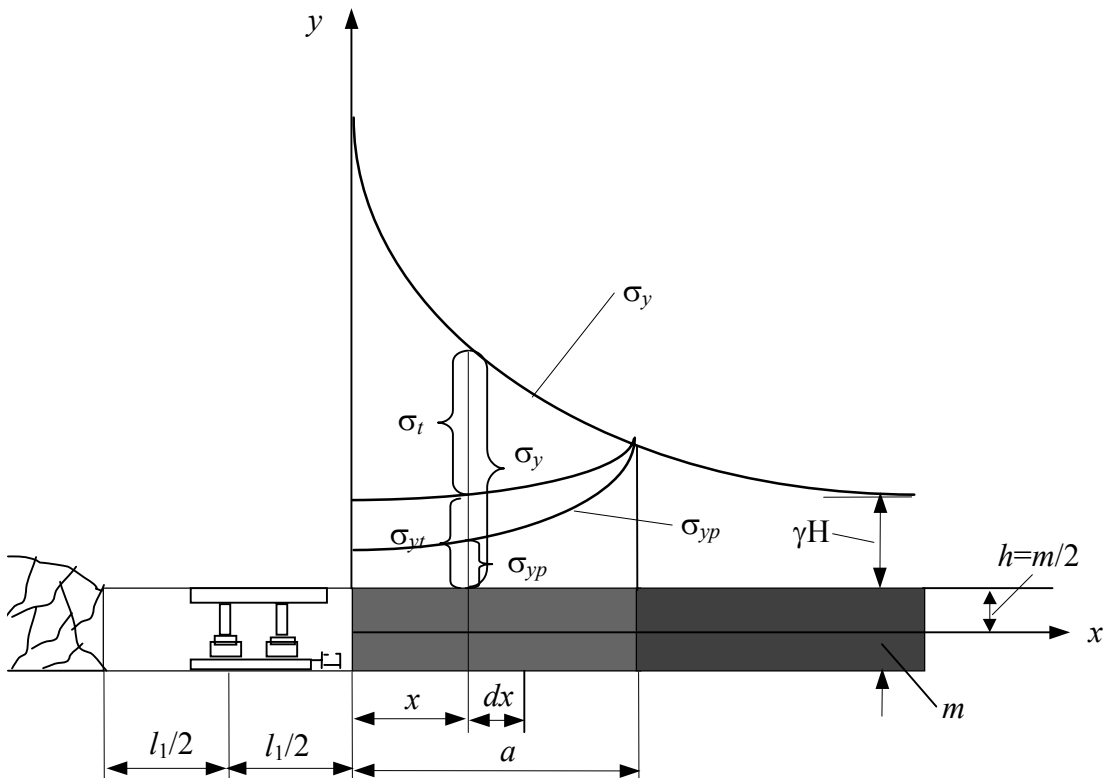


Рис. 2.1. - Кривая опорного давления впереди очистного забоя.  
 $a$  – длина зоны разрушенного угля;  
 $l_1$  – размер выработанного пространства вдоль оси  $Ox$ .

Общее решение дифференциального уравнения (2.7) имеет вид

$$\sigma_t = e^{-\frac{t}{T}} \left( \sigma_0 e^{\frac{t}{T}} - C_1 \right).$$

Из начального условия  $t = 0$ ,  $\sigma_t = 0$  следует, что произвольная постоянная  $C_1 = \sigma_0$ .

С учетом этого определяется частное решение дифференциального уравнения (2.7)

$$\sigma_t = \sigma_0 \left( 1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) = (\sigma_y - \sigma_{yp}) \left( 1 - e^{-\frac{t}{T}} \right). \quad (2.8)$$

Сравнивая (2.3) и (2.8), получим выражение для функции времени

$$\psi(t) = 1 - e^{-\frac{t}{T}}. \quad (2.9)$$

Изменение горного давления во времени в связи с частичным разрушением угля в зоне  $a$  (рис. 2.1) можно представить в виде

$$\sigma_y(t) = \sigma_y - \sigma_t$$

или с учетом выражения (2.8), в виде

$$\sigma_y(t) = \sigma_y - (\sigma_y - \sigma_{yp}) \left( 1 - e^{-\frac{t}{T}} \right). \quad (2.10)$$

После подстановки в это соотношение выражений для  $\sigma_y$  и  $\sigma_{yp}$  согласно формулам (2.4) и (2.5) получается формула (2.1), которая дает весь спектр кривых (рис. 2.1) изменения горного давления во времени от вскрытия пласта ( $t = 0$ ) до полной стабилизации давлений, теоретически соответствующей времени  $t = \infty$ , и в любой промежуток времени  $0 \leq t < \infty$  в интервале  $0 \leq x \leq a$ .

Размер  $a$  зоны разрушения (отжима) угля в работе [54] находится приближенно с учетом глубины разработки, мощности угольного пласта и его физико-механических характеристик  $f$ ,  $C$  и  $v$  с использованием коэффициента концентрации по А.Н. Диннику и Г.Н. Савину. В диссертации  $a$  – это расстояние, которое измеряется вглубь массива от линии очистного забоя до максимума опорного давления и определяется в результате решения плоской задачи геомеханики для свиты сближенных угольных пластов с учетом надработки и подработки.

Подставляя в уравнение (2.8) вместо  $\sigma_y$  и  $\sigma_{yp}$  выражения (2.4) и (2.5), будем иметь:

$$\sigma_t = \left[ \gamma H \left( 1 + Ke^{-\frac{2x}{l_1}} \right) - Ce^{\frac{fx}{h\lambda}} \right] \cdot \left( 1 - e^{-\frac{t}{T}} \right). \quad (2.11)$$

Чтобы получить формулу для определения величины давления  $P(t)$ , которое «снимается» с пласта вследствие частичной потери углем несущей способности и является функцией времени, проинтегрируем соотношение (2.11) по переменной  $x$  в пределах от 0 до  $a$ :

$$P(t) = \int_0^a \sigma_t dx = (1 - e^{-t/T}) \int_0^a (\sigma_y - \sigma_{yp}) dx =$$

$$= \left\{ \gamma H \left[ \frac{l_1}{2} K e^{-2a/l_1} - \frac{l_1}{2} K - a \right] + \frac{h\lambda C}{f} (e^{fa/h\lambda} - 1) \right\} (1 - e^{-t/T}). \quad (2.12)$$

Как показали шахтные наблюдения, большая часть давления  $P(t)$  (около 97%) воспринимается угольным целиком и породным массивом [107] и только  $q(t) = 0,03P(t)$  передается на механизированную крепь в виде дополнительной нагрузки.

Суммарная нагрузка на механизированную крепь получается сложением величины  $q(t)$  с тем давлением  $P_0$ , которое создается породами, непосредственно взаимодействующими с крепью при образовании в массиве очистной выработки. Последнее определяется методом граничных элементов с помощью разработанного алгоритма.

Методике расчета действующей нагрузки и определения соответствующих отпоров гидростоек механизированной крепи посвящен отдельный параграф данного раздела.

## 2.2. Давление на угольный пласт в однородном массиве при движущемся забое

В случае движущегося забоя разрушение угля и соответствующая трансформация напряжений происходят одновременно. Перемещение линии забоя схематически показано на рис. 2.2.

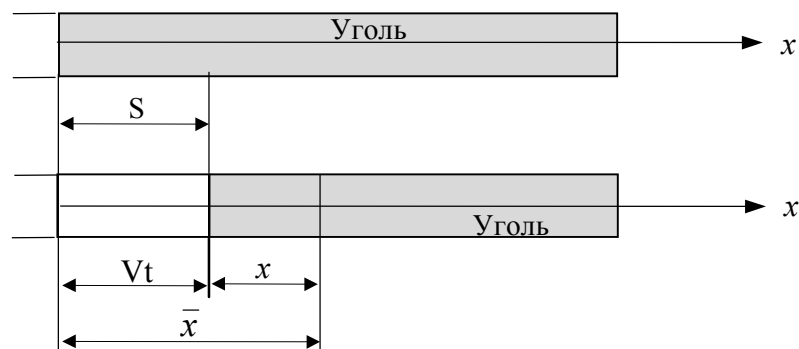


Рис. 2.2. - Схема перемещения очистного забоя

Непосредственно из этого рисунка следует, что

$$\bar{x} = Vt + x,$$

где  $\bar{x}$  – по-прежнему расстояние от кромки забоя до данной точки;

$V$  – скорость подвигания забоя, м/час;

$t$  – время, час.



Из этого соотношения получаем  $t = \frac{\bar{x} - x}{V}$ .

Заметим, что разность  $\bar{x} - x$  есть полоса угля, обрабатываемая за время  $t$  при скорости подвигания лавы  $V$ . Обозначим размер этой полосы через  $S$ , тогда

$$t = \frac{S}{V}. \quad (2.13)$$

Следовательно, если лава продвигается вперед на расстояние  $x$ , то соответствующая трансформация напряжений произойдет за время  $t$ . Внося вместо  $t$  его значение из (2.13) в выражение (2.1), получим формулу, характеризующую изменение горного давления в кровле в зависимости от скорости перемещения линии очистного забоя:

$$\sigma_y(V) = Ce^{\frac{fx}{h\lambda}} + \left[ \gamma H \left( 1 + Ke^{-\frac{2x}{l_1}} \right) - Ce^{\frac{fx}{h\lambda}} \right] \cdot e^{-\frac{S}{VT}}. \quad (2.14)$$

В частности, на кромке забоя при  $x = 0$  из (2.14) имеем

$$\sigma_y(V) \Big|_{x=0} = C + [\gamma H(1 + K) - C] \cdot e^{-\frac{S}{VT}}. \quad (2.15)$$

Давление, которое “снимается” с пласта при движущемся забое найдем из выражения (2.12), подставив в него  $t$  из формулы (2.13):

$$P(V) = \left\{ \gamma H \left[ \frac{Kl_1}{2} e^{-2a/l_1} - \frac{Kl_1}{2} - a \right] + \frac{h\lambda C}{f} \left( e^{fa/h\lambda} - 1 \right) \right\} \left( 1 - e^{-S/VT} \right). \quad (2.16)$$

Механизм разрушения угля во времени в соответствии с уравнениями (2.1) и (2.12) можно объяснить следующим образом. Попутно с продвижением выработки происходит частичное разрушение угля, выражающееся в отслоении угля по плоскости кливажа и смещении в сторону выработки. При отработке очередной полосы процесс разрушения идет сравнительно быстро, а затем постепенно затухает. Одновременно с разрушением угля горное давление впереди забоя падает.

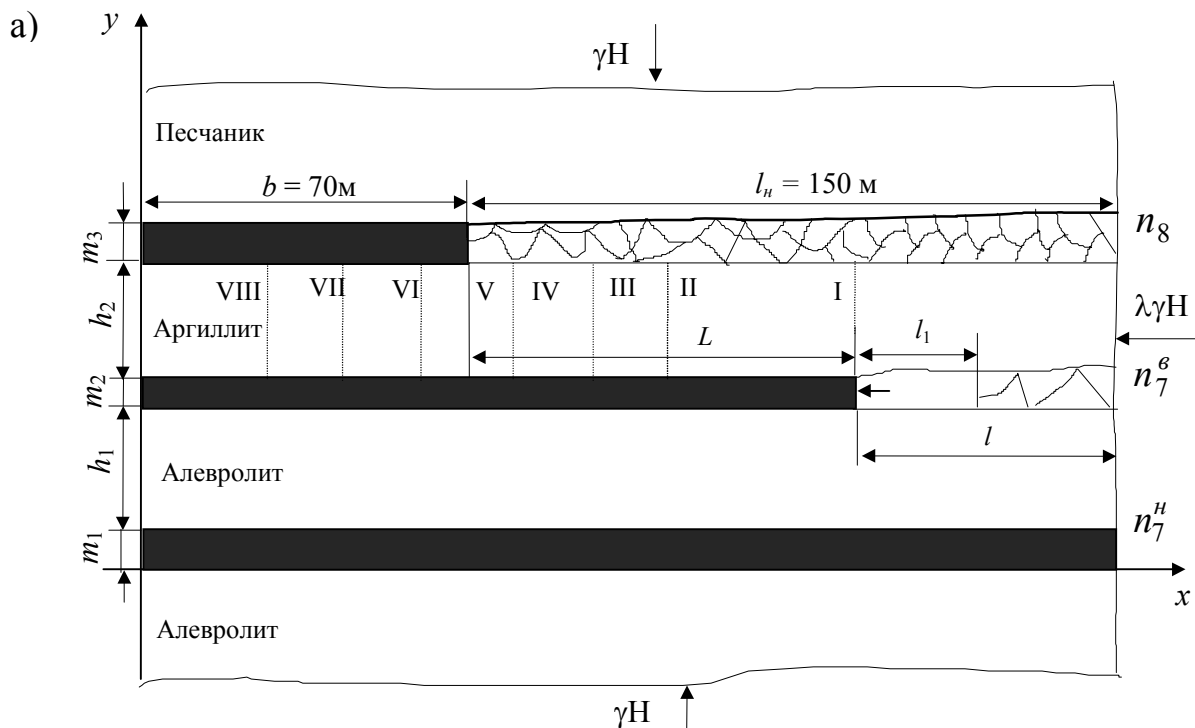
Разрушение угля приводит к возникновению необратимых деформаций, так называемому отжиму угля. Разрушение угля, а значит и отжим, будут максимальными на поверхности забоя, т.е. как раз там, где разность напряжений  $\sigma_y$  и  $\sigma_{yp}$  наибольшая (рис. 2.1). В центре зоны опорного давления (в сечении  $x = a$ ) разрушение угля практически не происходит и отжим равен нулю.

Когда процесс разрушения угля заканчивается, то прекращается отжим, а одновременно и падение напряжений в зоне разрушения.

### 2.3. Расчетные схемы для определения коэффициентов концентрации напряжений в слоистом неоднородном массиве и нагрузки на механизированную крепь

Величины и характер распределения напряжений и перемещений в породном массиве при выемке свиты пластов зависят от целого ряда факторов, основными из которых являются мощность угольных пластов и междупластьев, физико-механические свойства угля и вмещающих пород, глубина разработки, наличие в исследуемой области надработанных, подработанных пород, целиков и краевых частей пластов. Все эти факторы должны быть учтены в алгоритме определения коэффициентов концентрации напряжений, а значит, по возможности, должны найти отражение в расчетных схемах. Две такие схемы, типичные для условий шахт ГП “Львовуголь”, изображены на рис. 2.3. Они включают пласты  $n_7^H$ ,  $n_7^6$  и  $n_8$ .

Очистные работы ведутся по пласту  $n_7^6$  мощностью  $m = 0,6...0,7$  м на глубине  $H = 520$  м. Мощности  $m_1$  и  $m_3$  пластов  $n_7^H$  и  $n_8$  соответственно равны  $1,3...1,6$  м и  $1,4...1,6$  м, а мощности междупластьев  $h_1$  и  $h_2$  изменяются в пределах  $12...16$  м и  $9...12$  м. Данные схемы позволяют исследовать состояние почвы и кровли пласта  $n_7^6$  при подходе очистных работ к краевой части вышерасположенного пласта  $n_8$  (условия надработки, рис. 2.3 а) и ниже-расположенного  $n_7^H$  (условия подработки, рис. 2.3 б).



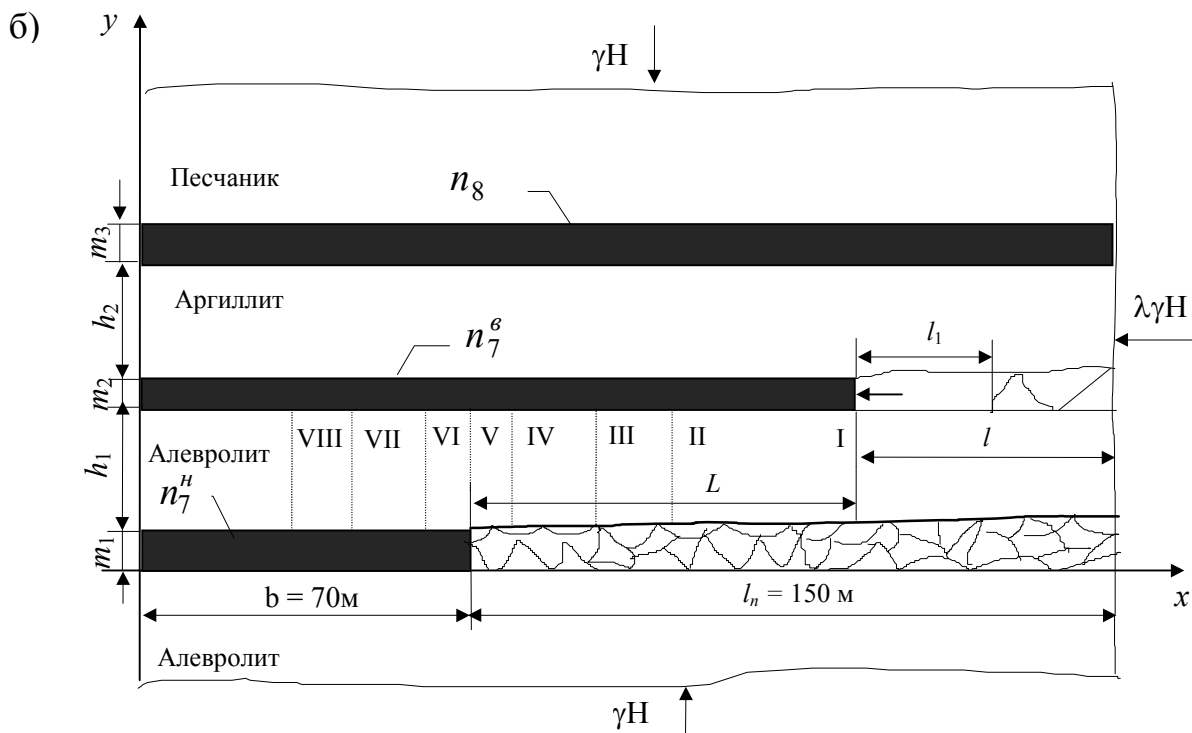


Рис. 2.3. - Расчетные схемы при движении лавы на краевую часть смежного пласта:

- а) работа по пласту  $n_7^6$  в условиях надработки;
- б) работа по пласту  $n_7^6$  в условиях подработки.

Предполагается выполнение расчетов при различных значениях расстояния от очистного забоя по разрабатываемому пласту  $n_7^6$  до краевой части вышерасположенного пласта  $n_8$  или до краевой части нижерасположенного пласта  $n_7^H$  (положения I–VIII на рис. 2.3 а и 2.3 б). Для выяснения наиболее рационального направления ведения очистных работ, кроме случаев подходов лав к краевым частям смежных пластов и работы в зонах этих краевых частей, рассматривались еще и случаи выхода лав из-под краевых частей смежных пластов (рис. 2.4 а, б, положения очистного забоя I–VI).

Расчетные схемы, изображенные на рис. 2.5, предназначены для оценки влияния целика на напряженно-деформированное состояние кровли и почвы разрабатываемого пласта в случаях, когда целик находится над пластом (рис. 2.5 а) и под пластом (рис. 2.5 б).

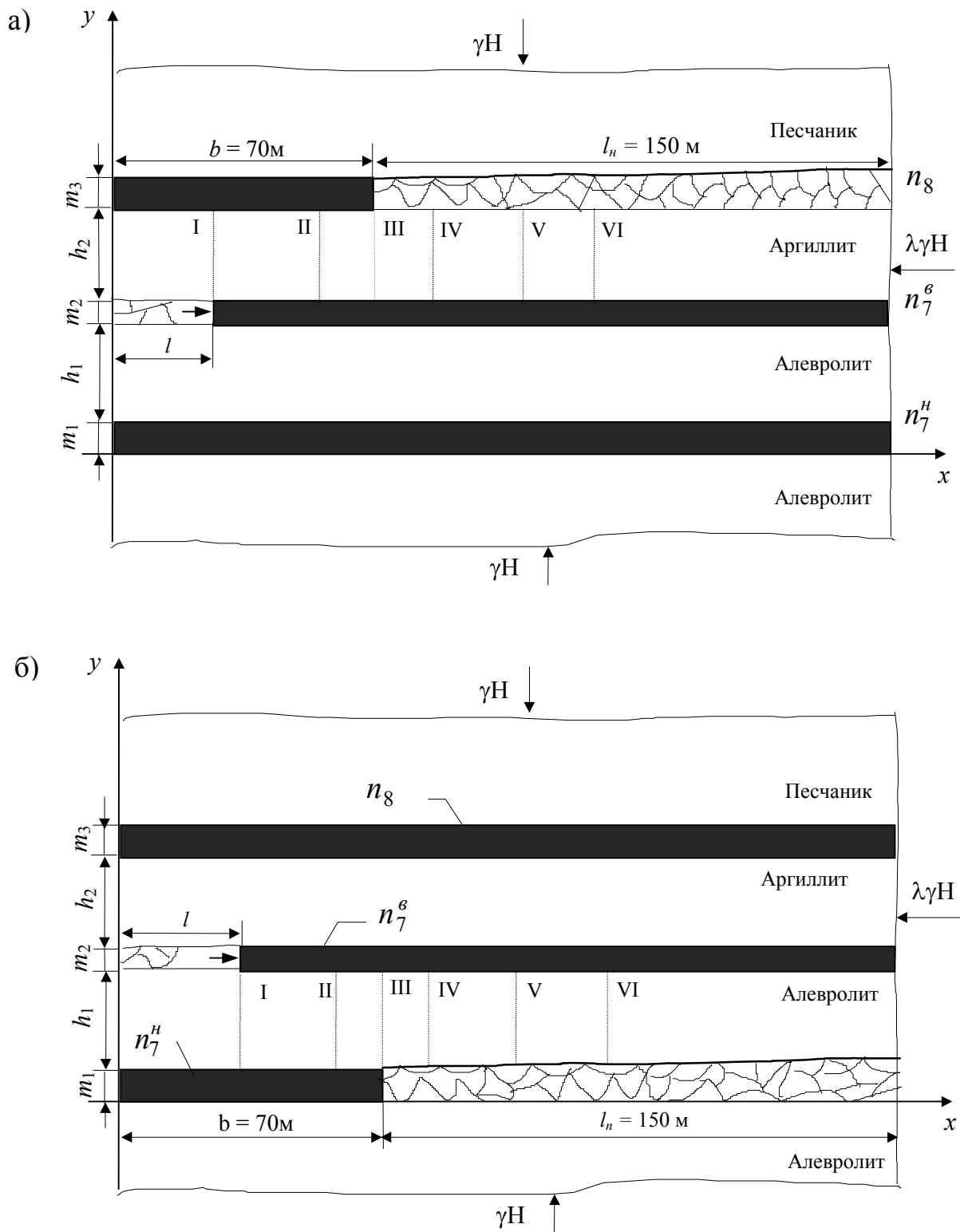


Рис. 2.4. - Расчетные схемы при выходе лавы из зоны краевой части смежного пласта:

а) работа по пласту  $n_7^E$  в условиях надработки;

б) работа по пласту  $n_7^E$  в условиях подработки.

В работе напряженно-деформированное состояние исследуемой области массива анализируется при различных взаимных расстояниях очистного забоя и целика: на подходе забоя к границе целика (положение I), линия забоя совпадает с границей целика (положение II), линия забоя совпадает со средним сечением целика (положение III), забой под второй границей целика (положение IV) и забой за целиком (положение V).

Действующая нагрузка во всех описанных расчетных схемах – вес пород: в вертикальном направлении на бесконечности –  $\gamma H$ , а в горизонтальном –  $\lambda\gamma H$ . Оценка устойчивости кровли и почвы разрабатываемых пластов выполняется по критерию П.П. Баландина [95], который имеет вид

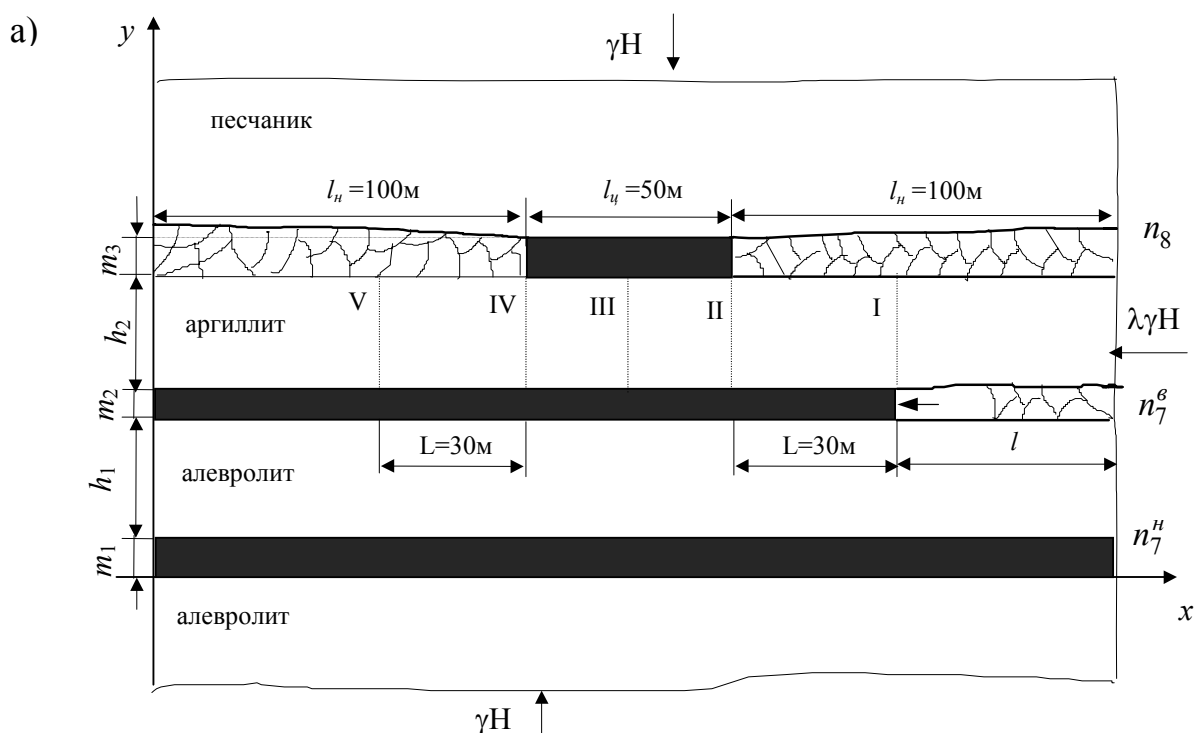
$$\sigma_{экв} = \frac{(1-\psi)(\sigma_1 + \sigma_3) + \sqrt{(1-\psi)^2(\sigma_1 + \sigma_3)^2 + 4\psi(\sigma_1^2 + \sigma_3^2)}}{2} \leq [\sigma], \quad (2.17)$$

где  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  – наибольшее и наименьшее главные напряжения, МПа;

$$\psi = \sigma_p / \sigma_c;$$

$\sigma_p$  и  $\sigma_c$  – пределы прочности породы на растяжение и сжатие, МПа;

$[\sigma]$  – допустимое напряжение, равное  $\bar{\sigma}_p / k_3$  в зонах растяжения и  $\bar{\sigma}_c / k_3$  в зонах сжатия ( $\bar{\sigma}_p$  и  $\bar{\sigma}_c$  – средние значения пределов прочности пород на растяжение и сжатие, данные табл. 1.1 а  $k_3$  – коэффициент запаса прочности).





совместности деформаций в элементах смежных контуров «кровля–целики» и «целики–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.

Поясним методику формирования исходной системы уравнений на примере выработки произвольной формы [89, с.66-70]. 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

$$\left. \begin{aligned} u_n^i &= \sum_{j=1}^N B_{ns}^{ij} P_s^j + \sum_{j=1}^N B_{nn}^{ij} P_n^j \\ u_s^i &= \sum_{j=1}^N B_{ss}^{ij} P_s^j + \sum_{j=1}^N B_{sn}^{ij} P_n^j \end{aligned} \right\} \quad (2.18)$$

Соотношения для соответствующих напряжений  $i$ -го элемента имеют вид

$$\left. \begin{aligned} \sigma_n^i &= \sum_{j=1}^N A_{ns}^{ij} P_s^j + \sum_{j=1}^N A_{nn}^{ij} P_n^j \\ \sigma_s^i &= \sum_{j=1}^N A_{ss}^{ij} P_s^j + \sum_{j=1}^N A_{sn}^{ij} P_n^j \end{aligned} \right\} \quad (2.19)$$

В соотношениях (2.18) и (2.19)  $N$  - 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 [88, 110]

$$B_{ss}^{ij} = \frac{1}{2G} [(3 - 4\nu) \cos \gamma \bar{F}_1 - \bar{y} (\sin \gamma \bar{F}_2 - \cos \gamma \bar{F}_3)],$$

$$\begin{aligned}
B_{sn}^{ij} &= \frac{1}{2G} \left[ (3 - 4\nu) \sin \gamma \bar{F}_1 - \bar{y} (\cos \gamma \bar{F}_2 + \sin \gamma \bar{F}_3) \right], \\
B_{ns}^{ij} &= \frac{1}{2G} \left[ - (3 - 4\nu) \sin \gamma \bar{F}_1 - \bar{y} (\cos \gamma \bar{F}_2 + \sin \gamma \bar{F}_3) \right], \\
B_{nn}^{ij} &= \frac{1}{2G} \left[ (3 - 4\nu) \cos \gamma \bar{F}_1 + \bar{y} (\sin \gamma \bar{F}_2 - \cos \gamma \bar{F}_3) \right], \\
A_{ss}^{ij} &= -2(1 - \nu) (\sin 2\gamma \bar{F}_2 - \cos 2\gamma \bar{F}_3) - \bar{y} (\sin 2\gamma \bar{F}_4 + \cos 2\gamma \bar{F}_5), \\
A_{sn}^{ij} &= (1 - 2\nu) (\cos 2\gamma \bar{F}_2 + \sin 2\gamma \bar{F}_3) - \bar{y} (\cos 2\gamma \bar{F}_4 - \sin 2\gamma \bar{F}_5), \\
A_{ns}^{ij} &= \bar{F}_2 - 2(1 - \nu) (\cos 2\gamma \bar{F}_2 + \sin 2\gamma \bar{F}_3) - \bar{y} (\cos 2\gamma \bar{F}_4 - \sin 2\gamma \bar{F}_5), \\
A_{nn}^{ij} &= \bar{F}_3 - (1 - 2\nu) (\sin 2\gamma \bar{F}_2 - \cos 2\gamma \bar{F}_3) + \bar{y} (\sin 2\gamma \bar{F}_4 + \cos 2\gamma \bar{F}_5)
\end{aligned} \tag{2.20}$$

В формулах (2.19) и (2.20):

$G$  – 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;

$$\begin{aligned}
f(\bar{x}, \bar{y}) &= -\frac{1}{4\pi(1 - \nu)} \left[ \bar{y} \left( \arctg \frac{\bar{y}}{\bar{x} - a^j} - \arctg \frac{\bar{y}}{\bar{x} + a^j} \right) - \right. \\
&\quad \left. - (\bar{x} - a^j) \ln \sqrt{(\bar{x} - a^j)^2 + \bar{y}^2} + (\bar{x} + a^j) \ln \sqrt{(\bar{x} + a^j)^2 + \bar{y}^2} \right] -
\end{aligned}$$

функция, характеризующая влияние фиктивных нагрузок, приложенных к  $j$ -му элементу на напряжения и смещения  $i$ -го элемента;

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

$\gamma = \beta^i - \beta^j$  – 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.

$$\begin{aligned}
\bar{x} &= (\bar{x}^i - \bar{x}^j) \cos \beta^j + (\bar{y}^i - \bar{y}^j) \sin \beta^j \\
\bar{y} &= -(\bar{x}^i - \bar{x}^j) \sin \beta^j + (\bar{y}^i - \bar{y}^j) \cos \beta^j
\end{aligned} \tag{2.21}$$

Формулы (2.21) 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 (2.19) и (2.20), если в них положить  $\bar{x} = \bar{y} = \gamma = 0$ , и имеют вид

$$\begin{aligned}
 B_{sn}^{ij} = B_{ns}^{ii} = 0; \quad B_{ss}^{ii} = B_{nn}^{ii} &= -\frac{3-4\nu}{4\pi G(1-\nu)} a^i \ln a^i; \\
 A_{sn}^{ii} = A_{ns}^{ii} = 0; \quad A_{ss}^{ii} = A_{nn}^{ii} &= \frac{1}{2}; \\
 A_{ts}^{ii} = A_{tn}^{ii} = 0; \quad A_{tt}^{ii} &= \frac{1}{2} \cdot \frac{\nu}{1-\nu}; \quad \bar{y} = 0 \pm.
 \end{aligned} \tag{2.22}$$

## 2.5. Построение исходной системы уравнений

Рассмотрим формирование исходной системы уравнений для расчета компонент «фиктивных» нагрузок  $P_n^i$  и  $P_s^i$  на примере расчетной схемы, изображенной на рис. 2.3 б). Она включает шесть областей:  $C_1$  – породный массив в почве пласта  $n_7^H$ ;  $C_2$  – краевая часть угольного пласта  $n_7^H$ ;  $C_3$  – отработанная область, заполненная обрушенными породами;  $C_4$  – междупластье;  $C_5$  – угольный пласт  $n_7^6$ ;  $C_6$  – кровля пласта  $n_7^6$ . Границы областей  $C_\kappa$  ( $\kappa = \overline{1, 6}$ ) аппроксимируются соответственно  $N_\kappa$  элементами. В нашем случае  $N_1 = 44$ ,  $N_2 = 29$ ,  $N_3 = 61$ ,  $N_4 = 154$ ,  $N_5 = 131$ ,  $N_6 = 110$ . Тогда  $N = \sum_{\kappa} N_\kappa = 529$ . Номера

элементов и направления обхода границ областей для рассматриваемой схемы указаны на рис. 2.6. Смежные контуры на этом рисунке условно раздвинуты.

В общем виде исходная система алгебраических уравнений с  $2N$  неизвестными компонентами «фиктивных» нагрузок, которая представляет собой заданные граничные условия на свободных контурах исследуемых областей и условия совместности деформаций – на смежных, имеет вид:

$$\left. \begin{aligned}
 \sum_{j=1}^N C_{ss}^{i,j} P_s^j + \sum_{j=1}^N C_{sn}^{i,j} P_n^j &= b_s^i \\
 \sum_{j=1}^N C_{ns}^{i,j} P_s^j + \sum_{j=1}^N C_{nn}^{i,j} P_n^j &= b_n^i
 \end{aligned} \right\}_{i=1,2,\dots,N} \tag{2.23}$$

Граничные условия  $b_s^i$ ,  $b_n^i$  и коэффициенты  $C_{ss}^{ij}$ ,  $C_{sn}^{ij}$ ,  $C_{ns}^{ij}$ ,  $C_{nn}^{ij}$  определяются следующим образом.

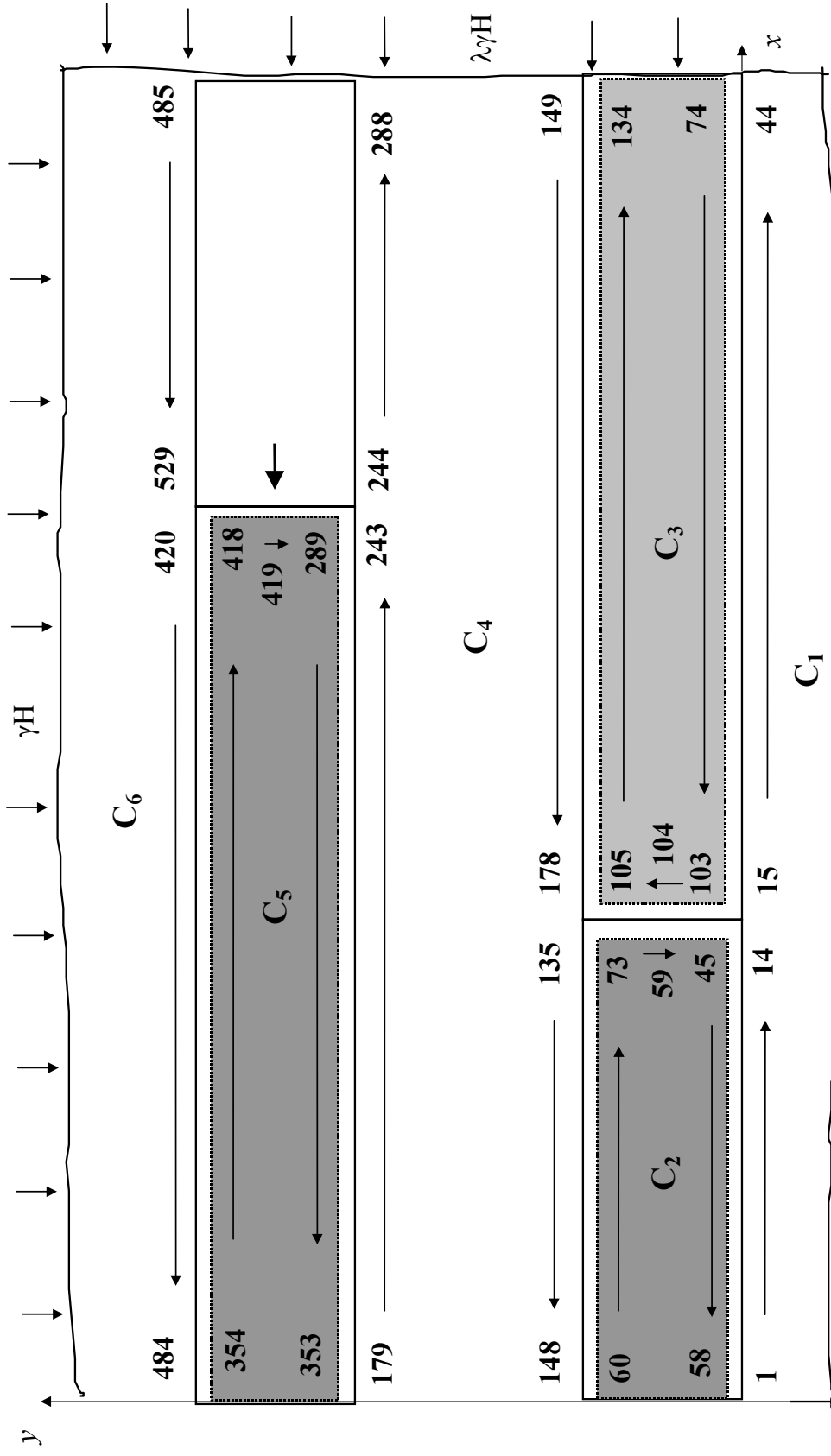


Рис. 2.6. - Конечно-элементная аппроксимация границ

а) Если  $i$ -й элемент лежит на свободном контуре областей  $C_k$  ( $k = \overline{1, 6}$ ), то

$$\begin{aligned}
 & b_s^i = (\sigma_s^i)_0^\infty, \quad b_n^i = (\sigma_n^i)_0^\infty, \\
 C_{ss}^{i,j} = & \begin{cases} A_{ss}^{i,j}, & \text{если } j\text{-й элемент принадлежит} \\ & \text{контур области } C_k \\ 0, & \text{если } j\text{-й элемент не принадлежит} \\ & \text{контур области } C_k \end{cases} \\
 C_{sn}^{i,j} = & \begin{cases} A_{sn}^{i,j}, & \text{если } j\text{-й элемент принадлежит} \\ & \text{контур области } C_k \\ 0, & \text{если } j\text{-й элемент не принадлежит} \\ & \text{контур области } C_k \end{cases}
 \end{aligned} \tag{2.24}$$

$$C_{ns}^{i,j} = \begin{cases} A_{ns}^{i,j}, & \text{если } j\text{-й элемент принадлежит} \\ & \text{контур области } C_k \\ 0, & \text{если } j\text{-й элемент не принадлежит} \\ & \text{контур области } C_k \end{cases}$$

$$C_{nn}^{i,j} = \begin{cases} A_{nn}^{i,j}, & \text{если } j\text{-й элемент принадлежит} \\ & \text{контур области } C_k \\ 0, & \text{если } j\text{-й элемент не принадлежит} \\ & \text{контур области } C_k \end{cases}$$

б) Если  $i$  и  $i^*$  - номера контактирующих элементов, принадлежащих различным областям, то с учетом условий совместности деформаций, заданных в напряжениях (смежный контур области  $C_k$ ), и в перемещениях (смежный контур области  $C_l$ ) при  $k > l$  имеем соответственно:

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

$$C_{ss}^{i,j} = \begin{cases} A_{ss}^{i,j[k]}, & j - \text{й элемент принадлежит} \\ & \text{контуру } C_k \\ -A_{ss}^{i^*,j[l]}, & j - \text{й элемент принадлежит} \\ & \text{контуру } C_l \end{cases}, \quad (2.25)$$

аналогично для коэффициентов  $C_{sn}^{i,j}$ ,  $C_{ns}^{i,j}$ ,  $C_{nn}^{i,j}$ .

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

$$C_{ss}^{i,j} = \begin{cases} B_{ss}^{i^*,j[k]}, & j - \text{й элемент принадлежит} \\ & \text{контуру } C_k \\ B_{ss}^{i,j[l]}, & j - \text{й элемент принадлежит} \\ & \text{контуру } C_l \end{cases} \quad (2.26)$$

и т.д. для коэффициентов  $C_{sn}^{i,j}$ ,  $C_{ns}^{i,j}$ ,  $C_{nn}^{i,j}$ .

Например, для контуров  $C_1$  и  $C_2$  на рис. 2.6 получим для  $1 \leq i \leq 14$ ,  $i^* = 58, 57, \dots, 45$

$$b_s^i = \sigma_s^{i[1]} - \sigma_s^{i^*[2]} = 0; \quad b_n^i = \sigma_n^{i[1]} - \sigma_n^{i^*[2]} = 0;$$

$$C_{ss}^{i,j} = \begin{cases} A_{ss}^{i,j[1]}, & j \leq 14 \\ -A_{ss}^{i^*,j[2]}, & 45 \leq j \leq 73 \end{cases}$$

и т.д. для коэффициентов  $C_{sn}^{i,j}$ ,  $C_{ns}^{i,j}$ ,  $C_{nn}^{i,j}$ .

Для  $45 \leq i \leq 58$ ,  $i^* = 14, 13, \dots, 1$

$$b_s^i = u_s^{i[2]} + u_s^{i^*[1]} = 0; \quad b_n^i = u_n^{i[2]} + u_n^{i^*[1]} = 0;$$

$$C_{ss}^{i,j} = \begin{cases} B_{ss}^{i^*,j[1]}, & j \leq 14 \\ B_{ss}^{i,j[2]}, & 45 \leq j \leq 73 \end{cases} \quad \text{и т.д.}$$

Решая полученную таким образом систему  $2N$  линейных алгебраических уравнений (2.10), находим силы  $P_s^i$  и  $P_n^i$ , а затем согласно принципу суперпозиции по формулам (2.18) и (2.19) - смещения и напряжения в любой точке исследуемой области массива.

## 2.6. Коэффициенты концентрации напряжений в окрестности очистной выработки при разработке свиты пластов

Степень влияния надрботки и подработки на напряженно-деформированное состояние массива при выемке свиты пологих угольных пластов в условиях шахт ГП «Львовуголь» оценивалась по величинам максимальных коэффициентов концентрации  $K_y$  в кровле и почве разрабатываемого пласта в зонах влияния целиков и краевых частей сближенных пластов.

Расчеты производились с помощью вышеописанного алгоритма по схемам, изображенным на рисунках 2.3, 2.4 и 2.5 при следующих исходных данных: мощности  $m_1$ ,  $m_2$  и  $m_3$  пластов  $n_7^H$ ,  $n_7^6$  и  $n_8$  составляют соответственно 1,45 м, 0,65 м и 1,5 м; глубина залегания разрабатываемого пласта  $n_7^6$  Н = 520 м; мощности междупластьев  $h_1 = 16$  м и  $h_2 = 13$  м; физико-механические характеристики угля и вмещающих пород брались по данным таблицы 1.1.

В расчетных схемах 2.3 а, б и 2.4 а, б размер краевой части пласта над (или под) очистным забоем по пласту  $n_7^6$   $b = 70$  м; зоны надрботки и подработки имеют одинаковые размеры  $l_H = l_{\Pi} = 150$  м.

Длина выработанного пространства позади очистного забоя по пласту  $n_7^6$   $l$  принимала в расчетах значения 50, 100, 120, 140 и 150 м.

Расстояние  $L$  от очистного забоя до краевых частей смежных пластов при этом составляло 100 м, 50 м, 30 м, 10 м и 0 м (забой под границей краевой части), -10 м, -30 м и -50 м (забой под краевой частью пласта). Часть выработанного пространства ( $l - l_1$ ) заполнялась разрушенными породами. Параметр  $l_1$  представляет собой шаг обрушения непосредственной кровли, определяемый из условия

$$(\Delta u_y)_{max} \leq [\Delta u_y]. \quad (2.27)$$

В этом условии  $(\Delta u_y)_{max}$  – максимальное сближение почвы и кровли очистной выработки, позади лавы, полученное расчетом, а  $[\Delta u_y]$  – допустимое значение  $\Delta u_y$ , назначаемое исходя из результатов шахтных наблюдений с учетом технических возможностей используемой механизированной крепи (возникающие в лаве смещения пород почвы и кровли не должны препятствовать нормальной работе очистного оборудования).

Модуль упругости  $E_p = 10$  МПа и коэффициент Пуассона  $\nu_p = 0,499$  для разрушенных пород в области  $(l - l_1)$  брались по графикам работы [31, стр.49], построенным в координатах  $\epsilon_y$  и  $k_\mu$  для различных значений глубины разработки ( $\epsilon_y$  – максимальная относительная линейная деформация очистной выработки в вертикальном направлении;  $k_\mu = 1 - \frac{2\nu^3}{1 - \nu}$ ).

При расчетах по схемам 2.5 а и 2.5 б рассматривались пять различных положений линии очистного забоя по отношению к границам выше- и ниже-расположенного целика: на подходе к нему ( $L = 30$  м, положение I), непосредственно под (над) границей ( $L = 0$ , положение II), под (над) средним сечением целика ( $L = 25$  м, положение III), под (над) второй границей ( $L = 0$ , положение IV) и позади целика ( $L = 30$  м, положение V).

Ширина целика  $l_{ц}$  равнялась в расчетах 50 м, а размеры зон наработки  $l_{н}$  и подработки  $l_{п}$  по обе стороны от целика составляли 100 м.

Выполнение серии расчетов для различных положений забоя по пласту  $n_7^6$  позволило проследить за изменением картины напряженно-деформированного состояния в исследуемой области массива по мере продвижения фронта очистных работ и установить границы зон повышенного горного давления (ПГД), необходимые для обоснования параметров ведения очистных работ в рассматриваемых горно-геологических условиях.

Типичные эпюры нормальных напряжений  $\sigma_y$  и вертикальных смещений  $u_y$  в почве и кровле разрабатываемого пласта  $n_7^6$ , построенные по результатам одного из вариантов расчетов по схеме рис. 2.3 а в случае  $L = 50$  м на подходе к краевой части (условия наработки), изображены на рисунках 2.7 а и б.

Анализ данных этого расчетного варианта показал, что зона повышенного горного давления (превышающего уровень  $\gamma H$ ) в кровле вынимаемого пласта  $n_7^6$  в горизонтальном направлении впереди очистного забоя простирается на 12 м. В вертикальном направлении она имеет протяженность 3,5 м в кровле и 5 м в почве. При этом породы кровли позади очистного забоя на участке  $l_1$  находятся в предельном напряженном состоянии (нарушается условие прочности по критерию (2.17)).

В зоне повышенного горного давления впереди лавы максимум давления (напряжения  $\sigma_{yy}$ ) приходится на сечение, расположенное на расстоянии  $a = 1$  м по оси  $Ox$  от забоя, а в зоне повышенного горного давления позади лавы – на сечение, удаленное на 3 м по оси  $Ox$  от забоя.

Нагрузка  $P_0$  на секцию механизированной крепи, создающаяся весом пород зоны предельного напряженного состояния на длине  $l_1$ , составляет 114,7 кН/м.

При подработке, когда забой находится на расстоянии  $L = 50$  м от края нижележащего пласта на подходе к этому краю, протяженность зоны повышенного горного давления составляет 14 м по оси  $Ox$  и распространяется вдоль оси  $Oy$  на 5 м в кровле (составляет 31,2% от  $h_2$ ) и на 5,5 м в почве (составляет 40,6% от  $h_1$ ). Нагрузка  $P_0$  на секцию механизированной крепи в этом случае равна 127,8 кН/м.

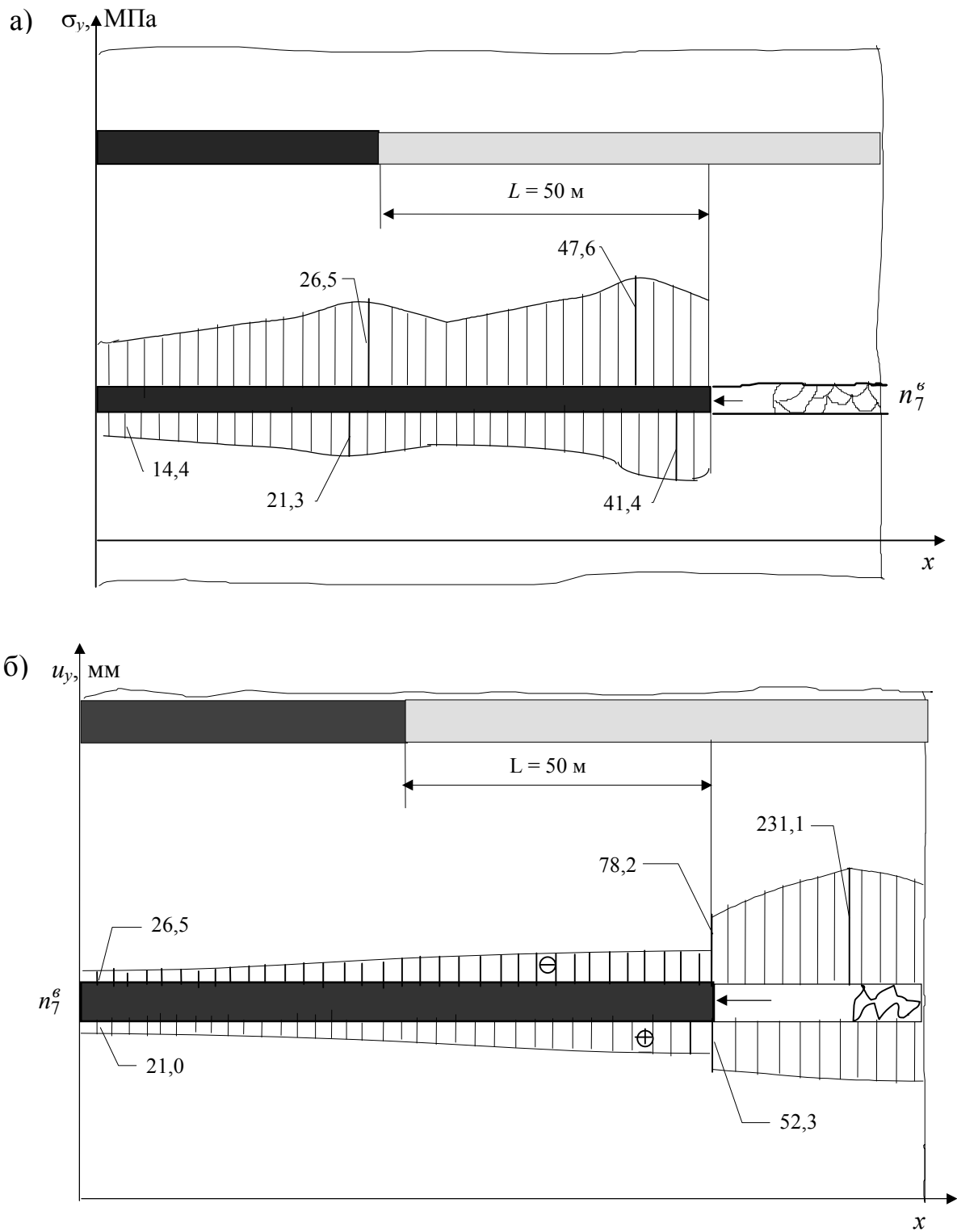


Рис. 2.7. - Эпюры нормальных напряжений и вертикальных смещений в кровле и почве пласта  $n_7^e$  (условия надработки)

Данные всех вариантов расчетов по оценке влияния краевых частей сближенных пластов на напряженно-деформированное состояние кровли и почвы разрабатываемого пласта  $n_7^6$  в условиях надработки и подработки приведены в таблицах 2.1 и 2.2. Это максимальные значения коэффициента концентрации напряжений  $(K_y)_{max}$  в зоне опорного давления впереди очистного забоя, максимальные сближения кровли и почвы в лаве и величины нагрузки  $P_0$ , которая действует на секцию механизированной крепи от веса пород, находящихся в зоне предельного напряженного состояния над лавой.

В таблице 2.1 содержатся данные, относящиеся к случаю движения лавы по направлению к краевым частям, а в таблице 2.2 – к случаю выхода очистного забоя из-под краевых частей.

Анализ полученных результатов показал, что при движении в направлении к краевой части в условиях надработки максимальный коэффициент концентрации напряжений  $(K_y)_{max}$ , равный 4,35, возникает на расстоянии  $L = -30$  м (положение VII, рис. 2.3а и б). При этом нагрузка на механизированную крепь  $P_0$  составляет 135 кН/м. С другой стороны в положении VI ( $L = -10$  м) максимум имеет нагрузка на крепь  $P_0 = 137,7$  кН/м, а коэффициент концентрации напряжений  $(K_y)_{max}$  при этом составляет 4,23, т.е. меньше, чем в первом случае.

Качественно такая же картина наблюдается и в случае подработки с той лишь разницей, что сами величины коэффициентов концентрации напряжений  $(K_y)_{max}$  и нагрузок  $P_0$  на крепь при подработке несколько больше. Наиболее опасными являются в этом случае положения IV и VI. Поэтому при определении рациональных силовых параметров механизированной крепи необходимо рассмотреть все эти положения и выбрать наиболее опасные. В таблице 2.1 соответствующие данные выделены жирным шрифтом.

При движении лавы в противоположном направлении для крепи создаются наиболее неблагоприятные условия, причем, как и в предыдущих случаях, самые большие коэффициенты концентрации и нагрузки на механизированную крепь возникают в условиях подработки (положения VI и V на рис. 2.4 а и б), в таблице 2.2 они выделены жирным шрифтом. Именно на эти положения следует обратить внимание при определении рациональных параметров механизированной крепи, работающей в зонах влияния краевых частей смежных пластов.

Результаты анализа НДС кровли и почвы обрабатываемого пласта  $n_7^6$  под (над) целиками приведены в табл. 2.3.

Как видно из этой таблицы, наиболее неблагоприятными для механизированной крепи являются положения III ( $L = 25$  м) и IV ( $L = 0$  м).

Результаты расчетов показали, что в условиях надработки в этих случаях протяженность зоны ПГД в горизонтальном направлении (по оси  $Ox$ ) впереди очистного забоя составляет 25 м. Вверх в вертикальном направлении (по оси  $Oy$ ) в кровле она простирается на 5,5 м, а вниз в почве на 3 м.



Таблица 2.1

Результаты анализа НДС кровли и почвы вынимаемого пласта  $\Pi_7^6$  под (над) краевыми частями сближенных пластов  
(при движении лавы на краевые части)

Поло- жение очистно го забоя	Расст. от забоя до границ краевой части, $L$ , м		В условиях надработки			В условиях подработки		
			коэффициент концентрации напряжений впереди забоя, $(K_y)_{max}$	конверген- ция в лаве, $(u_y)_{max}$ , мм	нагрузка на секцию мех. крепи, $P_0$ , кН/м	коэффициент концентрации напряжений впереди забоя, $(K_y)_{max}$	конверген- ция в лаве, $(u_y)_{max}$ , мм	нагрузка на секцию мех. крепи, $P_0$ , кН/м
на подходе к краевой части	I	100	2,65	173,1	76,1	2,72	167,3	80,4
	II	50	3,40	231,5	114,7	3,26	253,3	127,8
	III	30	3,51	285,4	115,6	3,67	240,1	135,4
	IV	10	3,59	251,3	123,6	<b>3,85</b>	<b>248,8</b>	<b>141,0</b>
	V	0	3,86	238,0	126,7	4,13	248,2	137,2
	VI	-10	<b>4,23</b>	<b>237,0</b>	<b>137,7</b>	<b>4,33</b>	<b>245,5</b>	<b>111,4</b>
	VII	-30	<b>4,35</b>	<b>246,6</b>	<b>135,0</b>	4,35	240,9	81,3
	VIII	-50	4,33	244,7	126,0	4,34	247,0	76,1
под (над) краевой частью								

Таблица 2.2

Результаты анализа НДС кровли и почвы вынимаемого пласта  $И_7^6$  под (над) краевыми частями сближенных пластов  
(при выходе лавы из-под краевых частей)

Положение очистного забоя	Расст. от забоя до границ краевой части, $L$ , м	В условиях надработки			В условиях подработки			
		коэффициент концентрации напряжений впереди забоя, $(K_y)_{max}$	конвергенция позади забоя, $(u_y)_{max}$ , мм	нагрузка на секцию мех. крепи, $P_0$ , кН/м	коэффициент концентрации напряжений впереди забоя, $(K_y)_{max}$	конвергенция позади забоя, $(u_y)_{max}$ , мм	нагрузка на секцию мех. крепи, $P_0$ , кН/м	
под (над) краевой частью	I	2,35	120,0	85,5	2,35	120,1	84,1	
	II	2,96	159,0	106,2	2,98	159,8	108,1	
	III	3,56	197,9	136,3	3,60	199,8	103,2	
	IV	-10	3,55	212,1	150,0	3,55	207,8	182,0
		-30	<b>3,70</b>	<b>244,6</b>	<b>169,2</b>	<b>3,69</b>	<b>229,1</b>	<b>215,7</b>
	VI	3,57	242,6	167,5	<b>3,63</b>	<b>231,3</b>	<b>222,3</b>	

Таблица 2.3

Результаты анализа НДС кровли и почвы вынимаемого пласта  $n_7$  под (над) целиками

Положение очистного забоя	Расст. от забоя до гра- ниц целика, $L, м$	В условиях надработки			В условиях подработки		
		коэфф. кон- центр. напр. впереди за- боя, $(K_y)_{max}$	конверген- ция позади забоя, $(u_y)_{max}$ , мм	нагрузка на секцию мех. крепил $P_0$ , кН/м	коэфф. кон- центр. напр. впереди за- боя, $(K_y)_{max}$	конверген- ция позади забоя, $(u_y)_{max}$ , мм	нагрузка на секцию мех. крепил, $P_0$ , кН/м
на подходе к целику	I	2,81	195,9	72,4	2,88	190,2	108,6
	II	3,04	196,7	99,7	3,26	203,1	136,1
под(над) целиком	III	<b>3,88</b>	<b>222,1</b>	<b>108,6</b>	<b>3,90</b>	<b>223,9</b>	<b>144,8</b>
за целиком	IV	<b>4,35</b>	<b>277,2</b>	<b>106,4</b>	<b>4,34</b>	<b>268,5</b>	<b>142,0</b>
	V	4,40	314,1	90,3	4,44	295,6	126,4

В предельном напряженном состоянии по критерию (2.17) находятся породы кровли впереди очистного забоя в области с размерами 2...4 м по оси  $Ox$  и 1,5...2 м по оси  $Oy$ . На расстоянии  $L = 25$  м весом разрушенных пород над лавой создается нагрузка на секцию механизированной крепи  $P_0 = 168,4$  кН/м, а при  $L = 0$  м  $P_0 = 165$  кН/м.

При подработке (лава над целиком) установлена такая картина. Длина зоны повышенного горного давления (размер по оси  $Ox$ ) впереди очистного забоя составляет 35 м. В вертикальном направлении (по оси  $Oy$ ) в кровле протяженность ее 6 м, а в почве 3 м. Нагрузка на секцию механизированной крепи при  $L = 25$  м составляет 224,5 кН/м, а при  $L = 0$   $P_0 = 220,4$  кН/м.

Расстояние  $a$  от очистного забоя в глубь массива до сечения, в котором возникает максимальная концентрация напряжений  $\sigma_{yy}$ , т.е. протяженность зоны отжима краевой части угольного пласта, как и при работе лавы в окрестности краевых частей смежных пластов, во всех рассмотренных случаях близко к 1 м.

Таким образом, получены все необходимые величины для расчета рациональных силовых параметров механизированной крепи при работе ее в зонах повышенного и пониженного горного давления, а также для определения скорости подвигания лавы и допустимого расстояния между очистными забоями сближенных пластов.

## **2.7. Напряженно-деформированное состояние пород вокруг подготовительной выработки при разработке свиты пластов**

Важнейшими условиями безопасной работы угольных шахт является обеспечение рабочего состояния всей сети горных выработок от поверхности до очистных забоев с минимальными затратами на их проведение и поддержание. Актуальность обеспечения эксплуатационной устойчивости подготовительных выработок в условиях разработки сближенных пластов постоянно возрастает в связи с увеличением глубины ведения горных работ. При этом на характере распределения горного давления существенно сказываются надработка или подработка. Поэтому при выборе способа охраны и крепления выработок, особенно в случае слабых вмещающих пород, необходимо исходить из анализа напряженно-деформированного состояния массива с учетом конкретных горнотехнических ситуаций и горно-геологических условий.

Типичной для шахт Львовско-Волынского бассейна является слоистая неоднородная среда, в которой напряженное состояние кровли и почвы сближенных пластов претерпевает существенные изменения под воздействием горных работ. Однако имеющиеся отраслевые документы, регламентирующие расположение, охрану и поддержание горных выработок, составлены на основе указаний ВНИМИ [67], в которых это изменение учитывается приближенно с помощью эмпирических коэффициентов, установленных преимущественно для горно-геологических условий Донецкого, Кузнецкого и Печорского

месторождений. Аналогичный подход используется и при описании структуры породного массива.

В данном параграфе с помощью вышеописанного разработанного расчетного алгоритма оценивается степень влияния подработки на напряженно-деформированное состояние слоистого массива вокруг пластовой подготовительной выработки применительно к условиям Львовско-Волынского бассейна.

Для получения количественных оценок в отношении влияния мощности междупластьев и глубины разработки расчеты выполнялись для ряда определяющих параметров. На рис. 2.8 приведена одна из рассмотренных расчетных схем.

Анализ полученных данных [99] показал, что с уменьшением мощности междупластья степень роста напряжений в зоне опорного давления обрабатываемого пласта увеличивается. Так, максимальный коэффициент концентрации напряжений  $\sigma_y$  в кровле пласта в сечении  $x = 29$  м по отношению к уровню  $\gamma H$  составляет  $k_y = 1,51$  при  $h_2 = 6$  м и  $k_y = 1,46$  при  $h_2 = 20$  м.

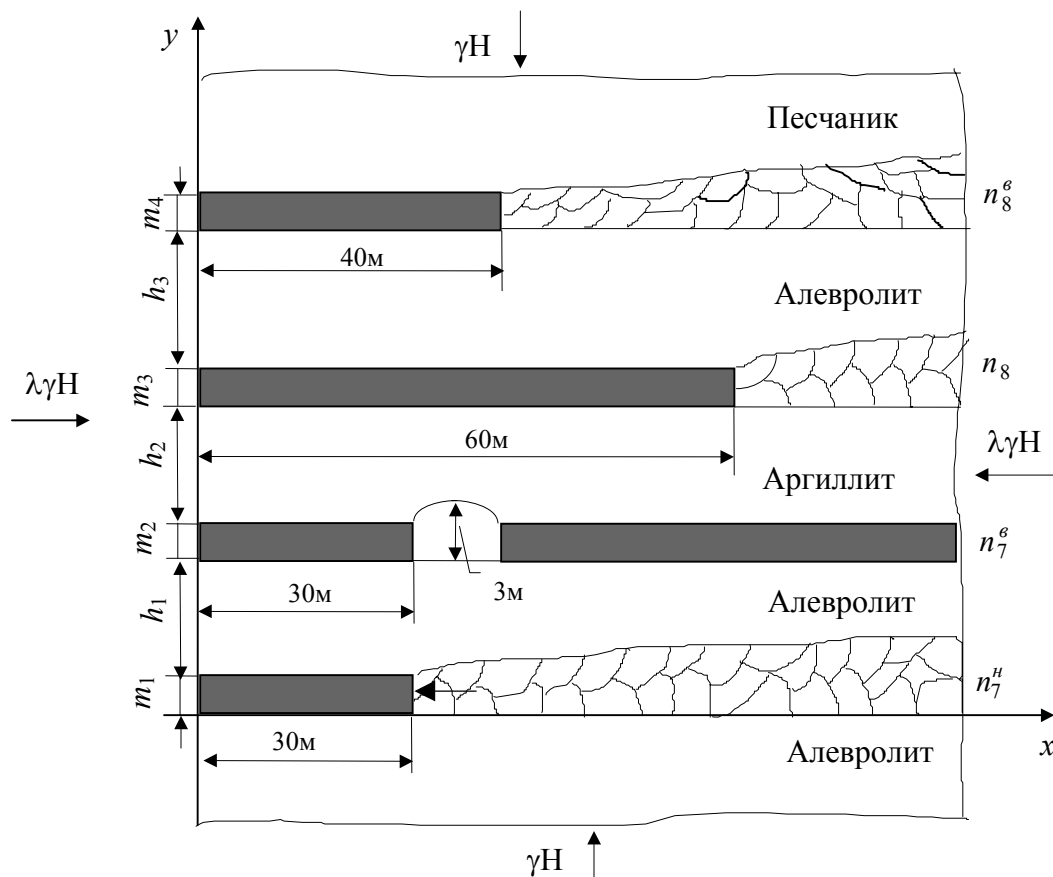


Рис. 2.8. - Расчетная схема к определению НДС вокруг выработки

В меньшей мере на коэффициенте концентрации  $k_y$  сказывается глубина разработки  $H$ : и при  $H = 300$  м и при  $H = 600$  м в сечении  $x = 29$  м в кровле обрабатываемого пласта  $k_y$  имеет одно и то же значение.

В своде подготовительной выработки на глубине  $H = 300$  м при  $h_2 = 6$  м коэффициент концентрации эквивалентного напряжения, подсчитанный по

критерию П.П. Баландина, достигает значения 2,1 и остается таким же на глубине  $H = 600$  м. Абсолютное же значение максимального эквивалентного напряжения при глубине  $H = 500$  м становится равным пределу прочности породы на сжатие, а при  $H = 600$  м уже в 1,2 раза превосходит его.

Рост напряжений в массиве, окружающем выработку, приводит к увеличению смещений на ее контуре. Выполненные исследования показали, что при увеличении глубины разработки с 300 м до 600 м максимальные вертикальные смещения  $u_y$  в своде возрастают в 1,79 раза. Неучет подобных изменений НДС вокруг подготовительных выработок, попадающих под влияние очистных работ по смежным пластам, при выборе крепи являются одной из причин деформирования подготовительных выработок. Таким образом, расчет по разработанному алгоритму повышает надежность проекторочных решений в отношении способов и средств поддержания пластовых подготовительных выработок при выемке свиты пластов.

### Выводы

1. На основе метода граничных элементов разработан эффективный расчетный алгоритм для определения напряженно-деформированного состояния неоднородного массива применительно к разработке свиты пологих сближенных угольных пластов.

В отличие от известных, разработанный алгоритм учитывает наличие в исследуемой области целиков и краевых частей угольных пластов в условиях как надработки, так и подработки.

2. С помощью разработанного алгоритма для условий шахт ГП «Львовуголь» установлены границы зон повышенного горного давления в кровле и почве вынимаемого пласта, определены величины максимальных коэффициентов концентрации напряжений  $\sigma_y$  по отношению к уровню  $\gamma H$  и найдена нагрузка, действующая на секцию механизированной крепи от веса пород, находящихся в области предельного напряженного состояния в кровле над лавой.

3. С помощью формулы (2.12) решения В.Г. Гмошинского при учете максимальных коэффициентов концентрации напряжений  $(K_y)_{max}$  впереди очистного забоя и границы зоны отжима угля  $a$ , найденных по разработанному алгоритму, можно аналитически определять дополнительную нагрузку на механизированную крепь, которая зависит от скорости движения лавы и обусловлена частичным разрушением угля в краевой части пласта.

4. Результаты математического эксперимента показали, что в условиях шахт ГП «Львовуголь» при работе очистных забоев в зонах влияния краевых частей смежных пластов наиболее опасным, с точки зрения проявлений горного давления, является период выхода лавы из-под краевой части нижерасположенного пласта. В частности, механизированная крепь оказывается максимально нагруженной, когда забой находится на расстоянии 5...10 м от краевой части. Поэтому рациональные силовые параметры механизиро-

ванной крепи должны определяться по характеристикам напряженно-деформированного состояния именно этой области массива.

5. Установлено, что при ширине целиков, оставляемых на смежных пластах, до 50 м наиболее опасным для механизированной крепи является режим ее работы в условиях подработки, когда лава находится над средним сечением целика и на подходе к краю целика (на расстоянии  $L = 25$  м).

Данные положения являются определяющими при расчете силовых параметров используемой механизированной крепи.

6. Установлено, что при увеличении глубины разработки с 300 м до 600 м максимальные смещения  $u_y$  в своде подготовительной выработки в условиях подработки возрастают в 1,79 раза. Данный результат необходимо учитывать при выборе типа поддерживающей крепи.

## ГЛАВА 3. ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАЗРАБОТКИ СБЛИЖЕННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ В УСЛОВИЯХ ШАХТ ЛЬВОВСКОГО РЕГИОНА

### 3.1. Определение границ повышенного горного давления в междупластьях при ведении горных работ в области краевых частей смежных пластов

Напряженно-деформированное состояние исследуемой области массива изменяется в процессе движения очистного забоя. В зависимости от размеров выработанного пространства и расстояния до краевых частей сближенных пластов в кровле и почве разрабатываемого пласта возникают зоны повышенного горного давления большей или меньшей протяженности с различным уровнем напряжений в них.

Наиболее опасно то положение линии очистного забоя, при котором в кровле и почве разрабатываемого пласта происходит наложение эпюр опорного давления от очистного забоя и краевых частей выше- или нижерасположенного пласта. Возникающие при этом суммарные напряжения, как правило, превосходят допустимые значения [100]. Если при этом в кровле над выработанным пространством образуется значительная по протяженности зона предельного напряженного состояния, механизированная крепь испытывает большое горное давление. Положение усугубляется тем, что при значительной концентрации вертикальных нормальных напряжений в области опорного давления напряжением  $\sigma_y(V)$  впереди движущегося очистного забоя создается немалая дополнительная нагрузка, обусловленная отжимом угля (формулы (2.12) и (2.16)). В результате может возникнуть аварийная ситуация.

Для нормальной работы механизированной крепи в зоне повышенного горного давления от краевой части смежного пласта величина коэффициента концентрации напряжений  $(K_y)_{max}$  впереди очистного забоя и скорость движения лавы должны быть такими, чтобы удельное сопротивление на 1 м<sup>2</sup> поддерживаемой площади перекрытия и сопротивление в наиболее нагруженной стойке не превосходили допустимых значений, определяемых по технической характеристике используемой крепи. Кроме того, максимальные смещения в лаве не должны быть больше допустимой раздвижности крепи.

Величины максимальных коэффициентов концентрации напряжения  $(K_y)_{max}$  в зонах повышенного горного давления впереди очистного забоя, максимальных сближений  $(\Delta u)_{max}$  почвы и кровли в выработанном пространстве и нагрузок  $P_0$ , полученные с помощью метода граничных элементов на основе расчетных схем рис. 2.3а,б и 2.4а,б для различных значений расстояния  $L$  между очистным забоем и краевыми частями сближенных пластов приведены в таблицах 2.1 и 2.2.

Поскольку физико-механические характеристики угля и вмещающих пород варьируют в широких пределах, кроме детерминированного расчета, результатом которого явились данные таблиц 2.1 и 2.2, по разработанному



алгоритму производились расчеты при различных значениях определяющих параметров [101] и полученные данные подвергались корреляционному анализу с использованием известной методики [102].

Исходя из возможных границ изменения варьируемых величин (см. параграф 1.1) отношение  $\gamma_n H / (\sigma_c)_y$  в расчете принимали значения [0,25; 0,27; 0,29; 0,31; 0,33; 0,35], а отношение  $E_n / E_y$  принадлежало области [1,8; 2,8; 4,0] ( $E_n, E_y$  - модули упругости породы кровли и угля;  $\gamma_n$  - плотность породы кровли;  $(\sigma_c)_y$  - предел прочности угля на сжатие).

Геометрический параметр исследуемой области  $l/l_n$  (рис. 2.3а,б и 2.4а,б) принимал значения [0,033; 0,166; 0,33; 0,66]. При этом длина зоны надработки была неизменной и составляла  $l_n = 150$  м, а размер выработанного пространства позади очистного забоя  $l \in [5; 25; 50; 100]$  м. Ширина краевой части пласта равнялась 70 м, мощность междупластья  $h_2$  изменялась в пределах 5...25 м. Всего для условий надработки было рассмотрено 152 расчетных варианта. На основе множественного корреляционного анализа полученных данных, для случая движения лавы в направлении к краевой части смежного пласта в условиях надработки установлены соотношения для максимальных значений сближений кровли и почвы в лаве в долях от мощности пласта.

$$\frac{\Delta u_y}{m} = 0,107 + 0,097 \frac{l}{l_n} - 0,065 \frac{E_n}{E_y} + 0,530 \frac{\gamma_n H}{(\sigma_c)_y} \quad (3.1)$$

и максимальных относительных напряжений в кровле обрабатываемого пласта впереди забоя

$$(K_y)_{max} = \frac{(\sigma_{yy})_{max}}{\gamma_n H} = 2,42 + 1,81 \frac{l}{l_n} - 0,46 \frac{E_y}{E_n}. \quad (3.2)$$

Коэффициенты корреляции зависимостей (3.1) и (3.2) составляют соответственно 0,884 и 0,82.

Аналогичные зависимости применительно к условиям подработки имеют вид:

$$\frac{\Delta u_y}{m} = -0,311 + 0,115 \frac{l}{l_n} + 0,364 \frac{E_y}{E_n} + 0,541 \frac{\gamma_n H}{(\sigma_c)_y} \quad (3.3)$$

и

$$(K_y)_{max} = \frac{(\sigma_{yy})_{max}}{\gamma_n H} = 2,17 + 1,82 \frac{l}{l_n} + 0,001 \frac{E_y}{E_n}. \quad (3.4)$$

Коэффициенты корреляции зависимостей (3.3) и (3.4) имеют одинаковые значения, равные 0,97.

Кроме того, установлены корреляционные зависимости для случая выхода лавы из-под краевой части, которые в условиях надработки имеют вид:

$$\frac{\Delta u_y}{m} = -0,314 + 0,350 \frac{l}{l_n} + 0,310 \frac{E_y}{E_n} + 0,446 \frac{\gamma_n H}{(\sigma_c)_y}, \quad (3.5)$$

$$(K_y)_{max} = \frac{(\sigma_{yy})_{max}}{\gamma_n H} = 2,38 + 2,468 \frac{l}{l_n} - 0,196 \frac{E_y}{E_n}. \quad (3.6)$$

Для случая выхода лавы из-под краевой части смежного пласта в условиях подработки получены следующие зависимости:

$$\frac{\Delta u_y}{m} = -0,280 + 0,301 \frac{l}{l_n} + 0,285 \frac{E_y}{E_n} + 0,433 \frac{\gamma_n H}{(\sigma_c)_y}, \quad (3.7)$$

$$(K_y)_{max} = \frac{(\sigma_{yy})_{max}}{\gamma_n H} = 2,40 + 2,50 \frac{l}{l_n} - 0,25 \frac{E_y}{E_n}. \quad (3.8)$$

Коэффициенты корреляции зависимостей (3.5), (3.6), (3.7) и (3.8) соответственно равны 0,97, 0,88, 0,97 и 0,89.

Аналогичные исследования были проведены для случая, когда выемка производится одновременно в условиях подработки и надработки. Соответствующие корреляционные соотношения для  $\Delta u/m$  и  $(K_y)_{max}$  приведены в работе [101].

Для наглядности на рис. 3.1 и 3.2 показаны графики изменения величин  $(K_y)_{max}$ , а на рис. 3.3 и 3.4 - величин  $P_0$  в зависимости от расстояния  $L$  очистного забоя до краевой части пласта.

Результаты расчета одного из вариантов ( $L = 65$  м) при движении лавы в направлении к краевой части смежного пласта в случае подработки в виде эпюр нормальных напряжений  $\sigma_y$  и вертикальных смещений  $u_y$  представлены на рис. 3.5 и 3.6. Перемещения в лаве в этом случае  $(\Delta u_y)_{max}$  не превышают допустимых для механизированной крепи КМ87.

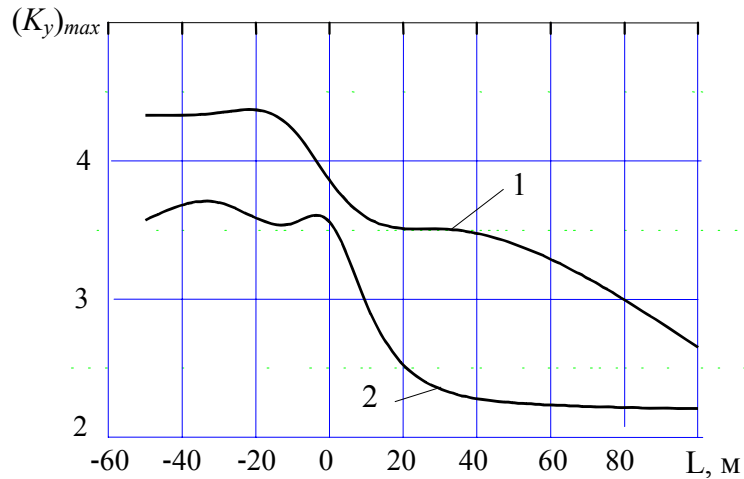


Рис. 3.1. - Изменение максимального коэффициента концентрации напряжений  $\sigma_{yy}$  от расстояния между лавой и краевыми частями сближенных пластов в условиях надработки:

- 1 – при движении лавы к краевой части смежного пласта;
- 2 – при выходе лавы из-под краевой части смежного пласта.

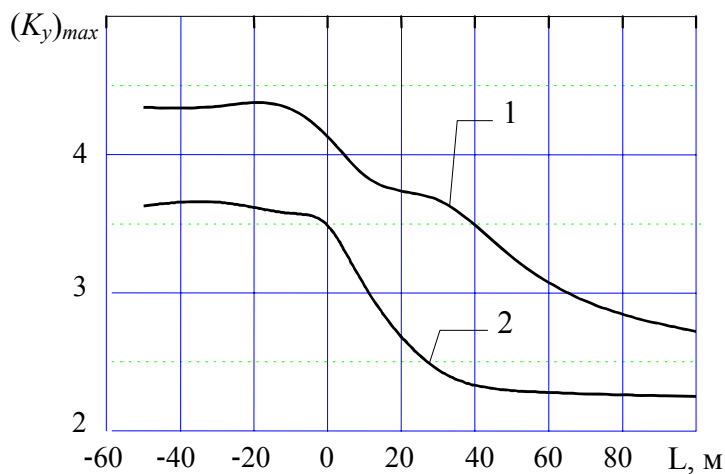


Рис. 3.2. - Изменение максимального коэффициента концентрации напряжений  $\sigma_{yy}$  от расстояния между лавой и краевыми частями сближенных пластов в условиях подработки:

- 1 – при движении лавы к краевой части смежного пласта;
- 2 – при выходе лавы из-под краевой части смежного пласта.

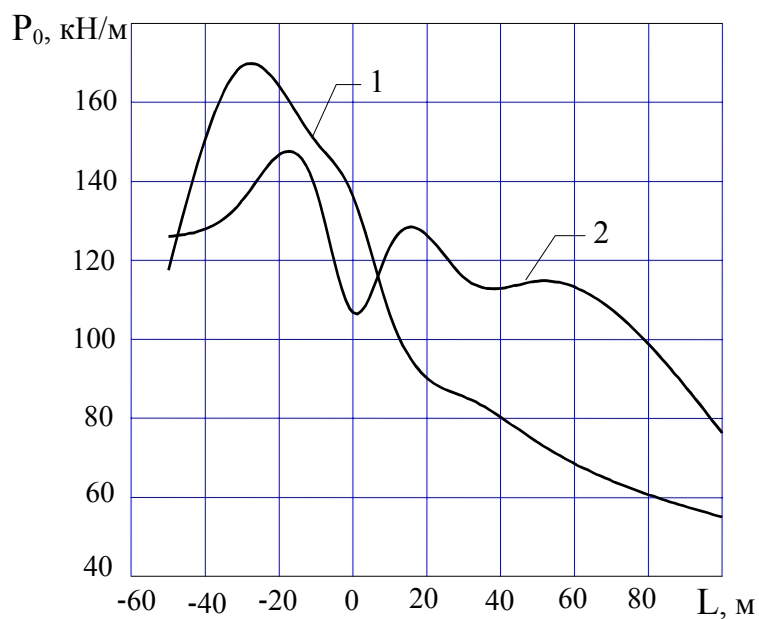


Рис. 3.3. - Нагрузка на секцию механизированной крепи на различном расстоянии от лавы до краевых частей сближенных пластов в условиях надработки:

- 1 – при движении лавы к краевой части смежного пласта;
- 2 – при выходе лавы из-под краевой части смежного пласта.

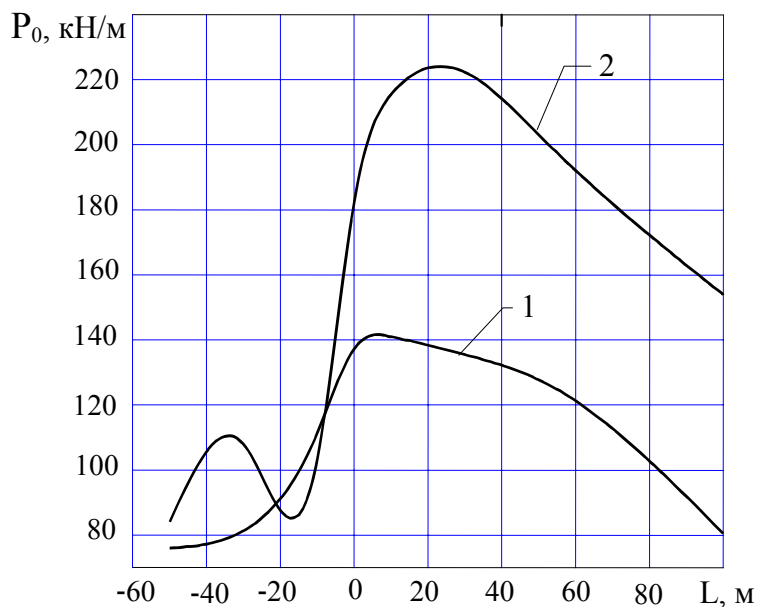


Рис. 3.4. - Нагрузка на секцию механизированной крепи на различном расстоянии от лавы до краевых частей сближенных пластов в условиях подработки:

- 1 – при движении лавы к краевой части смежного пласта;
- 2 – при выходе лавы из-под краевой части смежного пласта.

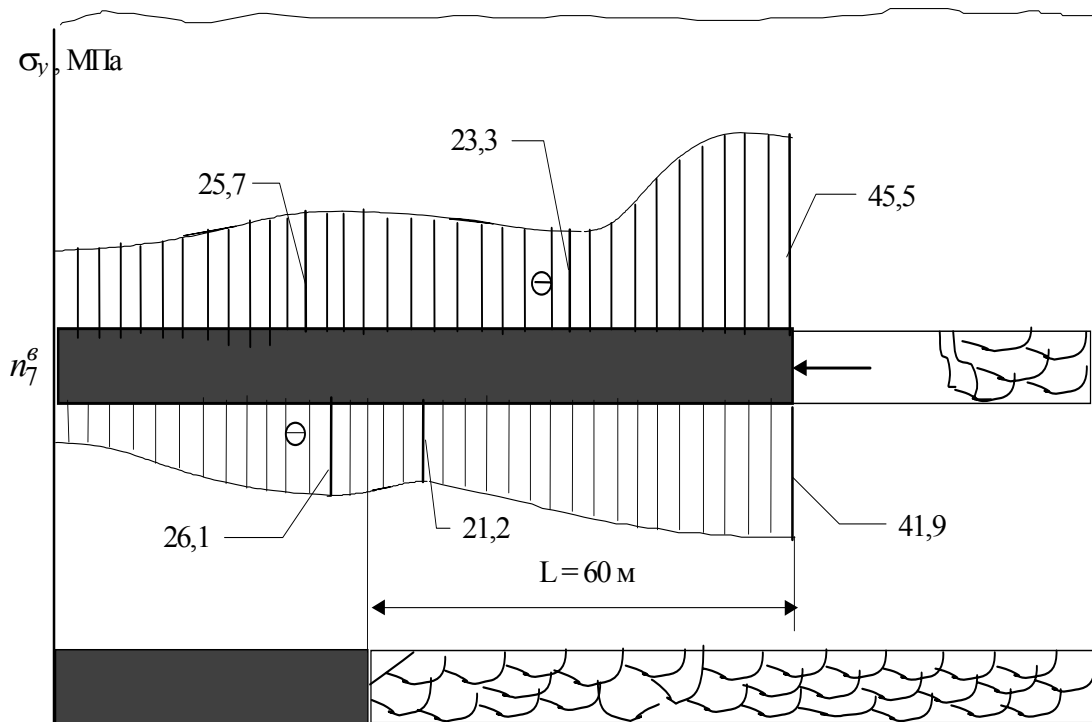


Рис. 3.5. - Эпюры нормальных напряжений  $\sigma_y$  в кровле и почве пласта  $n_7^6$  (подработка, движение лавы к краевой части смежного пласта).

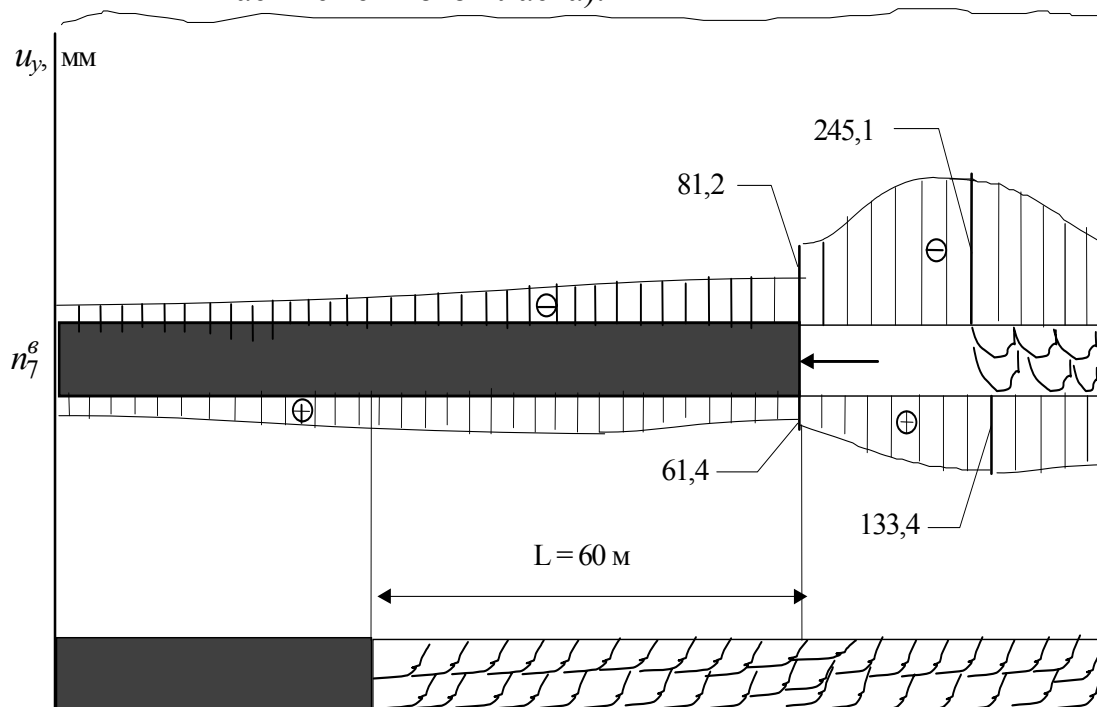


Рис. 3.6. - Эпюры вертикальных перемещений  $u_y$  в кровле и почве пласта  $n_7^6$  (подработка, движение лавы к краевой части смежного пласта).

В этом смысле для условий подработки значение  $L = 65$  м приемлемо.

Аналогичный анализ картины НДС в случае надработки показал, что по условиям (2.17) и (2.18) допустимым является  $L = 60$  м.

Выясним, как влияют коэффициент концентрации напряжений  $(K_y)_{max}$  и скорость подвигания лавы  $V$  на величину напряжений  $\sigma_y(V)$ , возникающих на кромке забоя (в сечении  $x = 0$ , рис. 2.1) и создающих дополнительную нагрузку на механизированную крепь.

Предположим, что скорость подвигания забоя  $V = 2 \text{ м/сут} = 0,083 \text{ м/час}$ . Тогда полоса угля  $S = 1 \text{ м}$  будет отработана за  $t = 6 \text{ часов}$ . Значение коэффициента концентрации напряжений  $(K_y)_{max}$  при  $L = 65 \text{ м}$  в условиях подработки составляет 3,6 и, следовательно,  $K = (K_y)_{max} - 1 = 2,6$  (если  $L < 65 \text{ м}$ , то  $(K_y)_{max} > 3,6$  и нарушается условие прочности в кровле вынимаемого пласта в зоне повышенного горного давления впереди очистного забоя). Подставим эти значения, а также значения  $\gamma H = 14 \text{ МПа}$ ,  $C = 1,2 \text{ МПа}$  и  $T = 6 \text{ час}$  в формулу (2.15) и получим  $\sigma_y(V) = 7,85 \text{ МПа}$ . При скорости  $V = 4 \text{ м/сут}$   $\sigma_y(V) = 19,4 \text{ МПа}$ .

Соответствующие подсчеты для условий надработки, когда  $L = 60 \text{ м}$ , дают  $\sigma_y(V) = 7,56 \text{ МПа}$  при  $V = 2 \text{ м/сут}$  и  $\sigma_y(V) = 16,63 \text{ МПа}$  при  $V = 4 \text{ м/сут}$ .

Следовательно, с увеличением скорости напряжения  $\sigma_y(V)$  в сечении  $x = 0$  возрастают и тем быстрее, чем больше коэффициент концентрации напряжений  $\sigma_y$ .

Однако при этом уменьшается «снимаемое» давление (формула (2.12)), поэтому суммарная нагрузка  $Q = q(V) + P_0$  на механизированную крепь (графики на рис. 3.7) с увеличением скорости уменьшается.

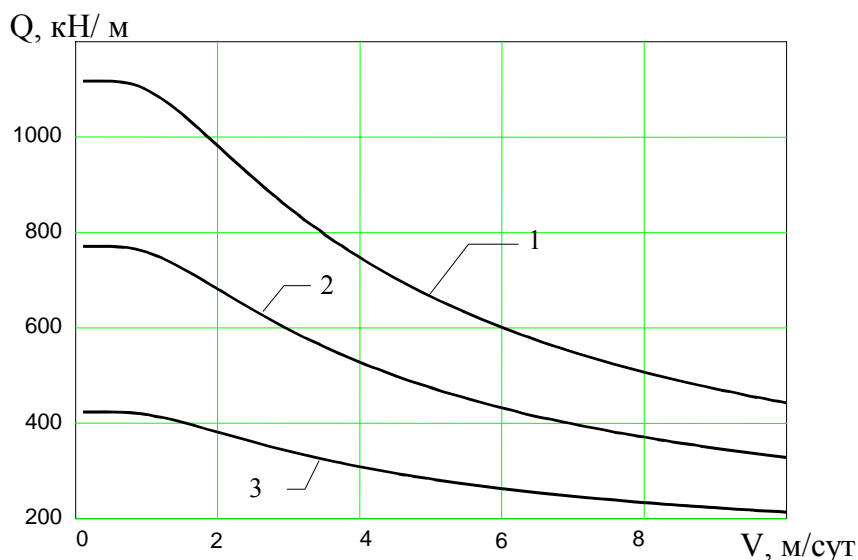


Рис. 3.7. - Зависимость между суммарной нагрузкой на крепь и скоростью подвигания лавы:

$$1 - (K_y)_{max} = 5; \quad 2 - (K_y)_{max} = 4; \quad 3 - (K_y)_{max} = 3.$$

Практический интерес представляет зависимость величины дополнительной нагрузки  $q(V) = 0,03P(V)$  от коэффициента концентрации напряжений  $(K_y)_{max}$ . Такие зависимости для значений  $V$ , равных 1,5 м/сут, 2,0 м/сут, 3,0 м/сут и 4,2 м/сут получены по формуле (2.16) и построены графики, показанные на рис. 3.8.

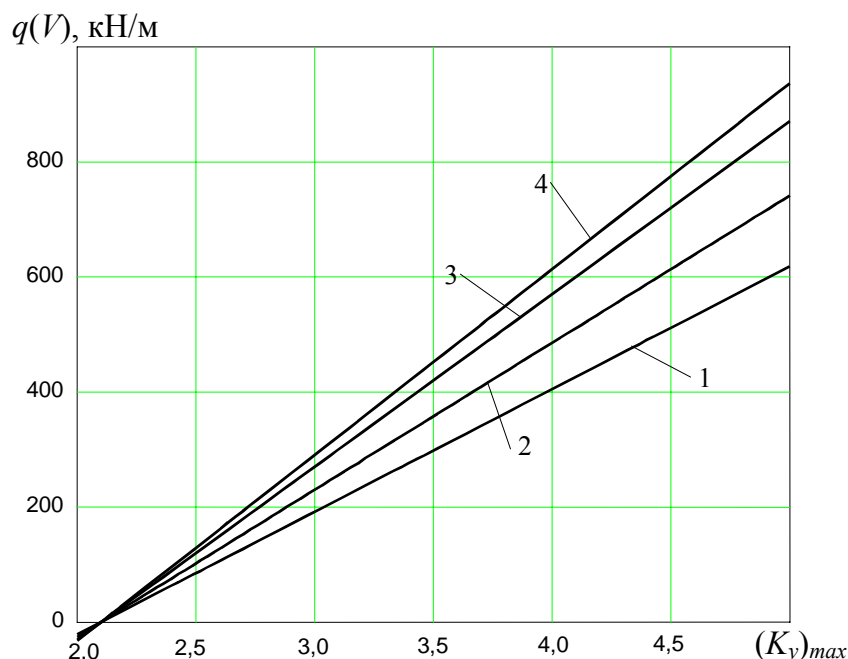


Рис. 3.8. - Зависимость между дополнительной нагрузкой на крепь и коэффициентом концентрации напряжений:

1 –  $V = 4,2$  м/сут; 2 –  $V = 3,0$  м/сут;  
 3 –  $V = 2,0$  м/сут; 4 –  $V = 1,5$  м/сут.

Таким образом, задавшись значением  $L$ , по графикам на рис. 3.1 или 3.2, задавшись значениями  $l/l_n$  и  $E_n/\gamma_n H$ , по одной из формул (3.2), (3.4), (3.6) или (3.8), в зависимости от направления движения лавы и рассматриваемых условий разработки, можно найти соответствующее значение максимального коэффициента концентрации напряжений впереди очистного забоя  $(K_y)_{max}$ , а по графикам на рис. 3.3 и 3.4 – основную нагрузку на секцию механизированной крепи  $P_0$  от веса пород в зоне предельного напряженного состояния над лавой. Далее по найденному значению  $(K_y)_{max}$  из графика на рис. 3.8 (или по формуле (2.16)) определяем дополнительную нагрузку на секцию механизированной крепи  $q(V) = 0,03P(V)$  при заданной скорости подвигания лавы.

Определив действующую нагрузку на перекрытие секции крепи, можно найти реакции (сопротивления) гидростоек крепи.

Расчетные схемы рисунков 2.3 а, б и 2.4 а, б, использованные в рассмотренной задаче для одного очистного забоя, применимы и для случая двух очистных забоев, работающих по сближенным пластам. Поэтому по

описанной в данном параграфе методике с использованием тех же графиков или формул определяется рациональное расстояние между лавами по сближенным пластам.

Заметим, что по существующим методикам [3,60,63,65] отставание забоя надрабатываемого пласта определяется по формуле

$$L = hctg\delta + L_3, \quad (3.9)$$

где  $h$  – мощность междупластья;

$\delta$  – угол сдвижения пород по простиранию, определяемый как среднее значение для всей толщи пород до поверхности;

$L_3 = 30..40$  м – запас на возможную неувязку скоростей подвигания забоев по сближенным пластам, их аварийные простои и т.п.

Недостатком такого подхода является то обстоятельство, что рассматривается зона опорного давления лишь впереди очистного забоя, а на процессы в очистном забое оказывает влияние и область повышенного горного давления позади забоя. Кроме того, угол  $\delta$  в пределах мощности междупластья, от которого, прежде всего, зависит напряженно-деформированное состояние интересующей нас области массива (окрестность очистной выработки), может существенно отличаться от среднего значения  $\delta$  всей налегающей толщи пород. Наконец, картина НДС почвы и кровли разрабатываемых пластов определяется еще и скоростью подвигания очистного забоя, чего формула (3.3) не учитывает.

Разработанная и описанная в данном параграфе методика тем и отличается от известных, что в ней нашли отражение все эти аспекты.

### **3.2. Определение границ зон повышенного горного давления в междупластьях при ведении горных работ под (над) целиками**

По степени опасности проявлений горного давления в очистных забоях, обусловленных влиянием целиков, оставленных на смежных пластах, выделяют три зоны: зона повышенной опасности (ЗПО), опасная зона (ОЗ) прогнозная зона (ПЗ).

Основным критерием степени опасности зон ПГД является характер проявлений горного давления в очистных забоях.

Зона повышенной опасности характеризуется наибольшей интенсивностью проявлений горного давления. При работе очистных забоев в этой зоне возможны динамические проявления горного давления, выражающиеся в мгновенном разрушении нижних слоев кровли или значительной части массива горных пород в окрестности очистного забоя вплоть до среза всего междупластья, что может привести к катастрофическому повышению нагрузок на крепь. Обычным проявлением влияния ЗПО является резкое снижение устойчивости непосредственной кровли. В этой зоне наиболее



часто происходят случаи завалов лав, зажатия «нажестко» секций механизированных крепей, обычно увеличивается отжим угля и пучение почвы.

При работе очистного забоя в ОЗ происходит снижение устойчивости непосредственной кровли за счет повышенной трещиноватости и расслоения пород. В меньшей степени, чем в ЗПО, возможны случаи завалов лав и зажатия «нажестко» секций механизированных крепей. Наиболее частым проявлением горного давления в ОЗ является увеличение интенсивности процесса вывалообразования.

При работе очистного забоя в ПЗ целики могут не оказывать заметного влияния на характер проявлений горного давления. Наиболее вероятно незначительное снижение устойчивости непосредственной кровли.

Границы зон повышенного горного давления устанавливаются на основе анализа напряженно-деформированного состояния кровли и почвы вынимаемого пласта впереди и позади очистного забоя над целиком и под целиком. В частности, для различных положений очистного забоя по отношению к границам целиков (рис. 2.5 а и б) определяется максимальная протяженность зон, в которых напряжения  $\sigma_y$  превосходят уровень  $\gamma H$ , и внутри этих зон выделяются области предельного напряженного состояния, в которых нарушается условие прочности по эквивалентным напряжениям (2.17). В той из них, что расположена над лавой, подсчитывается вес пород, нагружающих механизированную крепь.

Напряженно-деформированное состояние кровли и почвы вынимаемого пласта  $n_7^6$  анализировалось в случаях, когда очистной забой занимал положения, которые на рис. 2.5 а и б обозначены цифрами I ... V. Рассматривались два положения очистного забоя на подходе к целику (расстояния  $L$  между лавой и границей целика составляли соответственно 30 м и 0 м), одно положение под (над) средним сечением целика и два положения за целиком, когда очистной забой находился под второй границей целика и на расстоянии 30 м от нее. В таблице 2.3 для всех рассмотренных положений очистного забоя по отношению к целикам приведены максимальные значения коэффициентов концентрации напряжений  $(K_y)_{max}$  в зоне опорного давления впереди очистного забоя, максимальных сближений почвы и кровли выработанного пространства позади забоя и величины нагрузки  $P_0$  на секцию механизированной крепи от веса пород, находящихся в зоне предельного напряженного состояния над лавой.

Более наглядное представление об изменении  $(K_y)_{max}$  и  $P_0$  в зависимости от расстояния  $L$  очистного забоя до правой границы целика дают графики на рис. 3.9 и 3.10.

В отношении границ зон повышенного горного давления установлена такая картина.

В условиях надработки (рис. 2.5 а) в положении  $L = 60$  м целик, находящийся выше разрабатываемого пласта, практически не оказывает влияния на напряженное состояние кровли и почвы в районе очистного забоя. Зона повышенного горного давления в этом случае простирается на 11 метров в

горизонтальном направлении в глубь массива, охватывает 3 м мощности кровли и 2 м мощности почвы. При этом условие прочности пород (2.17) нарушается только на кромке забоя.

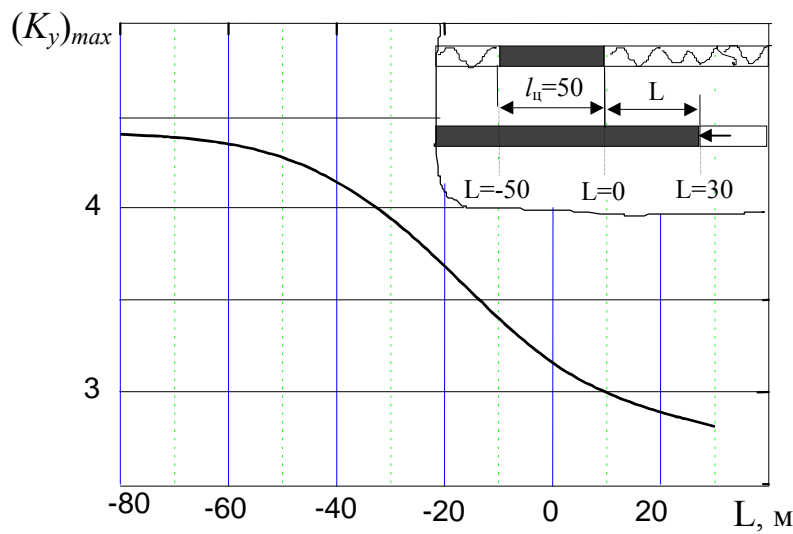


Рис. 3.9. - Коэффициенты концентрации напряжений впереди очистного забоя при различных расстояниях от лавы до правой границы целика (условия наработки).

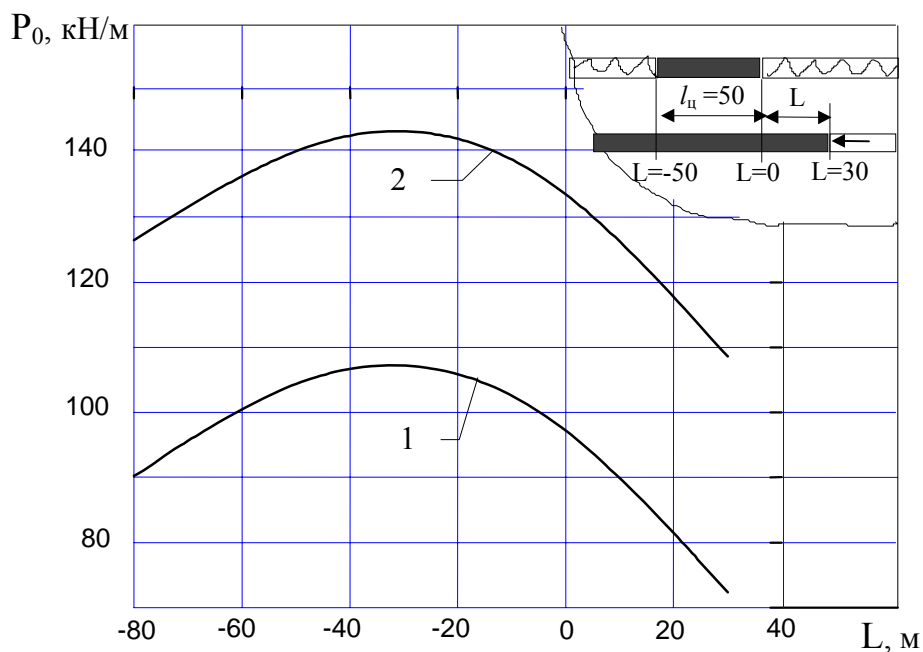


Рис. 3.10. - Нагрузка на секцию механизированной крепи на различном расстоянии лавы от правой границы целика: 1 – под целиком; 2 – над целиком.

В положении I ( $L = 30$  м) зона повышенного горного давления впереди очистного забоя уже имеет протяженность 50 м по координатной оси  $Ox$  (в горизонтальном направлении), а в вертикальном направлении по оси  $Oy$  распространяется на 5,5 м в кровлю и на 3 м в почву.

Впереди очистного забоя появляется зона предельного напряженного состояния пород с размерами 2...4 м по оси  $Ox$  и 2...3 м по оси  $Oy$  в почве и кровле. Это говорит о возможности вывалов пород кровли при малой скорости подвигания забоя.

В положении II ( $L = 0$  м, забой подошел к границе целика) зона повышенного горного давления распространяется на 55 м от забоя в глубь массива по оси  $Ox$ , охватывает 8 м мощности кровли и 5 м мощности почвы. Размеры зоны предельного напряженного состояния увеличиваются: протяженность ее в горизонтальном направлении составляет 6 м (по оси  $Ox$ ), а в вертикальном (по оси  $Oy$ ) – 8 м в кровле и 5 м в почве.

Примерно такая же картина имеет место, когда очистной забой занимает положение III (находится под средним сечением целика).

Еще более опасным становится напряженное состояние почвы и кровли вынимаемого пласта  $n_7^6$ , когда забой подходит ко второй границе целика (положение IV). В этом случае зона повышенного горного давления имеет протяженность 58...60 м по оси  $Ox$  в глубь массива, а по оси  $Oy$  – 12 м в кровле и 6 м в почве. В предельном напряженном состоянии находятся породы в области с размерами по оси  $Ox$  12 м, а по оси  $Oy$  – 6,5 м в кровле и 5 м в почве.

В положении V, когда забой находится на удалении 30 м от второй границы целика (целик за очистным забоем), размеры зоны повышенного горного давления впереди очистного забоя уменьшаются: протяженность ее по оси  $Ox$  составляет 18 м, а по оси  $Oy$  в кровле – 3,5 м и в почве – 6 м. Однако почти все породы этой зоны находятся в предельном напряженном состоянии. Значит, и в этом положении не исключены значительные вывалы.

В условиях подработки (целик под очистным забоем, рис. 2.4 б) при сохранении общего характера распространения зон повышенного горного давления в количественном отношении картина несколько иная, условия работы в лаве усложняются.

Зоны повышенного горного давления впереди лавы при различных положениях забоя относительно целиков в условиях наработки и подработки изображены соответственно на рис. 3.11 и 3.12.

По разработанному алгоритму производились расчеты и для других положений очистного забоя относительно целиков смежных пластов. Соответствующие эпюры напряжений в кровле и почве разрабатываемого пласта в условиях наработки и подработки приведены в работах [103,104,112].

Обобщением результатов, выполненного анализа напряженно-деформированного состояния исследуемой области массива применительно к разработке пласта под целиком (положение III) явилась установленная корреляционная зависимость размера  $L_0$  зоны повышенного горного давления впереди очист-

ного забоя от ширины целика  $l_u$  и мощности междупластья  $h_2$ , которая имеет вид [105]

$$\frac{L_0}{l_u} = 3,01 + 1,73 \frac{h_2}{l_u} - 0,30 \left( \frac{h_2}{l_u} \right)^2 - 0,16 \frac{l_u}{h_2} - 10,18 \frac{h_2 l_u}{(h_2 + l_u)^2}. \quad (3.10)$$

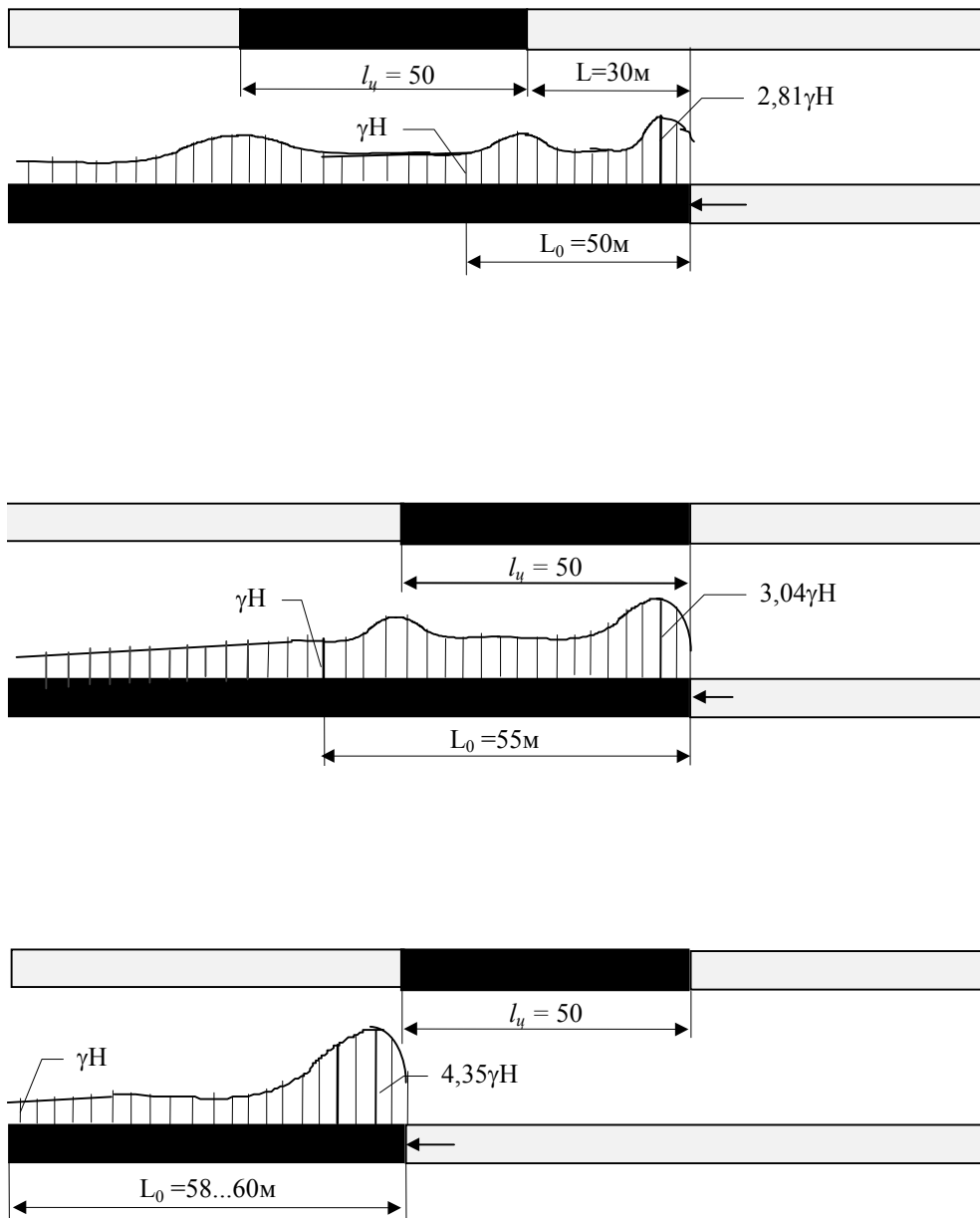


Рис. 3.11. - Зоны ПГД впереди лавы при различных положениях забоя относительно целика (условия надработки)

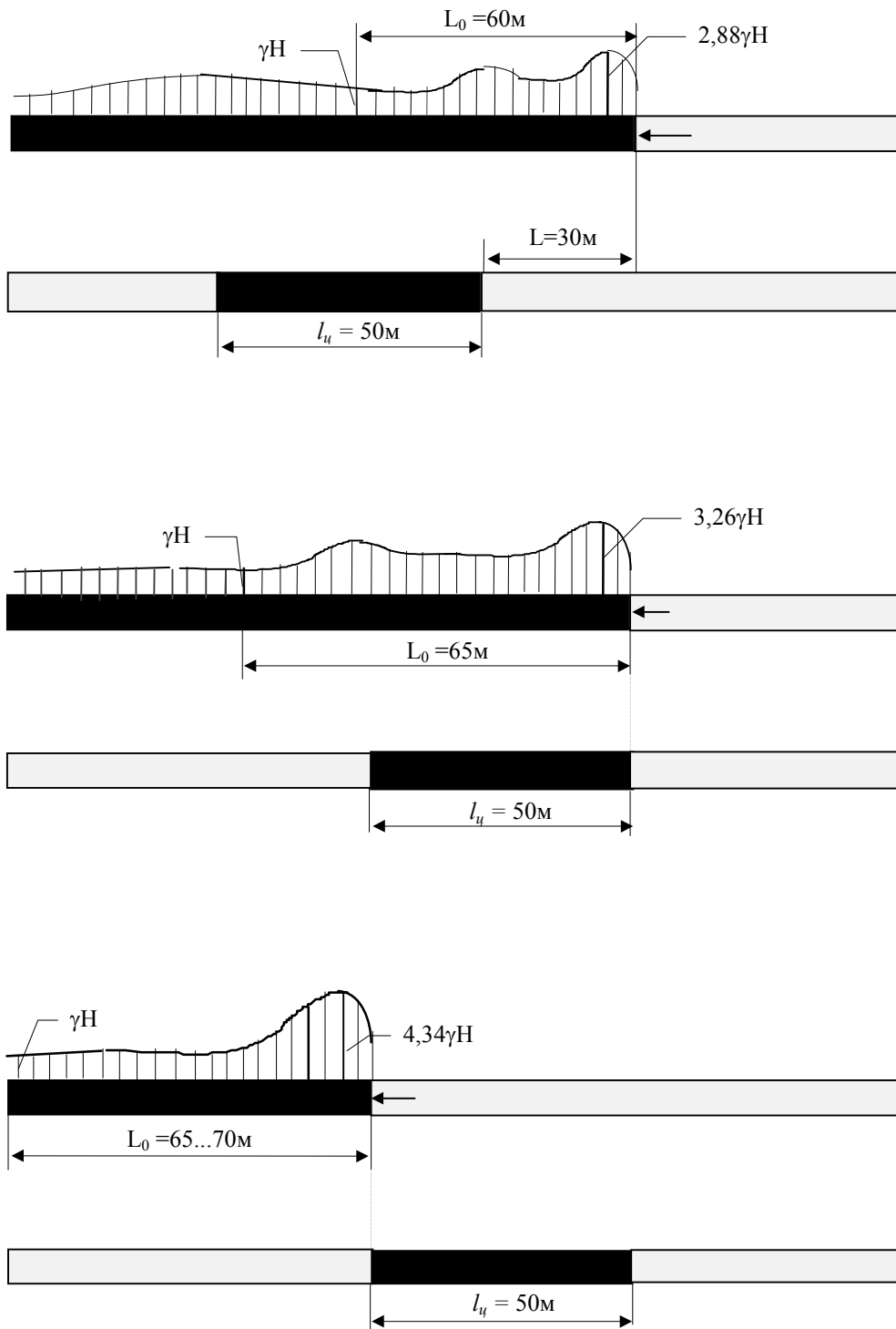


Рис. 3.12. - Зоны ПГД впереди лавы при различных положениях забоя относительно целика (условия подработки)

Данная зависимость получена на основе результатов 150 вариантов расчета с различными определяющими параметрами. Величина отношения модуля упругости породы кровли разрабатываемого пласта  $E_n$  к  $\gamma H$  варьировалась в пределах  $(0,4...1,2) \cdot 10^3$ , а параметр  $\gamma_n H / (\sigma_c)_y$  принадлежал интервалу  $[0,25...0,35]$ . Мощность междупластья  $h_2$  изменялась в пределах 5...20 м, а ширина целика  $l_u$  – в пределах 20...50 м.

По формуле (3.10) при ширине целика 50 м и мощности междупластья  $h_2 = 12$  м получаем  $L_0 = 58$  м, что практически совпадает с результатами расчета по разработанному алгоритму.

Для условий надработки в случае, когда забой находится под краем целика (положение IV на рис. 2.5 а), также установлена зависимость относительного максимального нормального напряжения  $(\sigma_y)_{max} / (\sigma_c)_n$  в кровле разрабатываемого пласта в зоне повышенного горного давления впереди лавы от параметров  $E_n / E_y$ ,  $\gamma_n H / (\sigma_c)_y$ ,  $h_2 / l_u$ , имеющая вид

$$\frac{(\sigma_{yy})_{max}}{(\sigma_c)_n} = 0,88 - 0,21 \frac{E_n}{E_y} + 1,59 \frac{\gamma_n H}{(\sigma_c)_y} + 0,91 \frac{h_2 l_u}{(h_2 + l_u)^2}, \quad (3.11)$$

где  $(\sigma_c)_n$  – предел прочности породы кровли на сжатие.

Было произведено 108 вариантов расчета. Исходные данные назначались с учетом того, что в междупластье могут залегать либо аргиллит ( $(\sigma_c)_n = 30$  МПа,  $E_n = 0,63 \cdot 10^4$  МПа,  $\nu = 0,2$ ,  $\gamma_n = 2,7$  т/м<sup>3</sup>), либо алевролит ( $(\sigma_c)_n = 44$  МПа,  $E_n = 1,0 \cdot 10^4$  МПа,  $\nu = 0,26$ ,  $\gamma_n = 2,78$  т/м<sup>3</sup>), либо песчаник ( $(\sigma_c)_n = 80$  МПа,  $E_n = 1,4 \cdot 10^4$  МПа,  $\nu = 0,25$ ,  $\gamma_n = 2,60$  т/м<sup>3</sup>).

Средние значения физико-механических характеристик угля, при коэффициенте вариации 20% составляют:  $(\sigma_c)_n = 15$  МПа,  $E_n = 0,35 \cdot 10^4$  МПа,  $\nu = 0,3$ ,  $\gamma_n = 1,41$  т/м<sup>3</sup>. Мощность междупластья принимала значения 10, 12, 15 и 20 м, а ширина целика  $l_u$  изменялась в пределах 20...50 м.

Поэтому определяющие параметры в расчетах принадлежали следующим интервалам:  $E_n / E_y \in [1,8; 2,8; 4,0]$ ,  $\gamma_n H / (\sigma_c)_y \in [0,25; 0,35; 0,70]$ , а  $h_2 / l_u \in [0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,75; 1,0]$ .

По формуле (3.11) для  $l_u = 50$  м;  $h_2 = 12$  м,  $(\sigma_c)_n = 44$  МПа (в кровле алевролит) и  $\gamma_n H = 14$  МПа получаем  $(\sigma_y)_{max} = 60,72$  МПа.

Следовательно, в этом случае максимальный коэффициент концентрации напряжений

$$(K_y)_{max} = \frac{(\sigma_{yy})_{max}}{\gamma H} = 4,34,$$

что с точностью до 1% совпадает с результатом расчета соответствующего варианта по разработанному алгоритму (выход лавы из-под целика в условиях подработки, положение IV, табл. 2.3).

Полученная формула для относительного напряжения  $(\sigma_y)_{max}/(\sigma_0)_n$  в случае подработки приведена в работе [100]. Она отличается от (3.11) только постоянной.

Что касается максимальных сближений кровли и почвы в лаве, то как показали результаты теоретических исследований, максимальные значения конвергенции можно вычислять по формулам (3.1) и (3.5) в случаях приближения лавы к целику и удаления от него в условиях надработки и по формулам (3.3) и (3.7) соответственно в условиях подработки.

При выполнении очистных работ в выделенной зоне повышенного горного давления над лавой в кровле появляются опасные для пород растягивающие напряжения, увеличиваются эквивалентные напряжения, по мере приближения лавы к краю целика возрастает нагрузка на механизированную крепь.

Из рис. 3.10 видно, что нагружение крепи максимально, когда очистной забой находится в положении III (рис. 2.3а), а именно:  $(P_0)_{max} = 108,6$  кН/м при работе под целиком в условиях надработки;  $(P_0)_{max} = 144,8$  кН/м при работе над целиком в условиях подработки (см. также табл. 2.3).

К этому следует добавить, что из-за большой концентрации напряжений впереди очистного забоя происходит отжим угля и увеличивается дополнительная нагрузка на механизированную крепь  $q(V)$ . Поэтому не исключено, что в проекте подготовки очистных забоев и в паспорте управления кровлей и крепления необходимо будет предусмотреть осуществление дополнительных мероприятий по управлению кровлей и креплению лавы при переходе зон ПГД, предотвращающих или нейтрализующих опасные проявления горного давления.

Приведенные в данной главе корреляционные соотношения 3.1...3.8, 3.10 и 3.11 положены в основу методики определения рациональных параметров механизированной крепи. Последняя включает, в частности, расчет отпора гидростоек в зонах повышенного горного давления, последовательность расчета которого описывается в следующем параграфе.

### **3.3. Методика определения отпора гидростоек механизированной крепи в зонах повышенного горного давления**

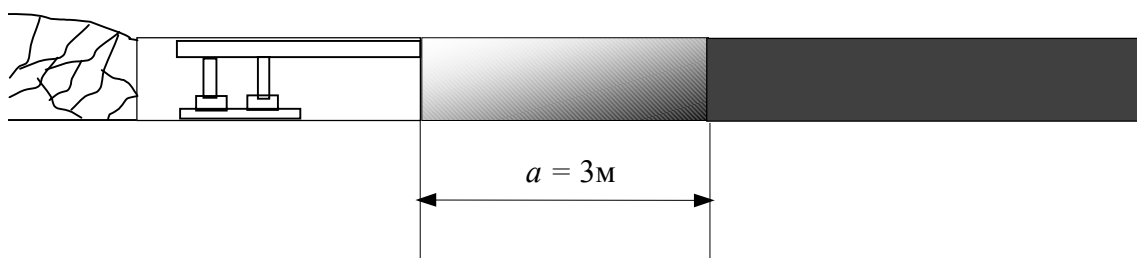
Как было сказано выше, суммарная нагрузка на механизированную крепь складывается из основной  $P_0$  - давления от веса пород зоны предельного напряженного состояния над лавой и дополнительной  $q(V)$ , составляющей 3% от «снимаемого» с угольного пласта давления в зоне отжима.

Крепь рассчитывается по схеме балки, исходя из предположения, что нагрузка по длине перекрытия распределяется равномерно, причем давлением  $q(V)$  крепь нагружается постепенно. Длина нагруженного участка зависит от рассматриваемого момента времени и скорости подвигания лавы.

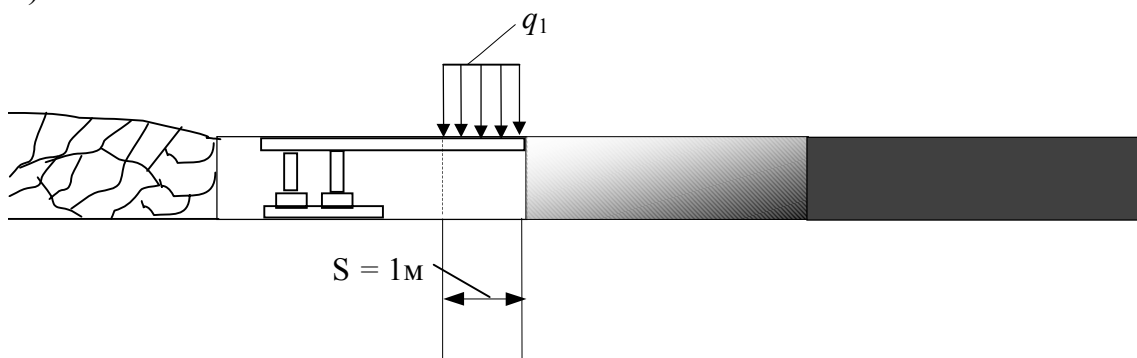
Если начать отсчет времени  $t$  от начала работы лавы, задать скорость движения очистного забоя  $V = 4$  м/сут = 0,17 м/час и рассмотреть моменты

времени  $t$ , равные 6, 12 и 18 часам, то можно считать, что через 6 часов от начала отсчета давлением  $q(V)|_{t=6}$  равномерно нагружается участок перекрытия длиной 1 м, начиная от свободного конца консоли. Еще через 6 часов, на момент времени  $t = 12$  часов, к этому участку добавится следующий участок длиной 1 м, нагруженный силой  $q(V)|_{t=12}$ , и т.д. до нагружения всего перекрытия на участке формирования эпюры давления  $P(V)$ , после чего процесс повторяется. Типичные схемы нагружения перекрытия для случая  $V = 4$  м/сут показаны на рис. 3.13. Для общности рассмотрен случай, когда длина участка, на котором происходит формирования эпюры  $P(V)$ , равно 3 м.

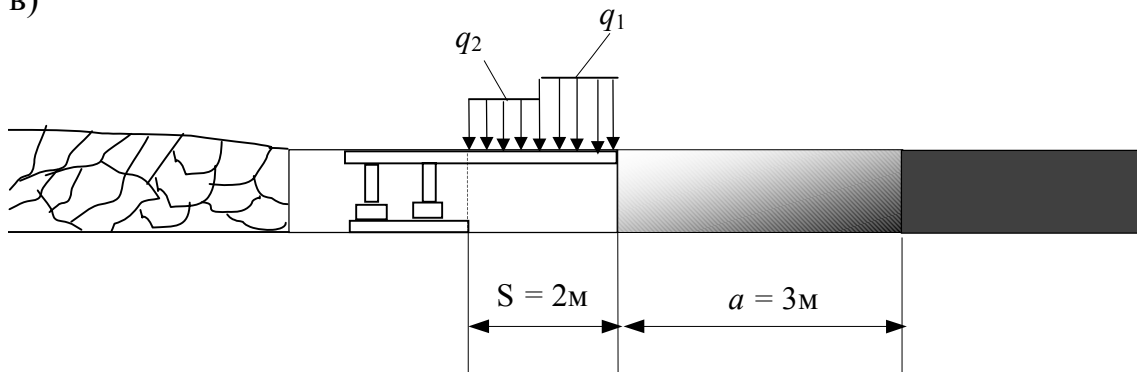
а)



б)



в)





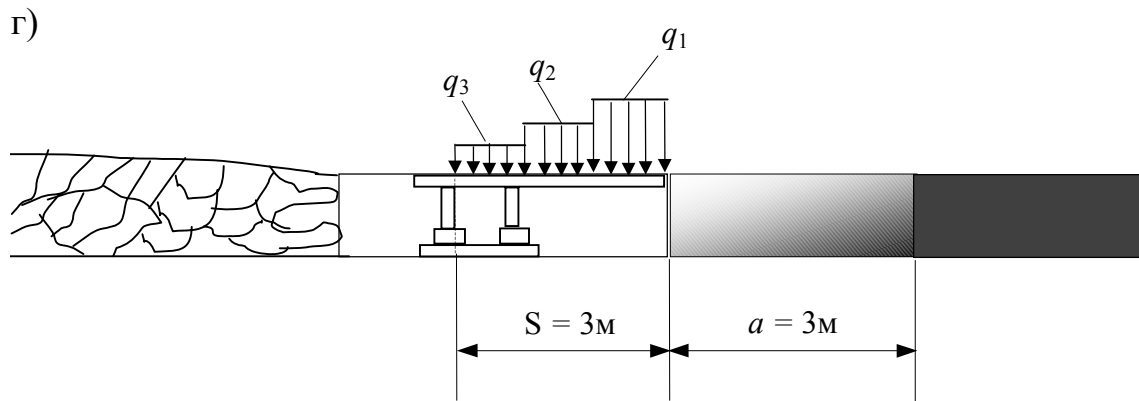


Рис. 3.13. - Схемы нагружения механизированной крепи в различные моменты времени:

а)  $t = 0$ ; б)  $t = 6$  час; в)  $t = 12$  час; г)  $t = 18$  час.

Расчет выполняется в следующей последовательности:

1) для соответствующего значения параметра  $L$  (удаления забоя от целика или краевой части), условий разработки (надработка, подработка) и направления движения очистного забоя (к краевой части, выход из-под краевой части) по графикам  $P_0(L)$  (рис. 3.3, 3.4 или 3.10) определяется величина основной нагрузки  $P_0$ , действующая на единицу длины перекрытия;

2) определяются соответствующие этой нагрузке реакции (отпоры) гидростоек  $R_0^j$  ( $j$  - номер гидростойки);

3) для данного значения параметра  $L$  по графикам  $(K_y)_{max}(L)$  (рис. 3.1, 3.2, 3.9) определяется максимальный коэффициент концентрации напряжений  $\sigma_{yy}$  впереди очистного забоя;

4) задавшись скоростью подвигания забоя  $V$  с учетом найденного коэффициента  $(K_y)_{max}$  по формуле (2.16) для каждой из расчетных схем нагружения перекрытия механизированной крепи в рассматриваемые моменты времени  $t_i$  определяем значения дополнительных нагрузок  $q_i = 0,03P(V)|_{t=t_i}$ ;

5) подсчитываются реакции  $R_i(V)$  гидростоек (сопротивления), соответствующие сформировавшейся эпюре давления на перекрытие;

6) находятся суммарные реакции гидростоек  $P_j = R_j + R_j(V)$ , кН;

7) определяется удельное сопротивление на  $1 \text{ м}^2$  поддерживаемой пло-

щади  $R = \frac{\sum P_j}{S}$ ,  $S = 2,7 \cdot 1 = 2,7 \text{ м}^2$  – площадь перекрытия;

8) проверяется условие  $R \leq [R]$ , где  $[R]$  – значение удельного сопротивления на  $1 \text{ м}^2$  поддерживаемой площади по технической характеристике крепи;

9) проверяется условие  $(P_j)_{max} \leq [P]$ , где  $[P]$  – несущая способность гидростойки по технической характеристике;

10) проверяется выполнение условия  $\Delta u_y \leq [\Delta u_y]$ , где  $\Delta u_y$  – величина сближения почвы и кровли очистной выработки, определяемая для конкретных значений параметров  $m$ ,  $E_n/E_y$ ,  $\gamma_n H/(\sigma_c)_y$  и  $l/l_n$  по соответствующей формуле 3.1, 3.3, 3.5 или 3.7;

$[u_y] = H_{max} - H_{min} - d$  – допустимая раздвижность крепи;

$H_{max}$  и  $H_{min}$  – максимальная и минимальная конструктивная высота крепи;

$d$  – запас раздвижности гидростоек на разгрузку (при  $m < 1$  м следует принимать значения  $d \geq 30$  мм, а при  $m > 1$  м величина  $d \geq 50$  мм [66]).

На случай, если проверяемые условия не выполняются, следует использовать крепь с большей несущей способностью либо предусмотреть специальные мероприятия, например, установку дополнительных стоек под козырьки верхняков или в задние ряды секций; ведение выемки угля с присечкой неустойчивых слоев кровли или почвы, чтобы исключить зажатие секций крепи и т.п.

### **3.4. Расчет параметров выемки сближенных угольных пластов для условий шахт ГП «Львовуголь» по разработанной методике**

3.4.1. Определение максимальных реакций в гидростойках крепи в зоне влияния краевых частей смежных пластов. При разработке сближенных пластов наиболее сложные условия для механизированного комплекса создаются в зонах влияния краевых частей и целиков смежных пластов. В данном параграфе выясним картину нагружения гидростоек механизированной крепи в области влияния краевых частей.

Поскольку безразлично, в каком направлении движется лава и в каких условиях - надрботки или подработки - ведутся очистные работы, рассмотрим 4 расчетных случая:

- 1) движение лавы на краевую часть в условиях надрботки;
- 2) движение лавы на краевую часть в условиях подработки;
- 3) выход лавы из зоны влияния краевой части в условиях надрботки;
- 4) выход лавы из зоны влияния краевой части в условиях подработки.

В первом расчетном случае максимальные усилия в гидростойках могут возникнуть, когда забой окажется в положении VI ( $L = -10$  м) или VII ( $L = -30$  м). Во втором расчетном случае - в положениях IV ( $L = 10$  м) или VI ( $L = -10$  м). Для третьего расчетного случая согласно данным таблицы 2.2 выделяется положение V ( $L = -30$  м) очистного забоя, а для четвертого - положения V ( $L = -30$  м) и VI ( $L = -50$  м). В перечисленных положениях либо коэффициент концентрации напряжений  $(K_y)_{max}$ , либо нагрузка на секцию механизированной крепи  $P_0$  принимают наибольшие значения, либо обе эти величины близки к максимальным значениям.

Если говорить о действии основной нагрузки  $P_0$ , то она имеет наибольшее значение, равное 222,3 кН/м, когда очистной забой находится в положении VI ( $L = -50$  м) на выходе из зоны краевой части и выемка угля осуществляется в условиях подработки (четвертый расчетный случай).

В этом случае стандартная крепь КМ87 представляет собой двухопорную консольную балку, нагруженную равномерно по всему перекрытию. Реакции такой балки, т.е. усилия в передней и задней гидростойках в рассматриваемом случае равны соответственно

$$R_B = 4,84 P_0 = 1076 \text{ кН} \text{ и } R_A = -1,04 P_0 = 231 \text{ кН},$$

а допустимые значения для усилий гидростоек крепи КМ87 составляет 650 кН. Следовательно, передняя стойка не может выдержать действующую нагрузку.

Легко убедиться в том, что при всех других выделенных положениях очистного забоя реакция  $R_B$  передней стойки превосходит допустимое значение.

Поэтому по рекомендации авторов данной работы в рассматриваемых горно-геологических условиях используется крепь КМ87 с укороченной на 0,33 м консолью.

Рассчитаем по разработанной методике такую модернизированную крепь для условий работы в зоне влияния краевой части смежного пласта для двух значений скорости движения лавы  $V = 4$  м/сут и  $V = 2$  м/сут при следующих исходных данных:  $\gamma_H = 11,5$  МПа; мощность пласта  $m = 0,7$  м;  $h_2 = 13$  м; непосредственная кровля – алевролит ( $E = 1 \cdot 10^4$  МПа,  $\nu = 0,26$ ,  $\gamma = 2,8$  т/м<sup>3</sup>,  $(\sigma_c)_n = 44$  МПа); почва – аргиллит ( $E = 0,63 \cdot 10^4$  МПа,  $\nu = 0,2$ ,  $\gamma = 2,3$  т/м<sup>3</sup>,  $(\sigma_c)_п = 30$  МПа).

Физико-механические характеристики угля:

коэффициент внутреннего трения  $f = 0,7$ ;

сцепление  $C = 1,2$  МПа;

реологическая постоянная  $T = 6$  час.;

предел прочности на сжатие  $(\sigma_c)_y = 20$  МПа;

модуль упругости  $E_y = 0,28 \cdot 10^4$  МПа;

коэффициент Пуассона  $\nu = 0,3$ ;

плотность  $\gamma = 1,69$  т/м<sup>3</sup>.

Геометрические параметры:

протяженность зоны отжима  $a = 1$  м;

ширина лавы и часть выработанного пространства, не заполненного обрушенными породами,  $l_1 = 5$  м – в случае кровли средней устойчивости и  $l_1 = 2,7$  м – в случае неустойчивой кровли.

Техническая характеристика модернизированной крепи КМ87.

Силовые параметры:

сопротивление секции  $\sum P_j = 1560$  кН;

удельное сопротивление на  $1 \text{ м}^2$  поддерживаемой площади  $R = 400 \text{ кН/м}^2$ ;  
 максимальная несущая способность гидростойки  $P_j = 650 \text{ кН}$ .

Геометрические параметры:

Длина укороченной консоли  $l_k = 1,9 \text{ м}$ ;

раздвижность  $\Delta u = H_{max} - H_{min} - d = 0,85 \text{ м}$ .

1. Определение действующей нагрузки и сопротивлений гидростоек.

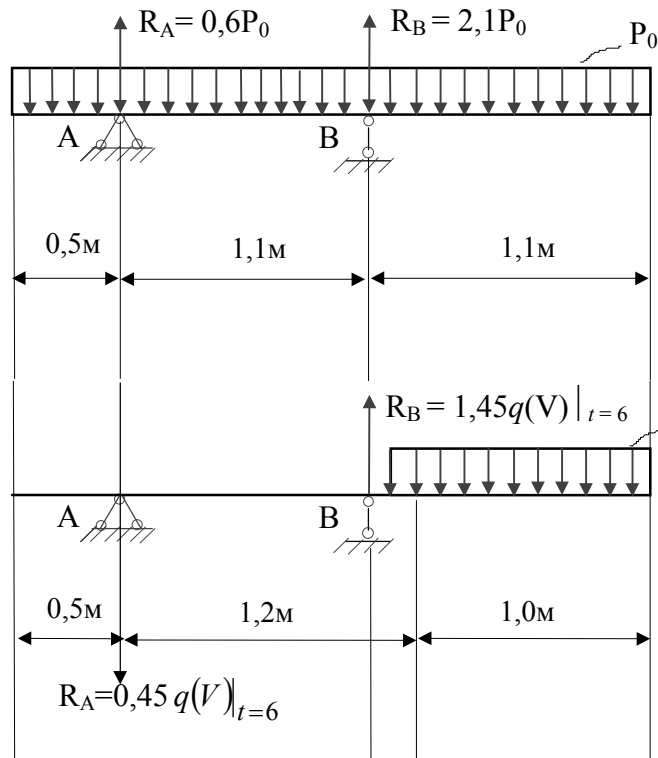
а) По таблицам 2.1 и 2.2 определяем значения  $(K_y)_{max}$  и соответствующие им нагрузки  $P_0$  для всех рассматриваемых положений очистного забоя.

При определении отпора гидростоек учтем выявленный характер разрушения кровли. Как показали наблюдения за проявлениями горного давления в шахтных условиях [107], в зонах повышенного горного давления непосредственная кровля из категории средней устойчивости переходит в разряд неустойчивых, породы непосредственной кровли разрушаются вслед за передвижкой крепи, при этом нагружается только часть передней консоли длиной  $1,1 \text{ м}$ .

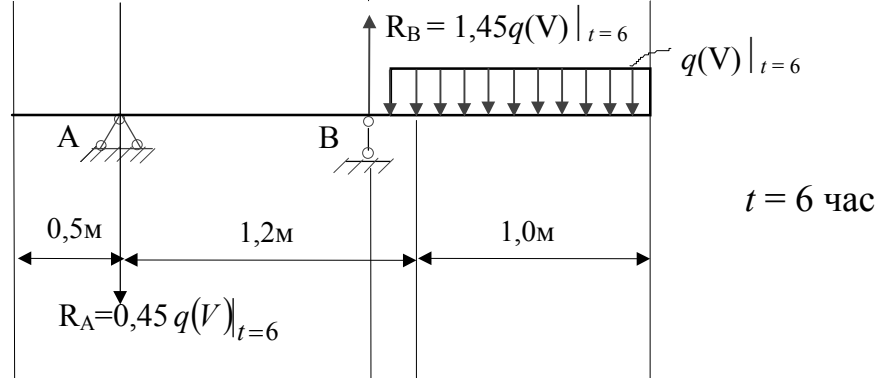
На этом основании будем рассматривать двухопорную балку общей длиной  $2,7 \text{ м}$  (задняя консоль составляет  $0,5 \text{ м}$ , расстояние между гидростойками равно  $1,1 \text{ м}$ ).

Тогда реакции  $R_A$  и  $R_B$  в задней и передней стойках от действия нагрузки  $P_0$ , равномерно распределенной по длине  $2,7 \text{ м}$  (рис. 3.14 а), будут равны  $R_A = 0,6 P_0$ ,  $R_B = 2,1 P_0$ .

а)



б)



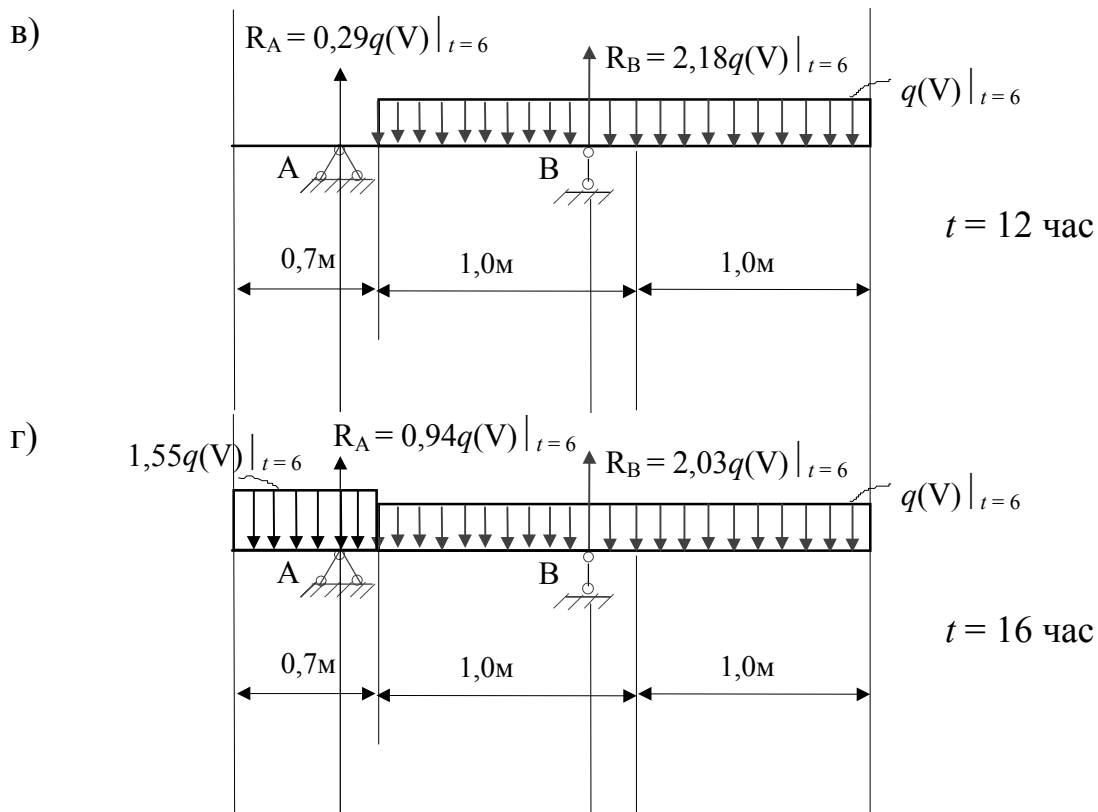


Рис. 3.14. - Расчетные схемы доработанной крепи КМ87:

а) - действие основной нагрузки;

б), в) и г) - действие дополнительной нагрузки.

Результаты расчета реакций от нагрузки  $P_0$  во всех рассматриваемых случаях приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Реакции в гидростойках при действии нагрузки  $P_0$

Расчетный случай	$P_0$ , кН/м	Направление движения лавы	Положение очистного забоя	Условия разработки	$R_A$ , кН	$R_B$ , кН	
1	137,7 135,0	На краевую часть	надработка	VI (L = -10м)	82,6	289,2	
				VII (L = -30м)	81,0	283,5	
2	141 111	вую часть	подработка	IV (L = 10м)	84,5	296,1	
				VI (L = -10м)	66,6	233,1	
3	169,2 215,7 222,3	Выход из зоны влияния краевой части	надработка	V (L = -30м)	101,5	355,3	
				подработка	V (L = -30м)	129,4	453,0
					VI (L = -50м)	133,3	466,8

Что касается реакций от дополнительной нагрузки  $q(V) = 0,03P(V)$ , то в рассматриваемых условиях происходит следующее. При скорости движения лавы  $V = 4$  м/сут за 6 часов вынимается полоса  $S$ , равная 1 м. Отжим на этом участке за это время закончился и начался на следующем. При этом по истечении 6 часов от начала процесса отжима давлением  $q(V)|_{t=6}$  нагружился участок перекрытия длиной 1 м.

В течение следующих 6 часов таким же давлением нагрузится следующий участок длиной 1 м. Последний участок длиной 0,7 м загрузится в течение 4 часов. Действующая на него нагрузка будет равна  $q(V)|_{t=4}$ .

При скорости движения лавы  $V = 2$  м/сут процесс формирования нагрузки на перекрытие длится вдвое дольше, что ухудшает условия работы крепи, т.к. нагрузка  $q(V)$  возрастает с уменьшением скорости. Это следует из формулы (2.16) (растет множитель  $(1 - e^{-t/T})$ ) и из рис. 3.7.

Соответствующие расчетные схемы показаны на рис. 3.14 б, в и г.

Вычислим величины дополнительных нагрузок по формуле (2.16). Параметры, входящие формулу (2.16), одинаковые для всех расчетных случаев, имеют значения

$$e^{-2a/l} = e^{-0,74} = 0,48; \quad \frac{h\lambda C}{f} = 0,258;$$

$$e^{fa/h\lambda} = e^{4,65} = 104,6; \quad \frac{h\lambda C}{f} (e^{fa/h\lambda} - 1) = 26,73.$$

Величина  $e^{-t/T}$  в рассматриваемые моменты времени  $t = 4$  час и  $t = 6$  час принимает значения  $e^{-4/6} = e^{-0,66} = 0,52$  и  $e^{-1} = 0,368$ .

Остальные параметры, входящие в формулу (2.16), и результаты расчетов дополнительных нагрузок для двух значений скорости лавы  $V = 4$  м/сут и  $V = 2$  м/сут приведены в таблице 3.2.

Из таблиц 3.1 и 3.2 следует, что при увеличении скорости подвигания лавы в 2 раза (с 2 м/сут до 4 м/сут) суммарная нагрузка на крепь уменьшается в 1,23...1,28 раза.

Таким образом, суммарные значения отпоров гидростоек в соответствии со схемами нагружения (рис. 3.14) составляют:

при $t = 6$ час	$R_A = 0,6 P_0 - 0,45 q(V) _{t=6},$
	$R_B = 2,1 P_0 + 1,45 q(V) _{t=6};$
при $t = 12$ час	$R_A = 0,6 P_0 + 0,29 q(V) _{t=6},$
	$R_B = 2,1 P_0 + 2,18 q(V) _{t=6};$
при $t = 16$ час	$R_A = 0,6 P_0 + 0,94 q(V) _{t=6},$
	$R_B = 2,1 P_0 + 2,03 q(V) _{t=6}.$

Их значения для всех рассматриваемых случаев нагружения в зонах повышенного горного давления приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.2

Расчет дополнительной нагрузки на модернизированную крепь КМ87 в зонах влияния краевых частей смежных пластов

Расчетный случай	Направление движен. лавы	Условия разра-ботки	Положе-ние очистного забоя	t, час	$(K_y)_{max}$	$\frac{Kl_1}{2} e^{-\frac{2a}{l_1}}$ м	$P(V) \cdot 10^{-3}$ , кН/м		$q(V)$ , кН/м	
							V, 4м/сут	V, 2м/сут	V, 4м/сут	V, 2м/сут
1	на краевую часть	надра-ботка	VI (L = -10м)	4	4,23	2,1	10,52	14,28	316,0	428,4
				6	4,23	2,1	6,77	9,21	203,0	276,3
				4	4,35	2,17	11,47	15,62	344,1	468,8
2	на краевую часть	подра-ботка	IV (L = -30м)	6	4,35	2,17	7,41	10,08	222,0	302,5
				4	3,85	1,85	7,46	10,10	223,8	304,5
				6	3,85	1,85	4,82	6,55	144,6	224,5
3	выход из зоны влияния краевой части	надра-ботка	VI (L = -10м)	4	4,33	2,16	11,27	15,31	338,1	459,4
				6	4,33	2,16	7,27	9,88	218,0	296,6
				4	3,70	1,75	6,26	8,50	187,9	255,0
3	выход из зоны влияния краевой части	подра-ботка	V (L = -30м)	6	3,70	1,75	4,04	5,49	121,2	164,7
				4	3,69	1,74	6,26	8,51	187,8	255,3
				6	3,69	1,74	4,04	5,50	121,2	165,0
3	выход из зоны влияния краевой части	подра-ботка	VI (L = -50м)	4	3,63	1,70	5,86	7,96	175,8	238,9
				6	3,63	1,70	3,78	5,15	113,6	154,4

Таблица 3.3

Реакции в гидростойках модернизированной крепи КМ87 в зонах влияния краевых частей смежных пластов

Расчетный случай	Направление движения лавы	Условия разработки	Положение очистного забоя	t, час	R <sub>A</sub> , кН		R <sub>B</sub> , кН	
					V, 4м/сут	V, м/сут	V, 4м/сут	V, 2м/сут
1	на краевую часть	над-работка	VI (L = -10м)	6	-	-	58,4	69
				12	14	16	73	89
				16	27,3	34,2	70	85
			VI (L = -30м)	6	-	-	60	72,2
				12	14,5	16,9	76	94,3
				16	27,7	36,5	73,4	89,8
2	часть	под-работка	IV (L = 10м)	6	-	-	50,6	62
				12	12,6	64	15	78,5
				16	22	59	29,5	84,2
			VI (L = -10м)	6	-	-	55	66,3
				12	13	15,3	70,8	88
				16	27,2	34,5	67,5	83,5
3	выход из зоны влияния краевой части	над-работка	V (L = -30м)	6	-	-	53	59,4
				12	13,7	15	62	71,4
				16	21,5	25,6	60	69
		под-работка	V (L = -30м)	6	-	-	62,8	69,2
				12	16,5	17,7	71,7	81,3
				16	24	28,5	70	78,8
			VI (L = -50м)	6	-	-	63	69
				12	16,7	17,8	71,4	80,3
				16	24	27,8	69,7	78

Проверка выполнения условий надежной работы крепи.

а) Удельное сопротивление на 1 м<sup>2</sup> поддерживаемой площади в самом опасном случае (L = - 30 м, забой движется на краевую часть в условиях надработки) при V = 2 м/сут  $R = 412 \text{ кН} / \text{м}^2 > [R] = 400 \text{ кН} / \text{м}^2$  – условие не выполняется;

при V = 4 м/сут  $R = 335 \text{ кН} / \text{м}^2 < [R] = 400 \text{ кН} / \text{м}^2$  – условие выполняется.

б) Реакция в наиболее нагруженной стойке при V = 2 м/сут

$(P_j)_{max} = 943 \text{ кН} > [P] = 650 \text{ кН}$  – условие не выполняется.

Следует заметить, что практически во всех рассматриваемых случаях условие не выполняется. Не выполняется оно в ряде случаев и при V = 4 м/сут.



в) Определяем сближение почвы и кровли в лаве по формуле (3.1) для самого опасного случая

$$\Delta u_y = m \left[ 0,107 + 0,097 \frac{l_n - L}{l_n} - 0,065 \frac{E_n}{E_y} + 0,530 \frac{\gamma_n H}{(\sigma_c)_y} \right] =$$

$$= 0,259 \text{ м} < 0,85 \text{ м},$$

что значительно меньше допустимой раздвижности крепи.

Поскольку по раздвижности крепь имеет значительный запас, в случае превышения  $(P_j)_{max}$  над допустимым значением  $R = 650 \text{ кН}$ , она будет «уходить» от нагрузки, но чтобы при этом не произошло жесткой посадки, скорость подвигания лавы  $V_{л}$  должна быть не менее  $4 \text{ м/сут}$ .

Для более надежной и эффективной работы в зонах ПГД от целиков и краевых частей смежных пластов необходимо все же перейти на комплексы нового поколения.

3.4.2. Определение допустимого расстояния между очистными забоями сближенных пластов. Расстояние  $L$  между очистными забоями, работающими по сближенным пластам, должно быть таким, чтобы напряженно-деформированное состояние окружающих горных пород не достигало предельного состояния. Это означает, что в зонах, опасных по горному давлению, должно выполняться условие прочности (2.17) и конвергенция в лавах и в непосредственной близости к ним позади очистных забоев не должна составлять более 30% от вынимаемой мощности, т.е. должно выполняться условие (2.27).

Как было показано в параграфе 3.1, для шахт рассматриваемого региона это имеет место при значениях  $L$ , равных  $60 \text{ м}$  и  $65 \text{ м}$  соответственно в случаях надработки и подработки.

Так, в опасном сечении впереди лавы в условиях надработки ( $L = 60 \text{ м}$ ) эквивалентное напряжение  $(\sigma_{эkv})_{max}$  по критерию П.П. Баландина (2.17) имеет значение  $8,47 \text{ МПа}$ . Оно не превышает предела прочности угля на сжатие  $(\sigma_c)_y = 20 \text{ МПа}$ . Аналогично для условий подработки ( $L = 65 \text{ м}$ ) имеем  $(\sigma_{эkv})_{max} = 12,45 \text{ МПа} < 20 \text{ МПа}$ .

Максимальные сближения почвы и кровли в лаве имеют значения  $246,6$  и  $248,8 \text{ мм}$  для условий надработки и подработки соответственно. В первом случае они составляют 35,2% вынимаемой мощности  $m = 0,7 \text{ м}$ , а во втором – 35,5%.

Определим теперь усилия в гидростойках крепи КМ87 с укороченной консолью.

Как показали расчеты, выполненные по разработанному алгоритму, при  $L = 65 \text{ м}$  в условиях подработки основная нагрузка на крепь  $P_0 = 120 \text{ кН/м}$ . Возникающие при этом реакции имеют значения  $R_A = 0,6 P_0 = 72 \text{ кН}$  – в задней стойке,  $R_B = 2,1 P_0 = 252 \text{ кН}$  – в передней стойке.

В случае надработки  $P_0 = 112$  кН/м и  $R_A = 67$  кН,  $R_B = 235$  кН.

Дополнительная нагрузка определяется аналогично тому, как это было сделано в предыдущем параграфе при анализе условий работы лавы в области влияния краевых частей смежных пластов, при тех же исходных данных. Результаты вычислений помещены в таблицу 3.4.

Таблица 3.4

Расчет дополнительной нагрузки на модернизированную крепь КМ87 при работе лав по сближенным пластам

Условия разработки	Расстояние между очистными забоями, L, м	$K_y$	$\frac{Kl_1}{2} e^{-\frac{2a}{l_1}}$ , м	$P(V) \cdot 10^{-3}$ , кН/м		$q(V) _{t=6}$ , кН/м	
				V, 4м/сут	V, 4м/сут	V, 4м/сут	V, 4м/сут
Надработка	60	3,50	1,62	5,84	9,24	17,50	27,70
Подработка	65	3,63	1,70	3,78	5,15	11,36	15,44

Результаты расчетов суммарных отпоров гидростоек приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5

Реакции в гидростойках и дополнительной опоре перекрытия в зоне повышенного горного давления

Условия разработки	t, час	$R_A$ , кН		$R_B$ , кН	
		V, 4м/сут	V, 2м/сут	V, 4м/сут	V, 2м/сут
надработка	6	-	-	506	654
	12	123	152	634	856
	16	236	332	607	814
подработка	6	-	-	400	460
	12	100	112	483	572
	16	174	212	486	568

Как видно из таблицы 3.5, при  $V = 2$  м/сут реакция (отпор) задней стойки  $R_B = 856$  кН превышает значение  $R = 650$  кН, предусмотренное технической характеристикой. При  $V = 4$  м/сут ни одно из значений максимального отпора  $R_B$  не превышает допустимого значения. Задняя стойка во всех случаях недогружена.

Следовательно, для шахт ГП «Львовуголь» безопасными по фактору горного давления являются расстояния между лавами смежных пластов  $L = 65$  м и  $L = 60$  м для условий подработки и надработки соответственно. При этом лавы должны двигаться со скоростью  $V \geq 4$  м/сут.

3.4.3. Определение максимальных реакций в гидростойках крепи при работе лав над (под) целиками. При определении максимальных реакций в гидростойках механизированной крепи будем исходить из результатов расчета и анализа напряженно-деформированного состояния слоистого неоднородного массива по схеме, изображенной на рисунке 2.5.

Определяющими являются коэффициенты концентрации напряжений  $(K_y)_{max}$  впереди очистного забоя и величины нагрузок  $P_0$ , действующих на перекрытие механизированной крепи. Соответствующие данные применительно к различным положениям очистного забоя относительно целиков смежных пластов содержатся в таблице 2.3. Из нее следует, что в условиях надработки на подходе к целику наиболее опасным является положение III, когда забой находится под средним сечением целика ( $L = 25$  м) и положение IV, когда лава подошла ко второй границе целика. В первом случае  $(K_y)_{max} = 3,88$ , но  $P_0 = 168,4$  кН/м (наибольшее значение), а во втором –  $(K_y)_{max} = 4,35$ , и  $P_0 = 165,0$  кН/м (обе величины близки к наибольшим значениям).

Те же положения лавы являются опасными и в условиях подработки – в положении III  $(K_y)_{max} = 3,90$  и  $P_0 = 224,5$  кН/м, а в положении IV –  $(K_y)_{max} = 4,34$  и  $P_0 = 220,4$  кН/м.

Дополнительную нагрузку на секцию механизированной крепи определим по формуле (2.16), как это уже делалось при рассмотрении зон влияния краевых частей смежных пластов при той же глубине разработки и аналогичных характеристиках угля и вмещающих пород.

Результаты расчетов поместим в таблицы 3.6, 3.7 и 3.8.

Таблица 3.6

Отпоры гидростоек при действии нагрузки  $P_0$

Положение очистного забоя		Условия разработки	Расст. от забоя до границ целика L, м	$P_0$ , кН/м	Реакции гидростоек	
					$R_A$ , кН	$R_B$ , кН
под целиком	III	надработка	25	108,6	101	354
	IV		0	106,4	99	347
за целиком	III	подработка	25	144,8	135	471
	IV		0	142,0	132	462

Таблица 3.7

Расчет дополнительной нагрузки на модернизированную крепь КМ87 при работе лавы над (под) целиком

Положение очистного забоя	Условия разра-ботки	Расст. от забоя до границы целика L, м	$(K_y)_{max}$	$\frac{Kl_1}{2} e^{-\frac{2a}{l_1}}$ , м	$P(V) \cdot 10^{-3}$ , кН/м		$q(V)  _{t=6}$ , кН/м	
					V, 4 м/с	V, 2 м/с	V, 4 м/с	V, 2 м/с
под цели-ком	I	25	3,85	1,85	3,92	5,33	117,3	160,0
за цели-ком	IV	0	4,35	4,52	6,08	8,28	182,0	247,6
над цели-ком	III	25	3,90	1,88	4,13	5,62	123,8	168,9
за цели-ком	IV	0	4,34	4,50	5,99	8,13	179,6	244,4

Таблица 3.8

Реакции в опорах перекрытия доработанной крепи КМ87 при работе лавы над (под) целиками

Положение очистного забоя	Условия разра-ботки	Расст. от забоя до границы целика L, м	t, час	R <sub>A</sub> , кН			R <sub>B</sub> , кН		
				V, 4 м/сут	V, 2 м/сут	V, 4 м/сут	V, 2 м/сут	V, 4 м/сут	V, 2 м/сут
под цели-ком	III	25	6	-	-	398,2	460,0		
			12	99,2	111,5	483,8	579,9		
			16	175,5	215,5	466,2	552,9		
за цели-ком	над-работка	0	6	-	-	487,3	582,4		
			12	116,6	135,6	620,2	763,2		
			16	234,9	296,6	592,9	726,0		
над цели-ком	III	25	6	-	-	483,6	549,0		
			12	122,8	135,9	574,0	672,3		
			16	203,3	245,7	555,4	647,0		
за цели-ком	под-работка	0	6	-	-	558,6	652,6		
			12	137,3	156,1	689,7	831,0		
			16	254,0	314,9	662,8	794,3		

Проверка выполнения условий надежной работы крепи.

а) Удельное сопротивление на  $1 \text{ м}^2$  поддерживаемой площади в самом опасном случае ( $L = 0$ , подработка):

при  $V = 2 \text{ м/сут}$   $R = 365,6 \text{ кН} / \text{м}^2 < 400 \text{ кН} / \text{м}^2$  – условие выполняется;

при  $V = 4 \text{ м/сут}$   $R = 306,3 \text{ кН} / \text{м}^2 < 400 \text{ кН} / \text{м}^2$  – условие выполняется.

б) Сопротивление в максимально нагруженной гидростойке:

при  $V=2\text{м/сут}$   $(P_j)_{max} = 831 \text{ кН} > [P] = 650 \text{ кН}$  – условие не выполняется.

при  $V = 4 \text{ м/сут}$   $(P_j)_{max} = 689,7 \text{ кН}$ . Данное значение превосходит допустимое в 1,06 раза.

в) Сближение кровли и почвы в лаве определяем по формуле (3.3)

$$\Delta u_y = m \left[ -0,311 + 0,115 \frac{l_n - L}{l_n} + 0,364 \frac{E_y}{E_n} + 0,541 \frac{\gamma_n H}{(\sigma_c)_y} \right] =$$

$= 0,220 \text{ м} < [\Delta u_y]$  – условие выполняется с запасом ( $[\Delta u_y] = 0,85 \text{ м}$ ).

Из полученных результатов следует, что при  $V_{л} = 4 \text{ м/сут}$  крепь КМ87 с укороченной консолью в рассматриваемых условиях работает с незначительным превышением сопротивления в передней, наиболее нагруженной гидростойке, а по жесткости имеет значительный запас.

Следовательно, она может достаточно эффективно использоваться в зонах ПГД от целиков смежных пластов, но при условии, что скорость подвигания лавы  $V_{л}$  будет не менее  $4 \text{ м/сут}$ .

## Выводы

1. Путем множественного корреляционного анализа рассчитанных данных для условий надработки и подработки с учетом направления движения лавы относительно краевой части смежного пласта установлены соотношения для максимальных значений сближений почвы и кровли очистной выработки и максимальных коэффициентов концентрации напряжений  $\sigma_{yy}$  в кровле отрабатываемого пласта в зоне опорного давления впереди очистного забоя.

2. Применительно к разработке пласта под целиком получена нелинейная корреляционная зависимость размера зоны повышенного горного давления впереди очистного забоя от ширины целика и мощности междупластья.

3. Для условий надработки, в случае, когда забой находится под краем целика, установлена нелинейная корреляционная зависимость максимального напряжения  $\sigma_y$  в кровле разрабатываемого пласта в зоне повышенного горного давления впереди лавы от глубины разработки, физико-механических характеристик угля и породы кровли, а также от ширины целика и мощности междупластья.

4. На основе установленных корреляционных соотношений разработана методика расчета рациональных параметров механизированной крепи при работе в зонах ПГД от целиков и краевых частей смежных пластов. В отличие от известных методик в разработанной методике, действующая на перекрытие нагрузка определяется расчетом. При этом учитываются свойства угля, концентрация напряжений в области опорного давления впереди забоя и скорость подвигания лавы.

5. По разработанной методике определены реакции в гидростойках (сопротивления) крепи в зонах ПГД от целиков и краевых частей смежных пластов и показано, что для ее эффективной работы необходимо укоротить консоль перекрытия на 0,33 м, т.к. при этом увеличивается сопротивление крепи у забоя и более равномерно нагружаются гидростойки.

6. Показано, что по фактору горного давления на крепь скорость подвигания лавы должна быть не менее 4 м/сут.

7. Установлено, что при движении очистных забоев со скоростью не менее 4 м/сут безопасными, по фактору горного давления, являются расстояния между лавами смежных пластов  $L = 65$  м и  $L = 60$  м для условий подработки и надработки соответственно.

## ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЯВЛЕНИЙ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ В ОЧИСТНЫХ ЗАБОЯХ

Для проверки основных теоретических положений, уточнения методики и получения фактических значений, рассматриваемых параметров, при различных вариантах влияния целиков и краевых частей смежных пластов на проявление горного давления, в очистных забоях шахт «Відродження», «Бендюзька», «Лісова», «Степова» та «Великомостівська» ГП «Львовуголь» проведен ряд натурных исследований.

Исследования проводились, под руководством и при непосредственном участии авторов. Были установлены фактические значения сближений боковых пород в лавах, силовые параметры крепи, изучен характер разрушения кровли и пласта [107].

Исследования проводились по специально разработанной методике, учитывающей основные положения и требования известных отраслевых методик [72].

Кроме того, с целью оценки достоверности в данной главе приводятся данные расчетов напряженно-деформированного состояния пород вокруг пластовой выработки, выполненные по разработанному алгоритму для тех условий, которые моделировались во ВНИМИ на эквивалентных материалах [108], и соответствующие результаты сравниваются.

### 4.1. Характеристика условий шахтных исследований

Исследования выполнены в лавах, отрабатывающих наиболее характерные для региона пласты в зонах повышенного горного давления от целиков и краевых частей в условиях над- и подработки. Для сравнения наблюдения велись и вне зон влияния целиков и краевых частей смежных пластов. Горно-геологическая и горнотехническая характеристика лав представлена в таблице 4.1. Стратиграфические колонки пластов и вмещающих пород изображены на рис. 4.1. Из табл. 4.1. видно, что вынимаемая мощность отрабатываемых угольных пластов изменяется в пределах от 1,4 до 1,6 м; угол падения пласта не превышает  $3^{\circ}$ ; длины лав составляли 142-180 м.

Породы междупластий представлены в основном тонкими слоями аргиллитов, алевролитов и песчаников крепостью соответственно от  $f = 3$  до  $f = 7$ , крепость угля составляет  $f = 1,5-2$  по шкале М. М. Протодьяконова. Мощности междупластий колеблются от 8,8 до 40,5 м.

Система разработки – длинными столбами по простиранию. Лавы оборудованы механизированными комплексами КМ87, с комбайнами 1ГШ68. Выкопировки из планов горных работ и расположение влияющих целиков относительно отобранных лав приведены на рис. 4.2 – 4.5.



Таблица 4.1

## Горно-геологическая и горнотехническая характеристика

№ п.п.	Шахта, лава, пласт	Длина лавы, м	Вынимаемая мощность пласта, м	Кровля пласта	Почва пласта	Мощность пласта	Наличие подработки или надработки	Подвигание лавы относительно целиков (краевых частей)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	«Лісова», 160, $n_7^e$	143	1,60	аргиллит $f=4-2 \dots 8,5$ м алевролит $f=6-2 \dots 6$ м пл. $n_7 - 0,2$ м алевролит – 4 м песчаник – 2 м	песчаник – 3 м алевролит – 6 м	$n_7^e - 15,6$ м $n_8^e - 40,5$ м	подработан пл. $n_7^e$ в 1994 г.; пл. $n_8^e$ - в 1987 г	под краевую часть пл. $n_7^e$ и $n_8^e$
2	«Степова», 111, $n_7^H$	180	1,48	аргиллит $f=5-2$ м алевролит $f=6-4$ м пл. $n_7 - 0,4$ м алевролит – 4 м песчаник $f=6-5$ м	алевролит – 7 м	$n_8^e - 40,2$ м	надработан пл. $n_8^e$ в 1984 г.	под целиком пл. $n_8^e$
3	«Бендюзька», 440, $n_8$	142	1,60	аргиллит $f=4-3,2$ м алевролит $f=6-5,6$ м	алевролит – 2,4 м песчаник – 5,8 м алевролит – 4,2 м аргиллит – 3,9 м	$n_8^e - 8,8$ м $n_7^e - 16,3$ м	надработан пл. $n_8^e$ в 1998 г. подработан пл. $n_7^e$	выход из-под краевой части пл. $n_8^e$

Продолжение табл. 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	«Відродження», 421, $n_8$	175	1,60	аргиллит – 3,4 м алевролит – 4 м песчаник – 5 м	аргиллит – 3,45 м песчаник – 6,1 м аргиллит – 6,2 м	$n_8^6$ – 11,8 м $n_7^H$ – 29,4 м	надроботан пл. $n_8^6$ в 1962 г. подроботан пл. $n_7^H$ в 1979 г.	переход под перпендикуляр- ным целиком
5	«Бендюзька» 415, $n_8$	152	1,40	песч.гл.сл. $f=5-2$ м песчаник $f=7-2,5$ м песч.гл.сл. – 3 м песчаник – 1 м	песчаник – 4,5 м песч.гл.сл. – 5 м	$n_7^6$ – 13,0 м	подроботан пл. $n_7^6$ в 1974 г.	переход под целиками
6	«Велико- мостівська», 409, $n_8$	165	1,43	аргиллит $f=4-1,5$ м алевролит $f=6-2,5$ м песчаник $f=7-4$ м алевролит $f=6-2$ м	алевролит – 1,5 м песчаник – 4 м	$n_7^6$ – 12,0 м $n_7^H$ – 19,0 м	подроботаны пл. $n_7^6$ и $n_7^H$	переход под двумя целиками
7	«Велико- мостівська», 408, $n_8$	165	1,45	аргиллит $f=4-1,5$ м алевролит $f=6-2,5$ м песчаник $f=7-4$ м алевролит $f=6-2$ м	алевролит – 1,5 м песчаник – 4 м	$n_7^6$ – 12,0 м $n_7^H$ – 19,0 м	подроботан $n_7^H$	надроботка параллельного целика пл. $n_7^H$
8	«Лісова», 536, $n_8^6$	150	1,30	аргиллит $f=4-2...3$ м песчаник $f=4-8...15$ м алевролит $f=6-2,5$ м	алевролит – 4 м песчаник – 10 м	$n_7^6$ – 28,2 м $n_7^H$ – 24,1 м	подроботаны пл. $n_7^H$	надроботка параллельного целика пл. $n_7^H$

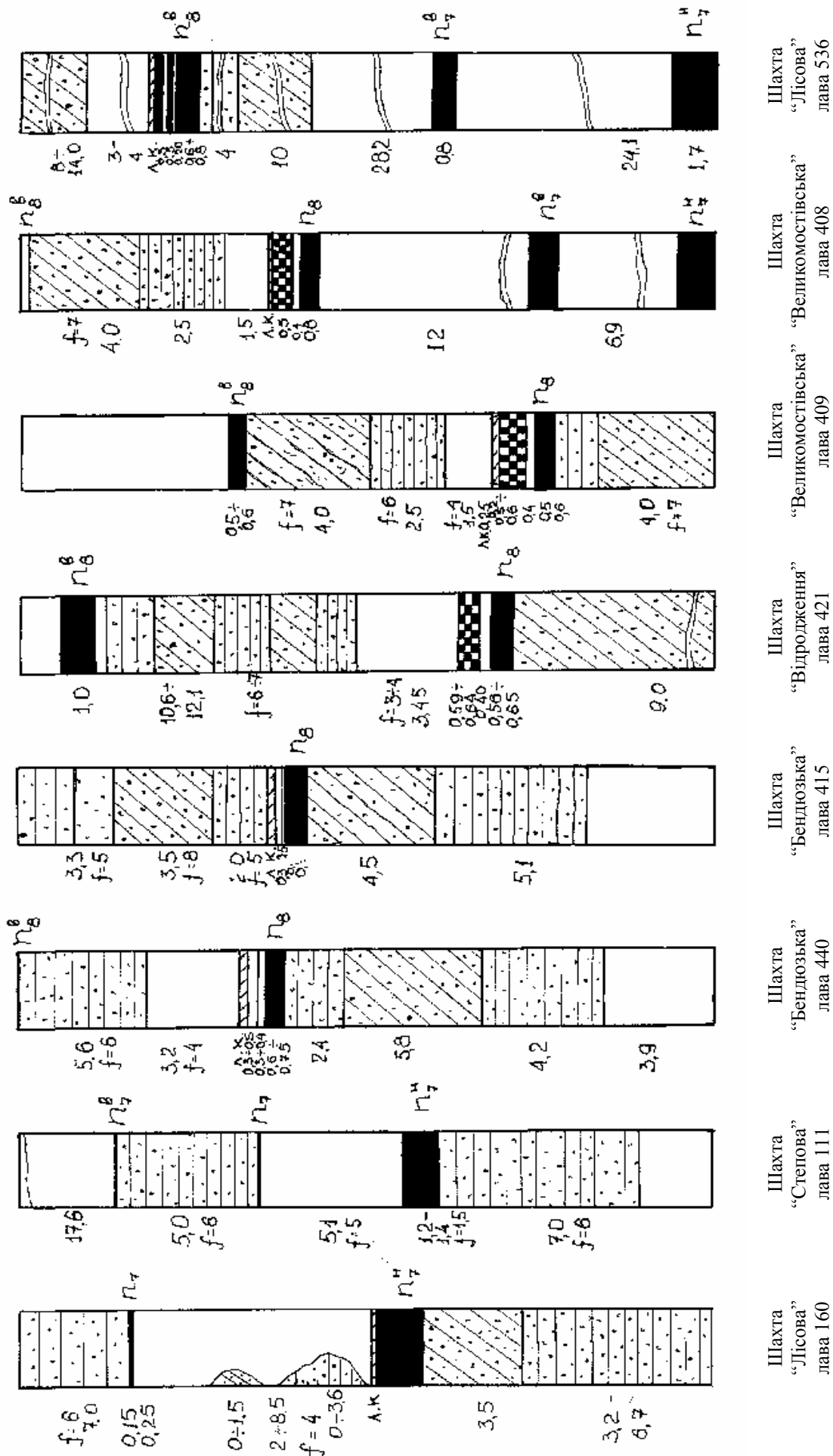
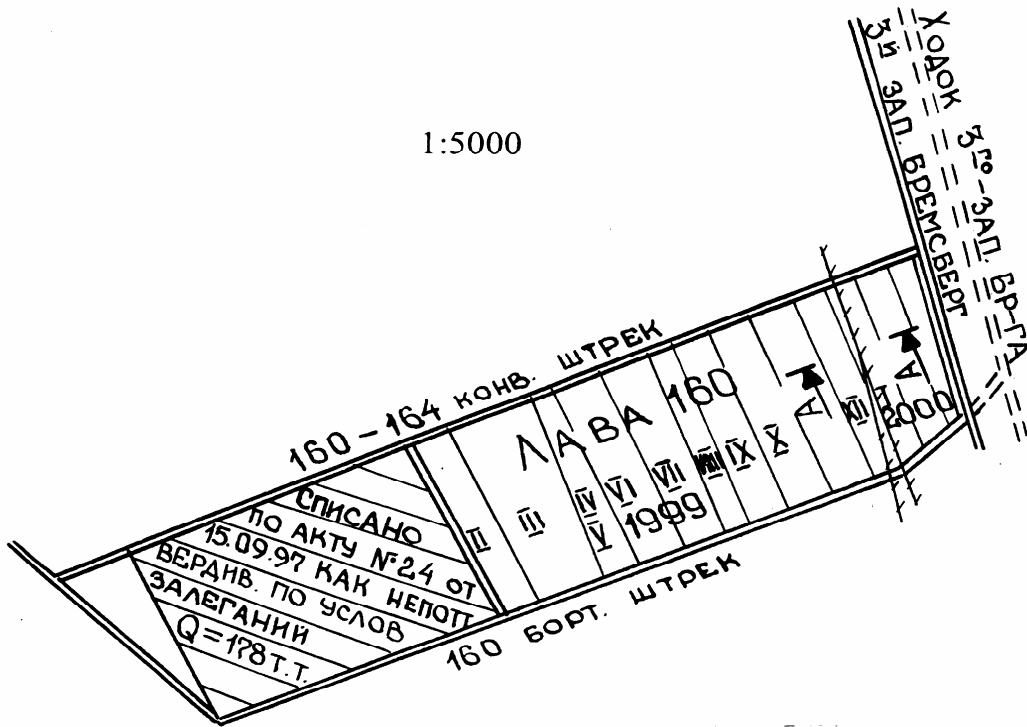


Рис. 4.1. - Стратиграфические колонки пластов и вмещающих пород

a)

1:5000



A-A

Вертикальный 1:500

Горизонтальный 1:1500

б)

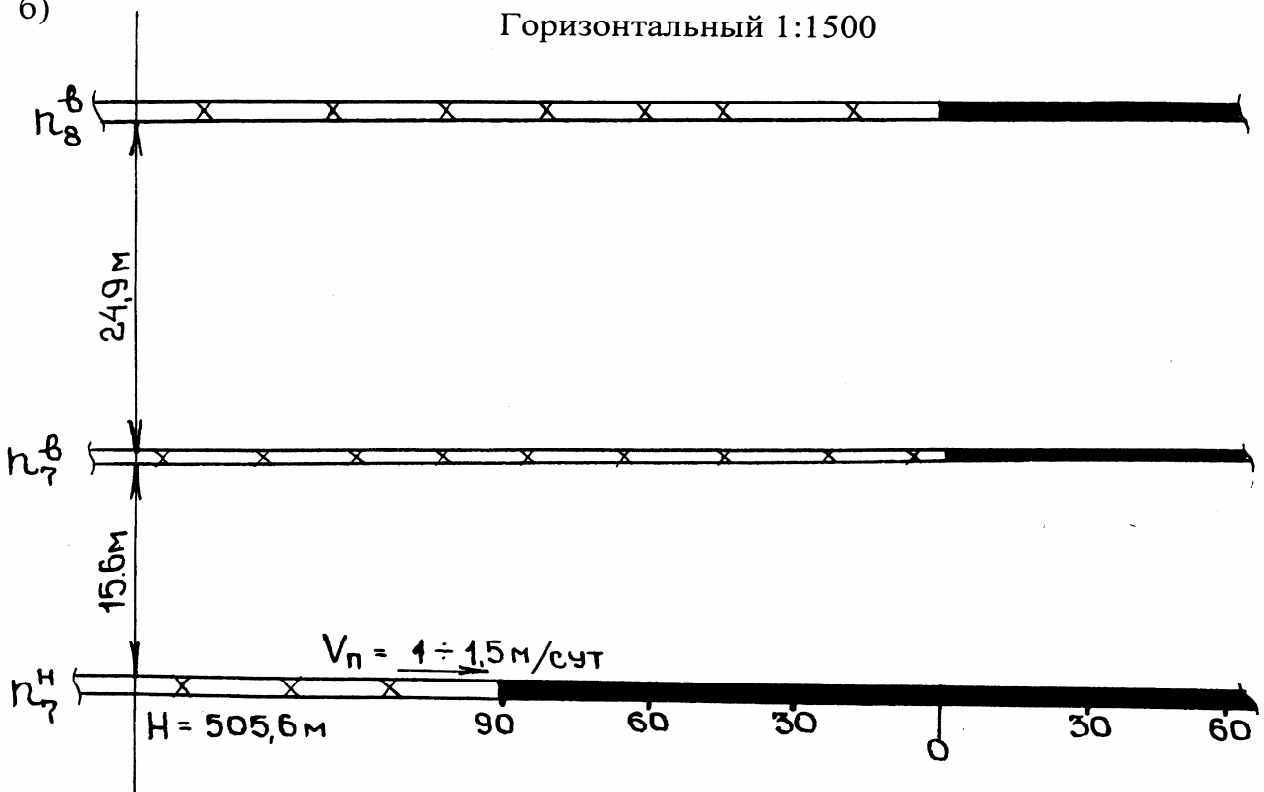


Рис. 4.2. - Выкопировка из плана горных работ (а) и продольный разрез выемочного столба 160 лавы (б)

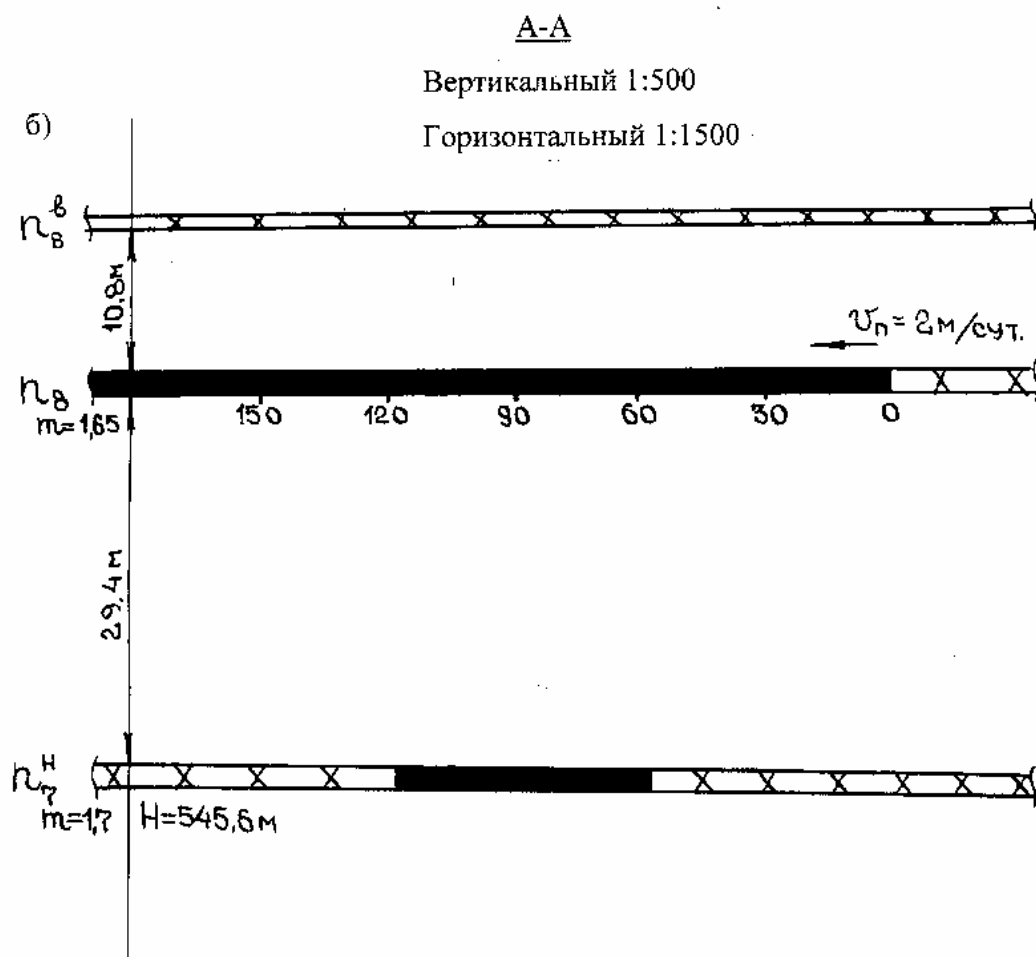
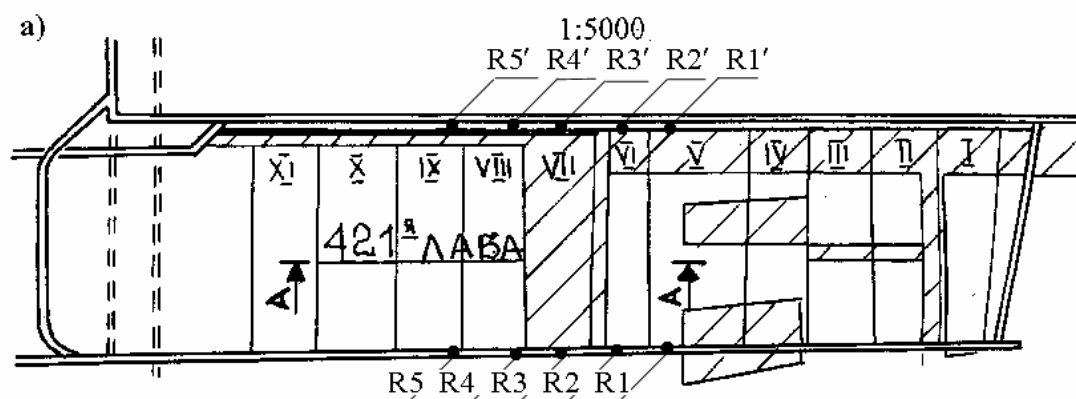


Рис. 4.3. - Выкопировка из плана горных работ (а) и продольный разрез выемочного столба 421 лавы (б)

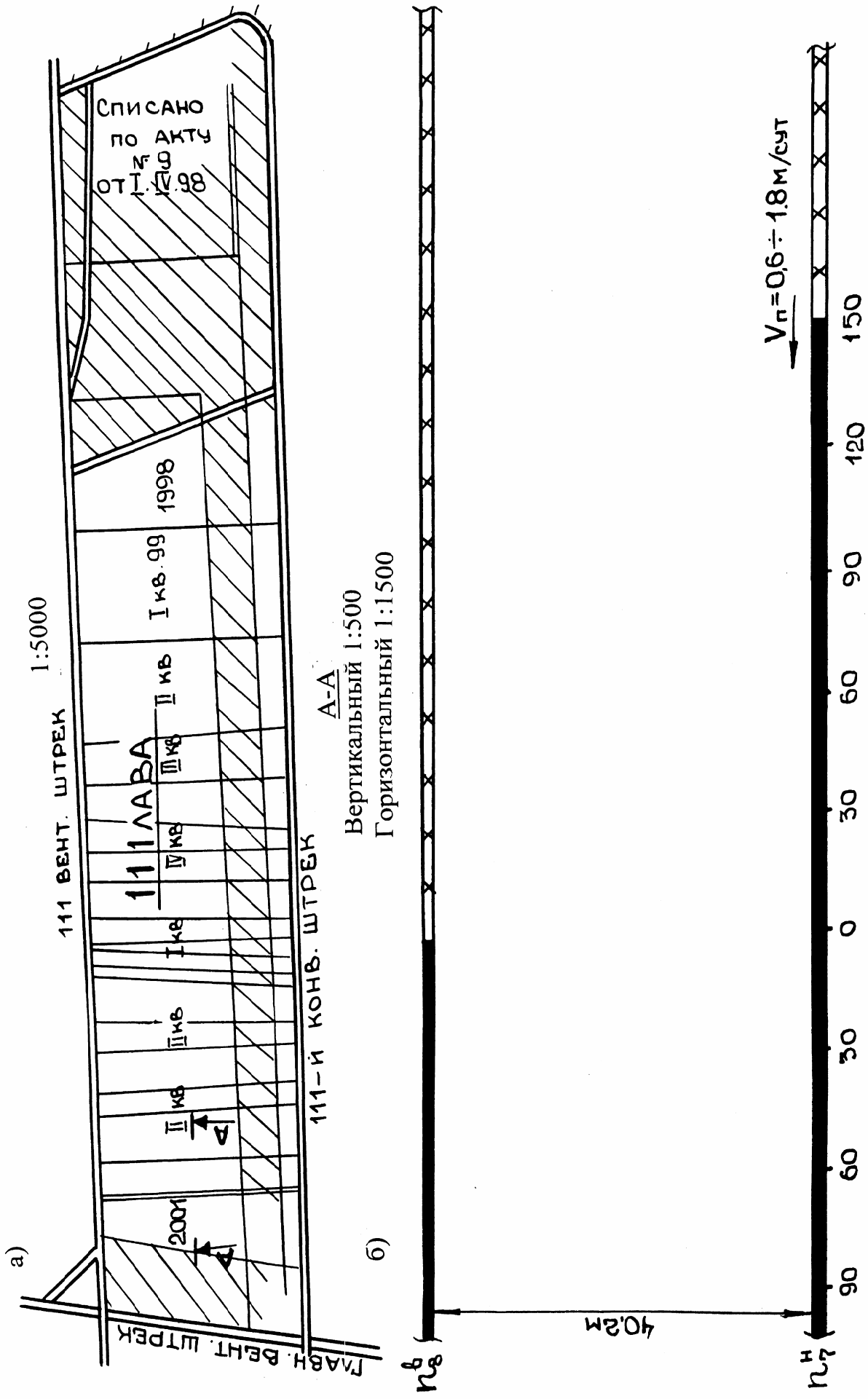


Рис. 4.4. - Выкопировка из плана горных работ (а) и продольный разрез выемочного столба 111 лавы (б)

a)

1:5000



A-A

Вертикальный 1:500

б)

Горизонтальный 1:1500

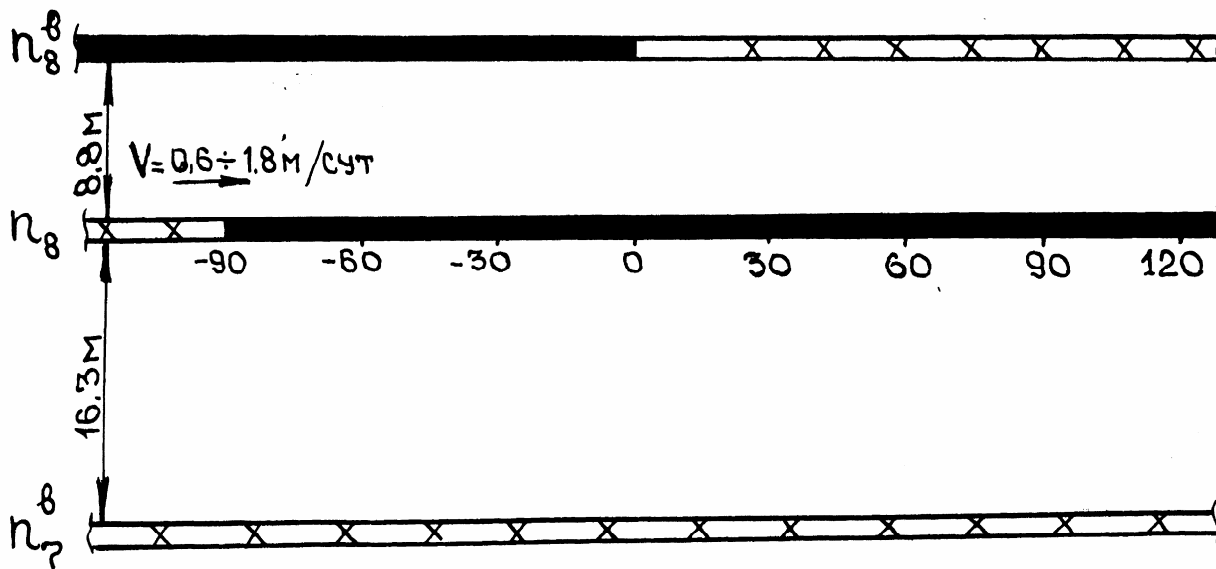


Рис. 4.5. - Выкопировка из плана горных работ (а) и продольный разрез выемочного столба 440 лавы (б)

## 4.2. Результаты шахтных исследований

Исследования проявления горного давления в рабочем пространстве лавы включали натурные наблюдения за характером взаимодействия механизированной крепи с боковыми породами, вывалообразованиями пород непосредственной кровли, изменением величин смещений боковых пород в рабочем пространстве лавы и фактическим сопротивлением гидростоек крепи.

### 4.2.1. Сближения боковых пород.

Измерение величин сближений боковых пород в рабочем пространстве восьми исследуемых очистных забоев производилось измерительными стойками СУИ-II путем промера расстояний между реперами, забиваемыми в породы почвы и кровли пласта на расстоянии 0,8 м друг от друга, по ширине лавы. Схема установки измерительных стоек приведена на рис. 4.6. Частота отсчетов определялась характером сдвижения боковых пород и скоростью подвигания очистного забоя.

О характере изменения величин сближений боковых пород по ширине лавы за цикл очистных работ, при различном ее положении относительно целиков и краевых частей смежных пластов можно судить по рис. 4.7.

Кривые 1 на этих рисунках показывают конвергенцию вне зоны влияния целика (краевой части), кривые 2 – в зоне ПГД, при подходе к целику (краевой части), кривые 3 – при работе под (над) целиком (краевой частью), а кривые 4 – в зоне ПГД при отходе от целика (краевой части). Из данных рисунков следует, что при работе лавы в зоне влияния целика (краевой части) опускания пород кровли у забоя лавы (в полосе до 1,6 м) увеличиваются в 2-6 раз, с 8-15 мм/цикл до 38- 46 мм/цикл. В то же время, сближения пород у границы призабойного пространства с выработанным уменьшаются в 1,5-2 раза, с 45-60 мм/цикл до 27-42 мм/цикл. При этом суммарные сближения пород за цикл составили 180-304 мм.

На рис. 4.8 и 4.9 приведены значения скоростей сближений боковых пород по длине и ширине лавы № 421 шахты “Відродження”, при работе в зоне влияния целика и вне ее. В зоне влияния целика максимальные величины конвергенции наблюдались у забоя лавы, были приурочены к процессу выемки пласта и составляли 2,6 мм/мин (кривая 1 на рис. 4.8). На расстоянии 0,8 м от забоя конвергенция в процессе выемки составляла уже 1,7 мм/мин, а на расстоянии 1,6–2,4 м (кривые 3 и 4 на рис 4.8) была практически постоянной. Передвижка крепи оказывала меньшее влияние на скорость конвергенции. В процессе этой технологической операции ее максимум составлял 1,7 мм/мин и фиксировался непосредственно у забоя лавы в полосе шириной примерно равной 1,6 м, далее, по ширине лавы, скорость конвергенция была постоянной.



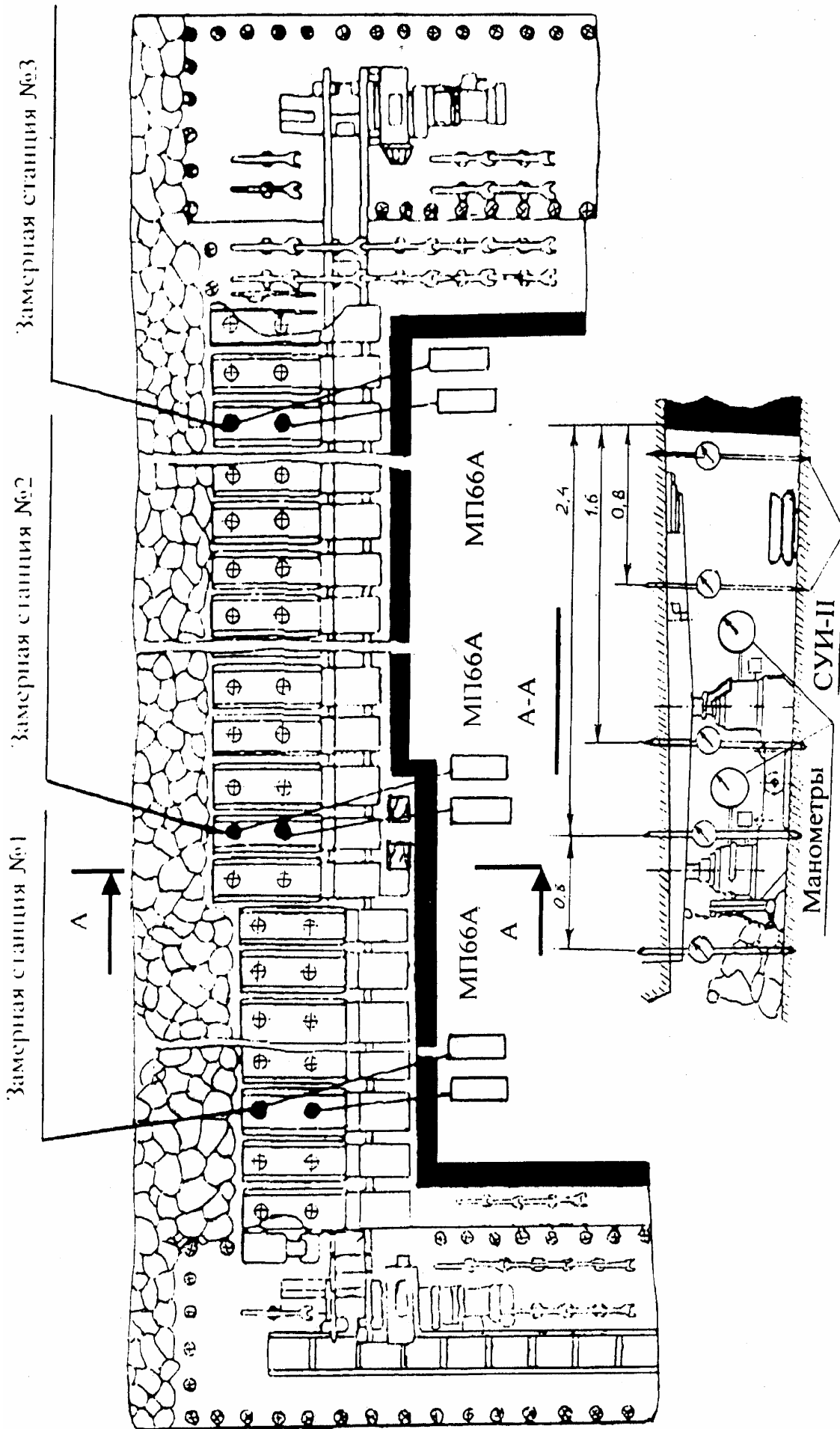


Рис. 4.6. - Схема размещения замерных станций в лаве

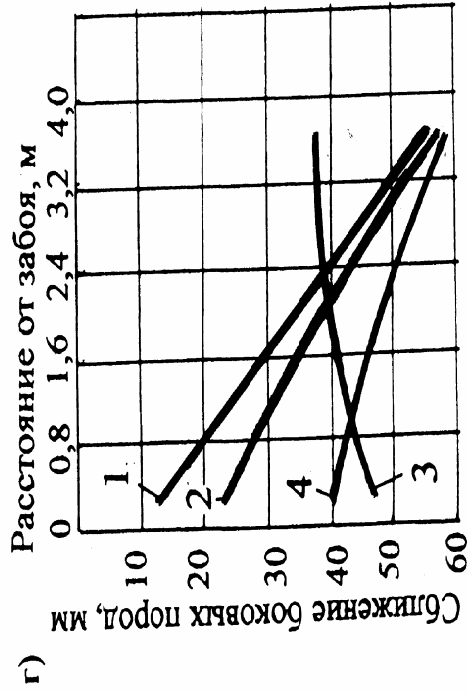
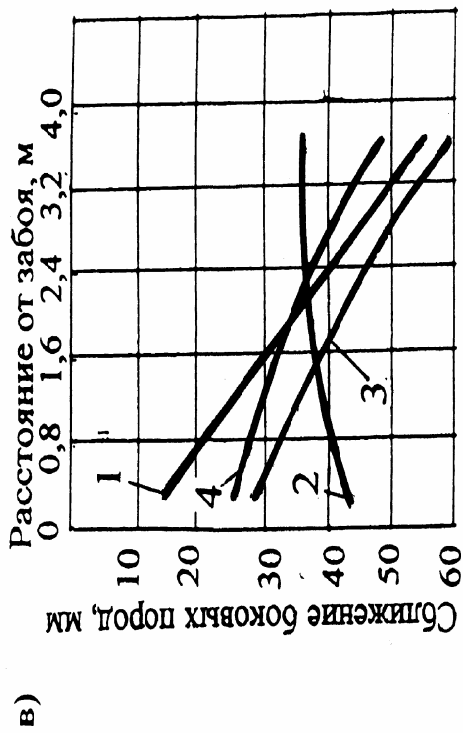
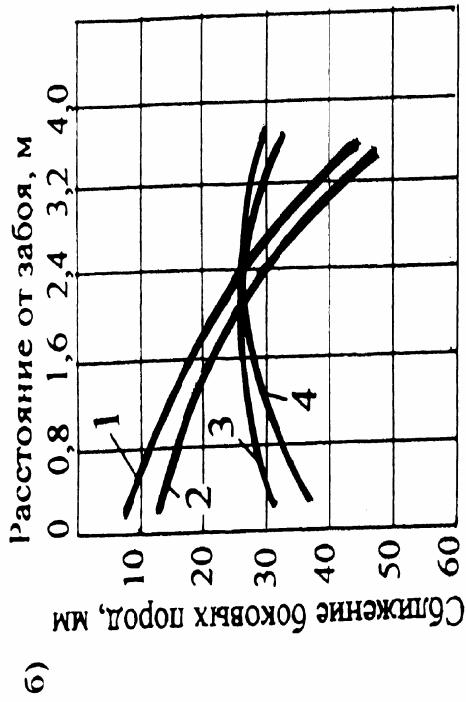
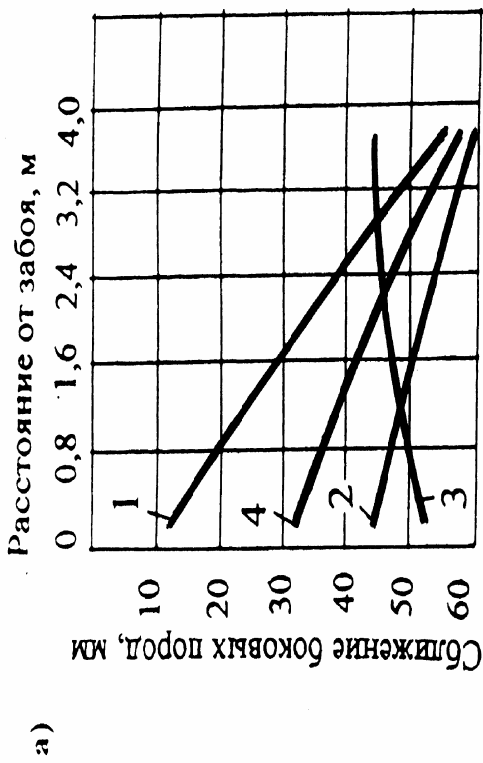


Рис. 4.7. - Конвергенция пород кровли и почвы по ширине лавы: а) под целиком; б) над целиком; в) при заходе под крайнюю часть; г) при выходе из под крайней части  
 1 – вне зоны влияния целика (краевой части); 2 – при подходе к целику (краевой части); 3 – при работе под (над) целиком (краевой части); 4 – при отходе от целика (краевой части).

Вне зоны влияния целика картина совсем иная: влияние технологических процессов прослеживается по всей ширине лавы, причем на скорости конвергенции в большей степени сказывается передвижка крепи (рис. 4.9).

Как показали наблюдения, скорость конвергенции у забоя в значительной степени зависит от скорости подачи комбайна. Максимальные значения конвергенции имели место при скорости подачи комбайна 4,2 м/мин и составляли 8 мм/мин, а минимальные, равные 2 мм/мин, при скорости 1 мм/мин. При этом влияние процесса выемки в первом случае распространялось впереди комбайна на расстояние 2 м, а во втором – на 21 м. Это видно из рис. 4.10.

Во всех исследуемых лавах отмечалось увеличение отжима пласта с 0,4 до 1,0 м и ухудшение состояния кровли в призабойном пространстве лавы при увеличении скорости подачи комбайна с 2,4-3,2 м/мин до 3,8 - 4,5 м/мин. Это объясняется тем, что при уменьшающихся размерах участка лавы, на котором сказывается влияние очистных работ, резко возрастают абсолютные значения сближений, за счет чего происходит интенсивные трещинообразования в слабых породах кровли и отжим краевой части пласта.

Наиболее благоприятным для механизированных комплексов был режим работы при скорости подачи комбайна 3,0...3,2 м/мин. При таких скоростях обеспечить высокую производительность шахт можно путем уменьшения остановок механизмов и увеличения машинного времени работы комбайнов. С этой целью по рекомендации авторов с 2001 года очистные забои были переведены на пятисменную работу.

Шахтные наблюдения во всех исследуемых лавах показали, что увеличение скорости  $V$  подвигания очистного забоя улучшает состояние кровли. В частности, было замечено, что при прочих равных условиях, увеличение  $V$  с 1,2 м/сут до 4,2 м/сут сокращает площадь вывалов в лаве в 5 – 8 раз.

Внедрение в промышленность сформулированных рекомендаций авторов показали, что в случае пятисменной работы лав при скорости подачи комбайна  $V_k = 3,0...3,2$  м/мин обеспечивается подвигание очистного забоя со скоростью  $V = 4,0...4,2$  м/сут. При этом нагрузка на лаву составляет 1500 т/сут.

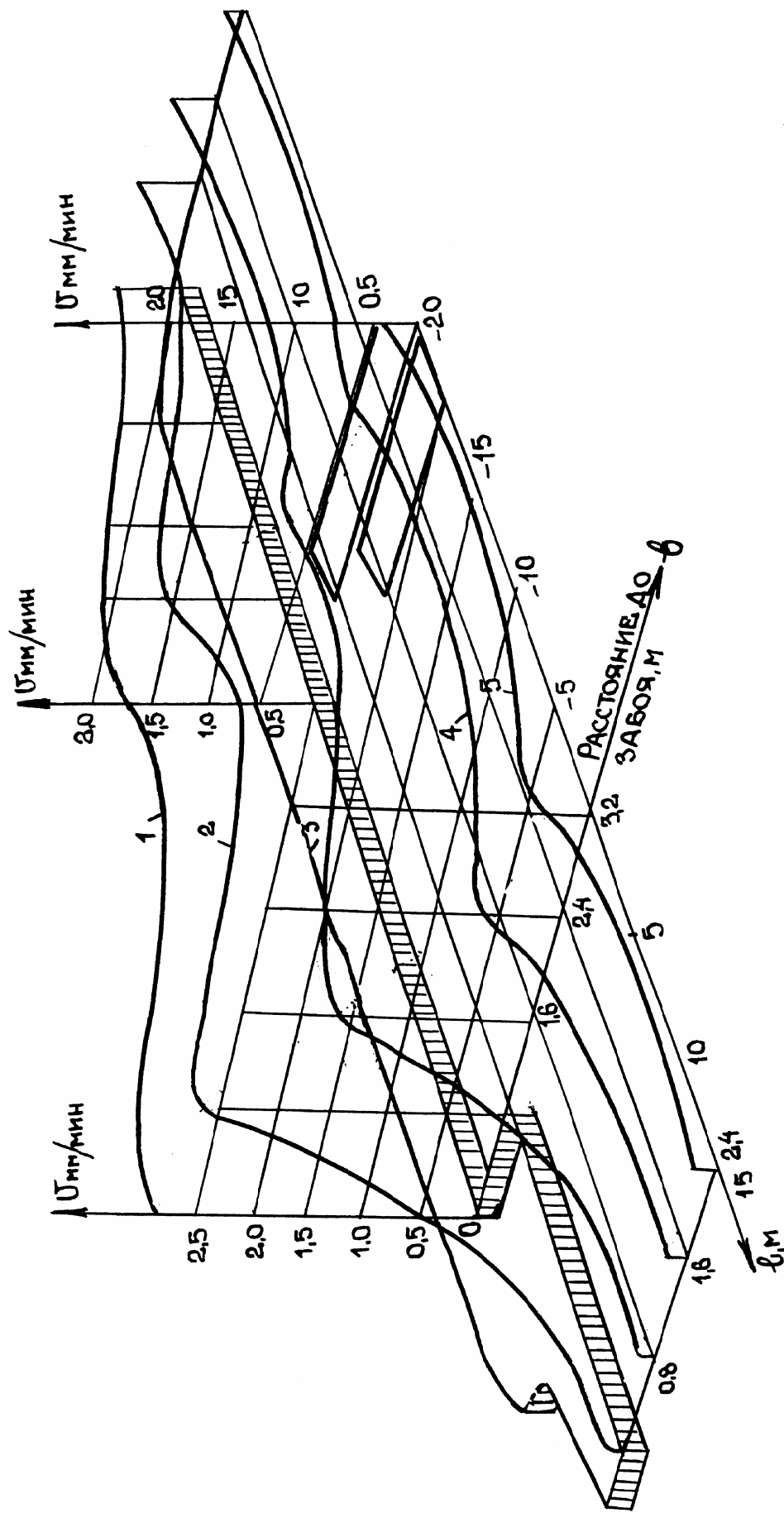


Рис. 4.8. - Изменение скорости конвергенции боковых пород по длине и ширине 421 лавы в зоне влияния целика  
 1 – расстояние от забоя 0,2 м; 2 – 0,8 м; 3 – 1,6 м; 4 – 2,4 м; 5 – 3,2 м.

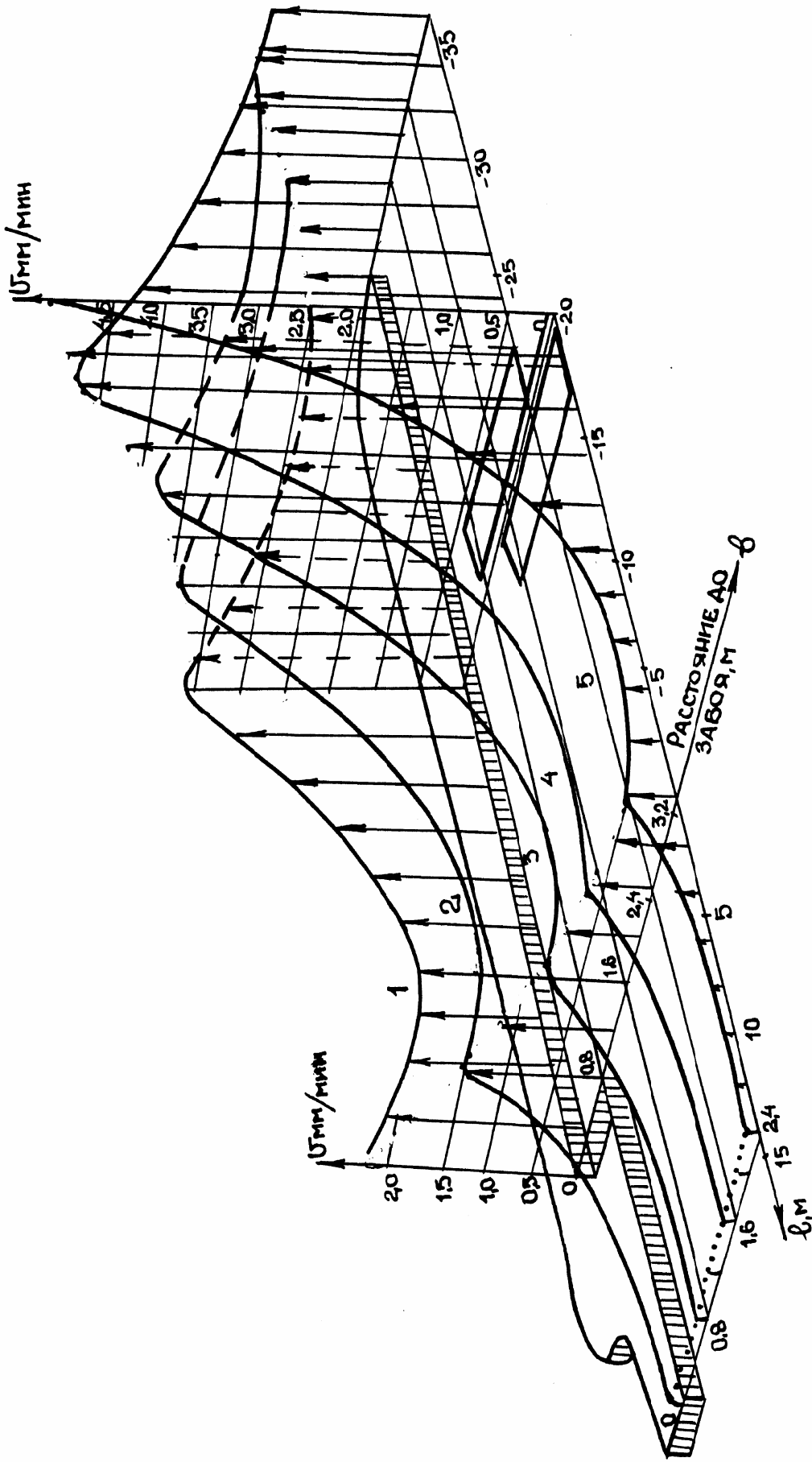


Рис. 4.9. - Изменение скорости конвергенции боковых пород по длине и ширине 421 лавы вне зоны влияния целика.  
 1 – расстояние от забоя 0,2 м; 2 – 0,8 м; 3 – 1,6 м; 4 – 2,4 м; 5 – 3,2 м.

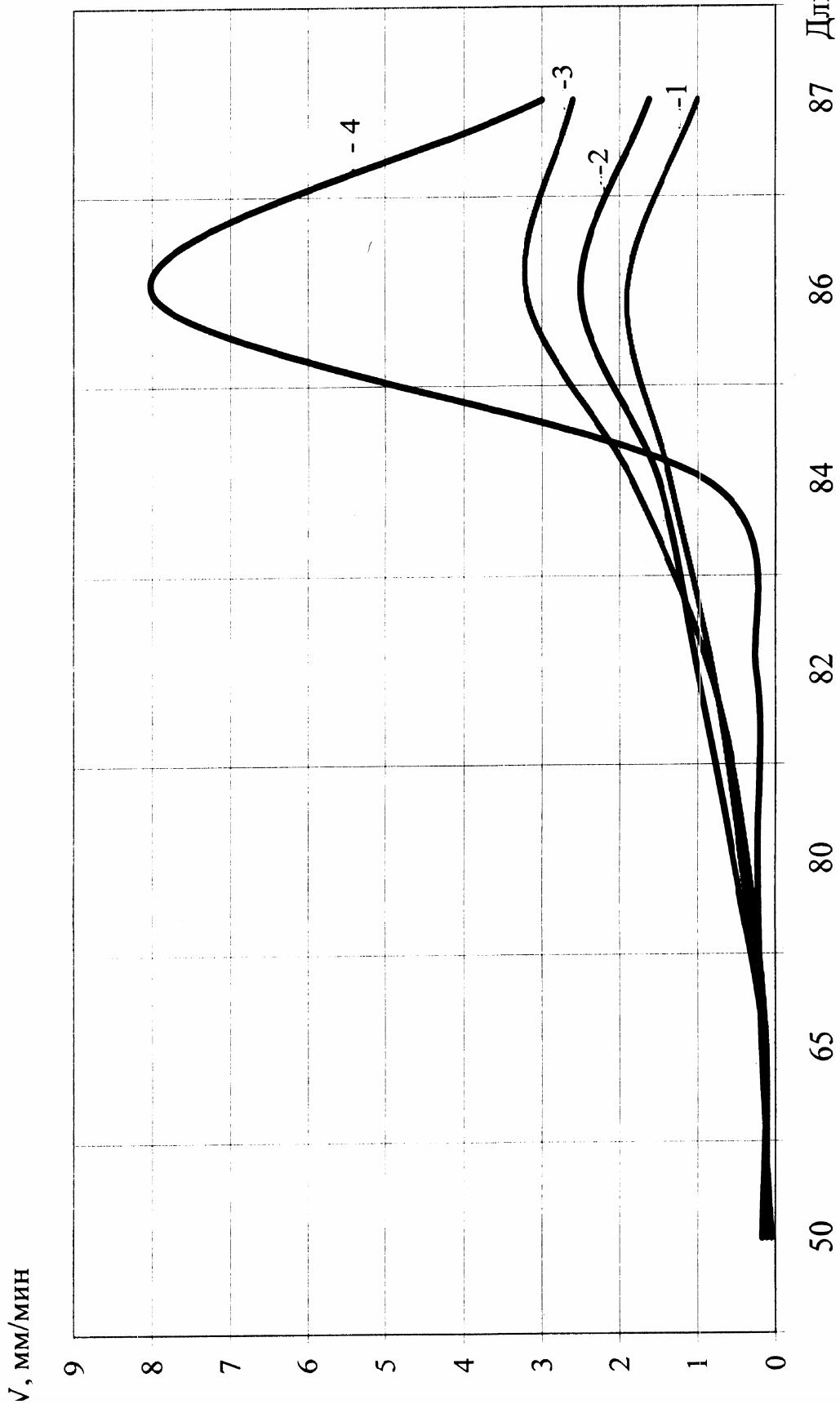


Рис. 4.10. - Изменение скорости конвергенции боковых пород у забоя по длине лавы при различных скоростях подачи комбайна: 1 -  $V=1$  м/мин; 2 -  $V=2$  м/мин; 3 -  $V=3$  м/мин; 4 -  $V=4$  м/мин.

#### 4.2.2. С и л о в ы е п а р а м е т р ы к р е п и.

Фактическое сопротивление гидростоек секций механизированной крепи КМ87 измерялось самопищущими манометрами М66А и манометрами часового типа, которые подключались в рабочие полости передних и задних стоек. Замерные станции оборудовались на трех секциях в средней части лавы и на расстоянии 15-20 м от штреков. Оборудование замерных станций показано на рис. 4.6. Объем измерений по каждой лаве составлял не менее 100 циклов или 60 м подвигания очистного забоя.

Наблюдения за проявлениями горного давления в отобранных лавах шахт ГП «Львовуголь» показали, что нагрузка на крепь, в течение выемочного цикла, формируется по-разному, в зависимости от состояния и свойств пород кровли. Выделяются два основных типа нагружения крепи.

Первый тип (рис.4.11) характерен тем, что гидростойки в течение одного выемочного цикла работают в режиме нарастающего сопротивления. После передвижки и распора секций наблюдается рост нагрузок, затем их стабилизация или слабый рост в течение всего выемочного цикла. При выемке следующей полосы угля и передвижке соседних секций нагрузка резко возрастает, достигая максимального значения перед передвижкой секции. Такой характер нагружения наиболее часто встречался вне зоны влияния целиков и краевых частей смежных пластов. В этих условиях величины начального распора передних и задних стоек имели значения 280 и 360 кН, что составляет соответственно 43,1% и 55,4% от несущей способности гидростойки.

Средние значения максимальных нагрузок, при скорости подвигания забоя  $V = 1,2 - 2,0$  м/сут, составляли: в передних стойках – 61,5%, в задних – 67,7% от несущей способности стойки и были равны, соответственно 370 - 450 кН и 390 – 485 кН.

Во всех исследуемых лавах, при работе вне зоны влияния целиков (краевых частей), среднее значение максимальных нагрузок на задние стойки больше, чем на передние, что вызвано следующими факторами:

- большей величиной начального распора, задаваемого задним стойкам;
- большей величиной опусканий кровли на уровне задних стоек;
- наличием консоли зависающих пород непосредственной кровли, вес которой передается, в основном, на заднюю стойку.

По данным наблюдений длина консоли составляла 1 – 1,5 м (рис 4.11). Срабатывание предохранительных клапанов отмечено всего в 5% случаев – в задних стойках и 2% – в передних.

Все случаи срабатывания клапанов были связаны с длительными простоями очистных забоев.

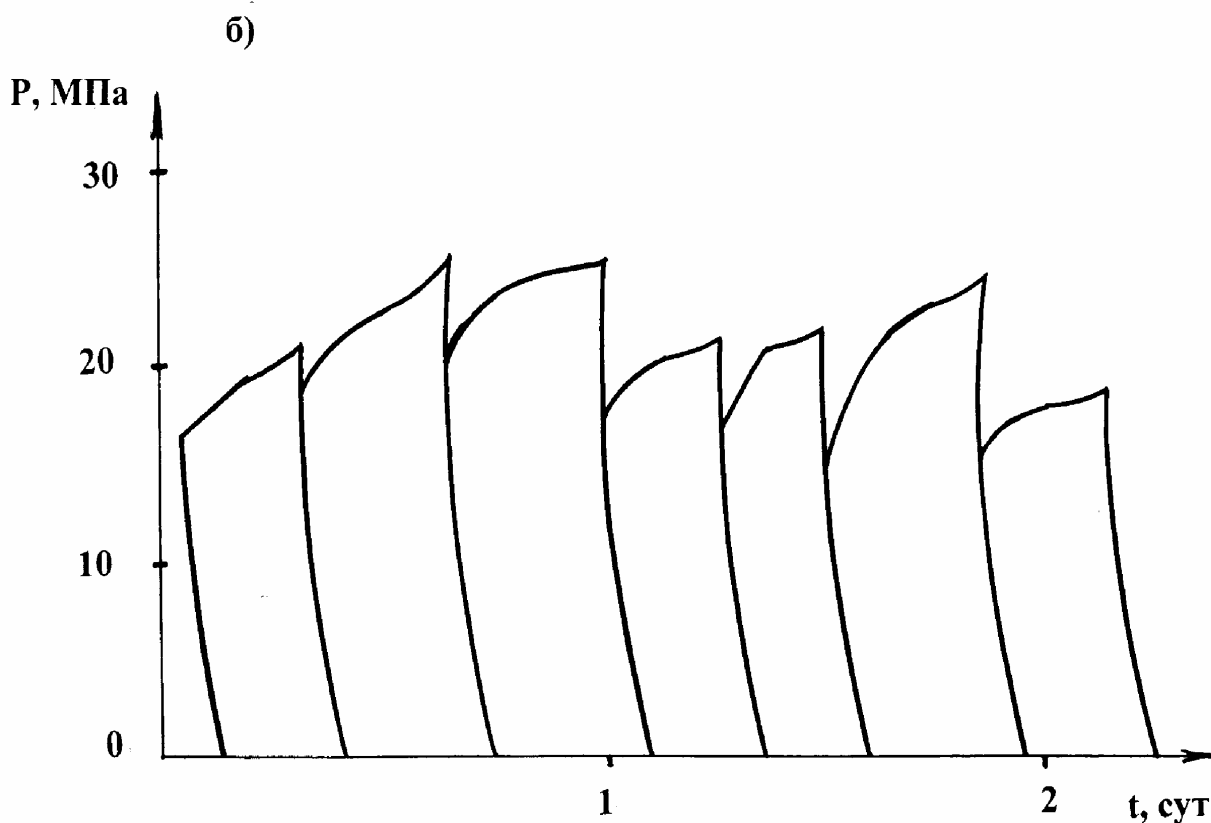
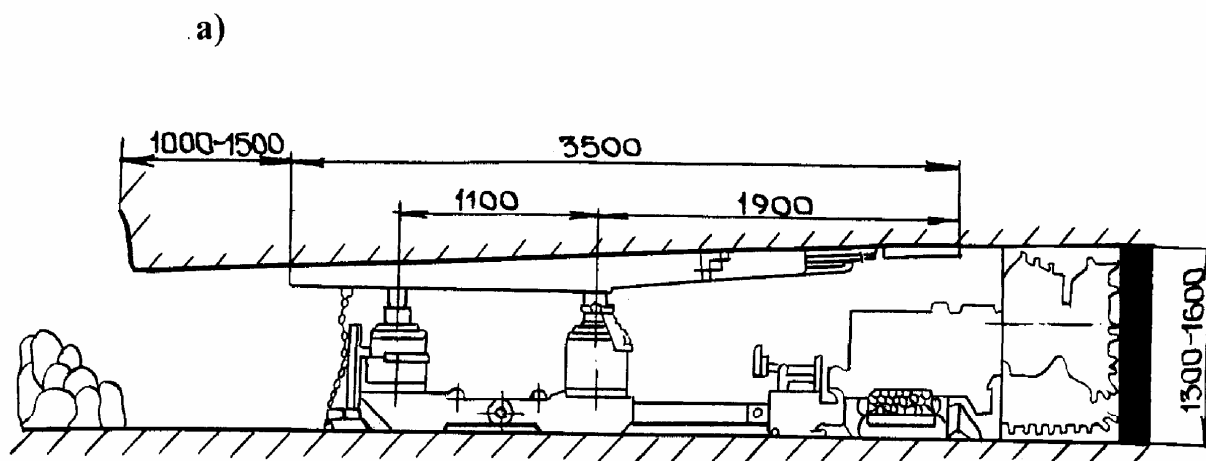


Рис. 4.11. - Состояние пород кровли (а) и характер нагружения гидростоек крепи КМ87 (б) при работе вне зоны влияния ПГД

Второй тип нагружения крепи (рис. 4.12), характерен тем, что гидростойки работают в разных режимах, то есть одна из стоек работает с нарастающим сопротивлением, другая с падающим.

крепи КМ87 (б) при работе вне зоны влияния ПГД



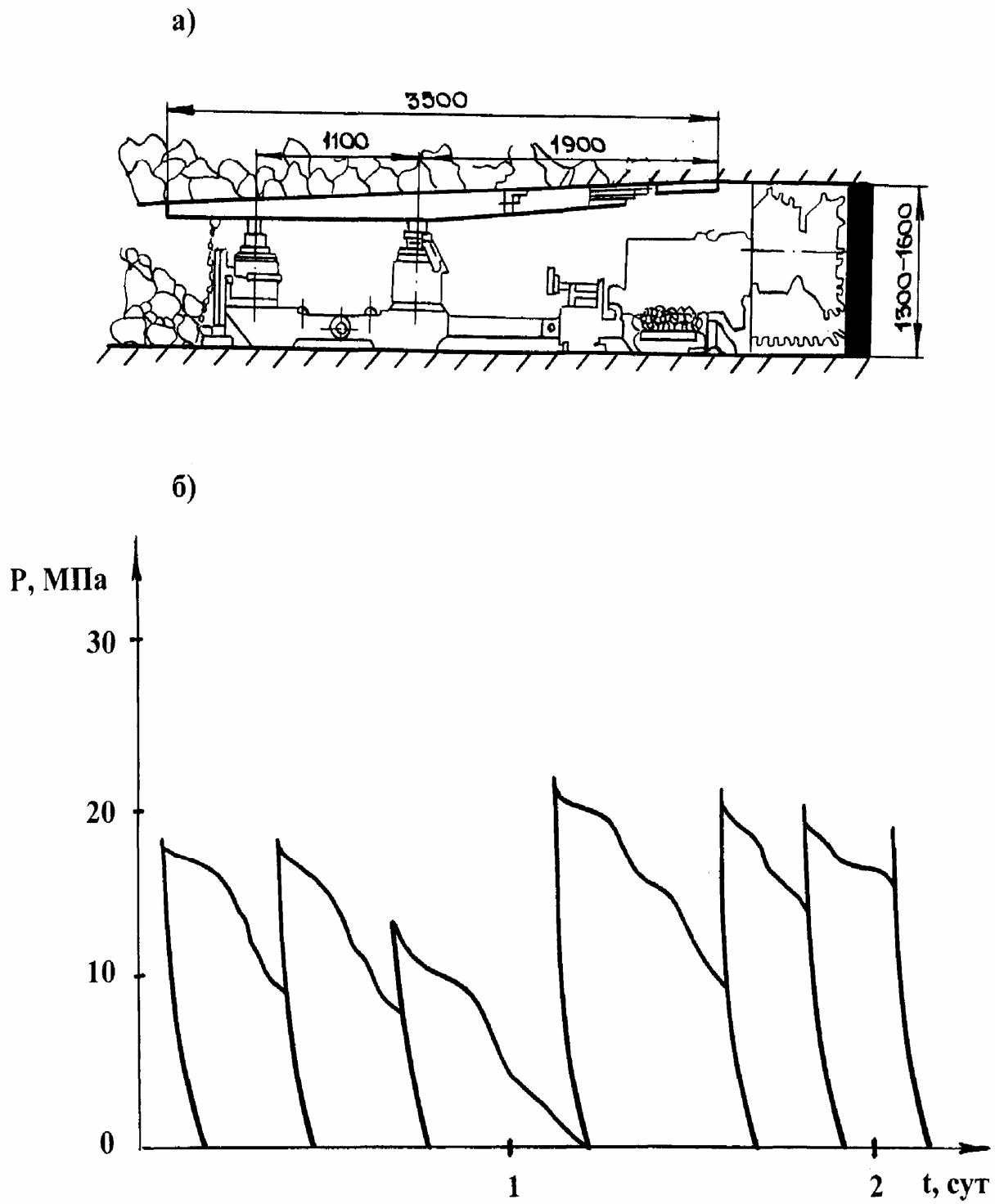


Рис. 4.12 - Состояние пород кровли (а) и характер нагружения гидростоек крепи КМ87 (б) при работе в зоне влияния ПГД

После передвижки и распора секций, обычно наблюдается падение напряжений в задней стойке крепи и рост напряжений в передней. Такие случаи отмечаются в основном при работе лавы в зоне влияния целиков и краевых частей, особенно при подходе и отходе от них. Так, при подходе 111-й лавы к целику, расположенному на вышележащем пласте, был отмечен ряд случаев повышения реакций в передних стойках крепи на 120-180 кН и падения

реакций – в задних на 20–50 кН. Такой характер формирования нагрузки на крепь можно объяснить следующим образом. В зоне ПГД за счет повышенной трещиноватости непосредственной кровли на перекрытиях крепи образуются породные «подушки». При этом первый контакт пород с перекрытием крепи, как правило, происходит на расстоянии 0,6 – 1,0 м от забоя. Над задней стойкой перекрытие практически теряет контакт с кровлей, происходит «обыгрывание» крепи. В целом же нагрузки на крепь, в этой зоне, были близки к максимальным и приходились на переднюю стойку.

При отходе от целика картина изменялась, и крепь работала по первому типу нагружения.

При подходе 421-й лавы к целику, расположенному на нижележащем пласте, возросли нагрузки на задние стойки крепи (с 340 до 420 кН). Во время подхода к краю целика и схода с него, значительно возросли нагрузки на переднюю стойку (с 400 до 600 кН), был отмечен ряд срабатываний предохранительных клапанов (27% случаев). Такая же картина наблюдалась в 415 лаве, однако значения нагрузок были ниже на 20 - 60%, что можно объяснить высокой скоростью подвигания очистного забоя (3,6 - 4,8 м/сут).

При работе лав в зоне вывалов пород непосредственной кровли возникала ситуация, когда обе гидростойки работали в режиме падающего сопротивления. После передвижки и распора секций наблюдалось падение нагрузок, затем их стабилизация или слабое падение в течение всего выемочного цикла. При выемке следующей полосы угля и передвижке крепи соседних секций нагрузки изменялись (возрастали) незначительно. При этом фиксировались вывалы пород кровли на значительную высоту. Такая картина наблюдалась при малых скоростях подвигания очистных забоев в зонах влияния целиков и краевых частей смежных пластов.

Усредненные результаты замеров, характеризующих работу крепи в различных зонах ПГД от целиков (краевых частей) и вне этих зон приведены в таблице 4.2.

Из анализа результатов исследований силовых параметров крепи следует, что при работе лавы над (под) кромкой целика и отходе от нее, вследствие интенсивного опускания кровли в призабойном пространстве и отжима краевой части пласта значительно увеличивается нагрузка на переднюю стойку крепи. При этом задняя стойка практически не работает (данное обстоятельство нашло отражение в первом научном положении). Это указывает на необходимость корректировки конструкции крепи с целью увеличения сопротивления крепи у забоя.

Укорочение передней консоли крепи КМ87 на 0,33 м явилось первым шагом в этом направлении. Это предложение авторов было реализовано на шахте №4 «Великомостівська» (ныне «Відродження»).

Данное техническое решение позволило улучшить состояние кровли в призабойной части лавы, уменьшить вероятность посадки крепи «на жестко», повысить безопасность ведения работ.

Таблица 4.2

## Сопrotивления гидростоек крепи в различных зонах ПГД

Параметры	Направление движения лавы	Условия разра-ботки	Положение забоя	Скорость подвига-ния лавы, м/сут	Сопrotивление гидростоек, кН						
					передней			задней			
					начальный распор	рабочее сопротив-ление	начальный распор	рабочее сопротив-ление			
Шахта, лава											
Шахта "Лісова", лава № 160	под краевую часть	надра-ботка	L = -10 м	1,2	310-340	520-600	240-340	220-280			
Шахта "Степова", лава № 111	под целик	надра-ботка	L = 10 м	0,6	320-360	460-520	280-340	440-500			
											Шахта "Бендюзька", лава № 440
Шахта "Відрод-ження", лава № 421	над целиком	подра-ботка	L = 25м	1,8	320-330	460-480	270-280	360-410			
			L = -90 м	1,2	340-360	560-600	260-300	250-270			

4.2.3. Оценка состояния кровли очистного забоя. Оценка состояния кровли очистных забоев производилась в процессе работы лав в зонах ПГД от целиков и краевых частей и вне этих зон.

Наблюдения выполнялись в лавах № 421 шахты «Відродження», №160, № 556 шахты «Лісова», № 411 шахты «Степова», № 408 и № 409 шахты «Великомостівська», и в 415 и 440 лавах шахты «Бендюзька».

Исследования включали измерения геометрических размеров (длины, ширины, высоты) куполов вывалившихся пород в призабойной части лавы за последний цикл выемки.

Наблюдения проводились 2-3 раза в неделю, а при ухудшении состояния кровли и во время работы лавы в зоне влияния краевых частей смежных пластов – ежедневно.

В качестве первого критерия для оценки состояния кровли в очистном забое принималась средняя высота вывалов на каждой из секций механизированной крепи. Этот показатель получался путем суммирования высоты вывалов по каждому из замеров с последующим делением полученной суммы на количество замеров, то есть:

$$H_{cp,i} = \frac{\sum_{j=1}^n H_j}{n},$$

где  $H_{cp,i}$  – средняя высота вывалов на  $i$ -й секции механизированной крепи, м;

$H_j$  – высота вывалов на  $i$ -й секции крепи по одному из замеров, м;

$n$  – количество замеров.

Данный критерий позволяет установить распределение вывалов пород кровли по длине лавы, выявить участки с наиболее интенсивным вывалообразованием, а также зоны, где вывалообразование незначительно или отсутствует.

Распределение вывалов пород кровли по высоте, при различном расположении лавы относительно влияющего целика или краевой части и скорости подвигания очистного забоя, приведены на рис. 4.13.

Приведенное распределение свидетельствует о том, что вне зон ПГД если и имели место вывалы, то с небольшой высотой, в среднем равной 0,5 м. В зонах же влияния целиков и краевых частей, особенно при отходе от них, высота вывалов достигала 3,8 м.

В качестве второго критерия состояния кровли принят удельный показатель нарушенности ее вывалами  $K_6$ :

$$K_6 = \frac{\sum S_6}{S_0} \cdot 100\%,$$

где  $S_6$  – площадь вывалов, м<sup>2</sup>;

$S_0$  - площадь участка наблюдений, м<sup>2</sup>.

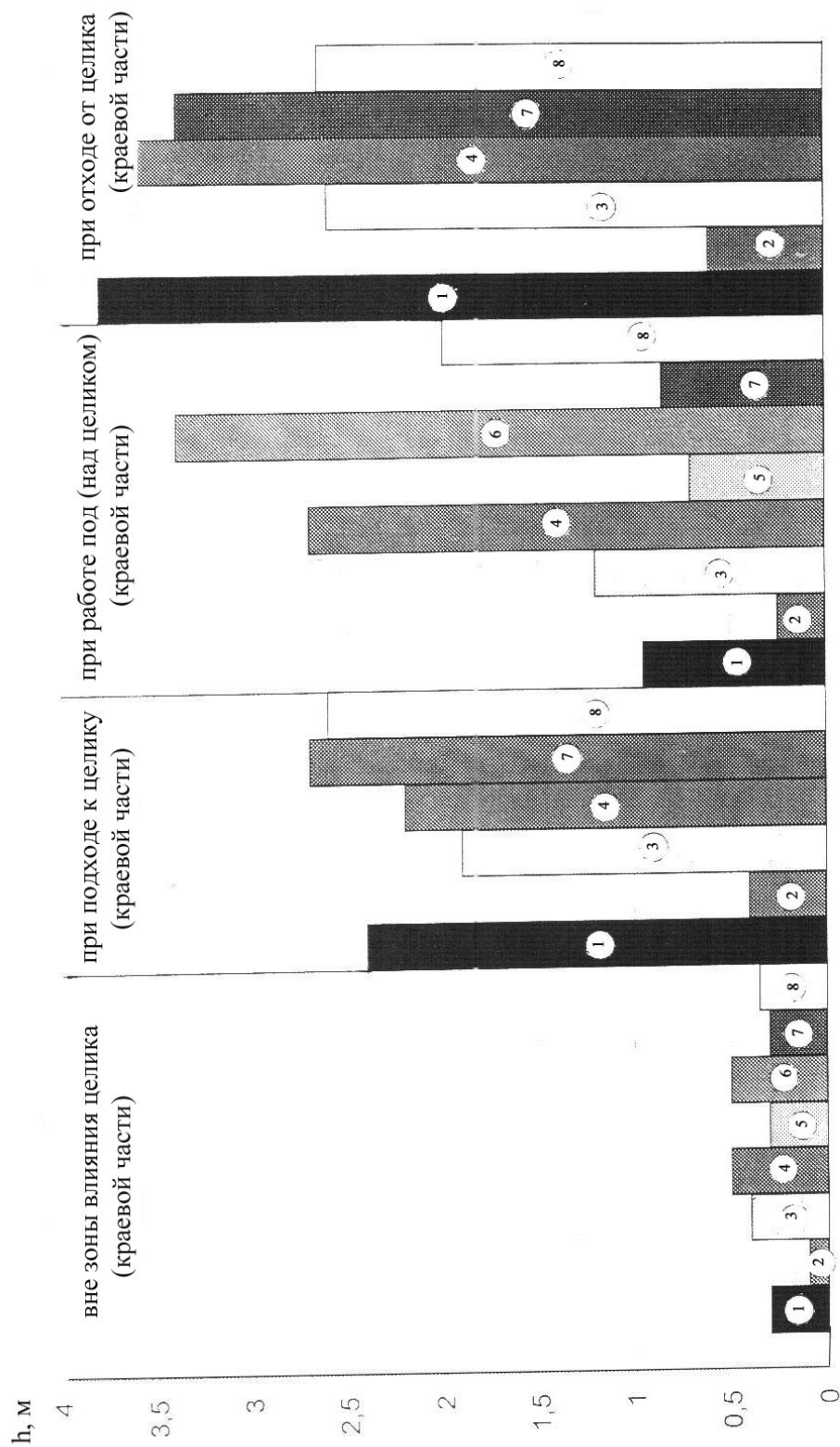


Рис. 4.13 – Распределение вывалов пород кровли по зонам влияния целиков (краевых частей) в лавах:  
 1 – 421; 2 – 415; 3 – 160; 4 – 440; 5 – 536; 6 – 408; 7 – 409; 8 – 111.

Изменения удельной площади вывалов, в зависимости от расстояния точки контакта перекрытия крепи от забоя приведены на рис. 4.14. Сплошные линии относятся к случаю подвигания лавы со скоростью 1,8 м/сут, а пунктирные – к случаю  $V = 4,2$  м/сут. Удельная площадь вывалов перед крепью растет с увеличением расстояния между забоем и первой точкой контакта верхняка с кровлей. Из данного рисунка следует, что значительное влияние на площадь вывалов оказывает скорость подвигания очистного забоя. Так, при прочих равных условиях, увеличение скорости подвигания очистного забоя с 1,8 м/сут до 4,2 м/сут сокращало площадь вывалов в лаве в 5 - 8 раз с 30...65% до 5...8%.

Третьим критерием, позволяющим количественно сравнивать состояние пород кровли в лаве является удельное вывалообразование пород кровли.

Сущность этого критерия заключается в том, что общий объем вывалов, образованных за последний цикл выемки на определенном участке лавы делится на длину этого участка. Иными словами, удельным вывалообразованием ( $V_{cp}$ ) является средний объем вывалов, отнесенный к 1 п.м. очистного забоя. Этот показатель может быть определен по формуле:

$$V_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n V_{cp,i}}{l_{уч}},$$

где  $V_{cp, i}$  – средний объем вывалов на  $i$ -й секции механизированной крепи м<sup>3</sup>;

$l_{уч}$  – протяженность рассматриваемого участка, м.

Анализ полученных данных (рис. 4.15), позволяет утверждать, что наибольшие вывалообразования происходят не над (под) целиками и краевыми частями влияющих пластов, а при подходе к ним или отходе от них. Зоны интенсивного вывалообразования располагались на расстоянии от -5 до +40 м от границ целика, а ширина этих зон зависела от мощности целика, его расположения относительно обрабатываемой лавы, мощности и строения междупластья. При крепких мощных слоях междупластья, или увеличении его мощности зона вывалообразования достигала максимальных значений на расстоянии 40...45 м от целика (краевой части).

При проведении исследований была замечена явная зависимость интенсивности вывалообразования от скорости подвигания очистного забоя. Так, в 415-й лаве удельное вывалообразование, за счет поддержания высокой скорости подвигания очистного забоя (3,6-4,8 м/сут), было в 5 - 7 раз меньше, чем в 421-й лаве, где скорость подвигания лавы в зоне влияния краевых частей не превышала 1,5 – 2 м/сут.

Во всех исследуемых лавах увеличение скорости подачи комбайна с 3,0 до 4,5 м/мин на подходе к целику и на выходе из-под краевой части смежного пласта увеличивало удельное вывалообразование с 10% до 70%.

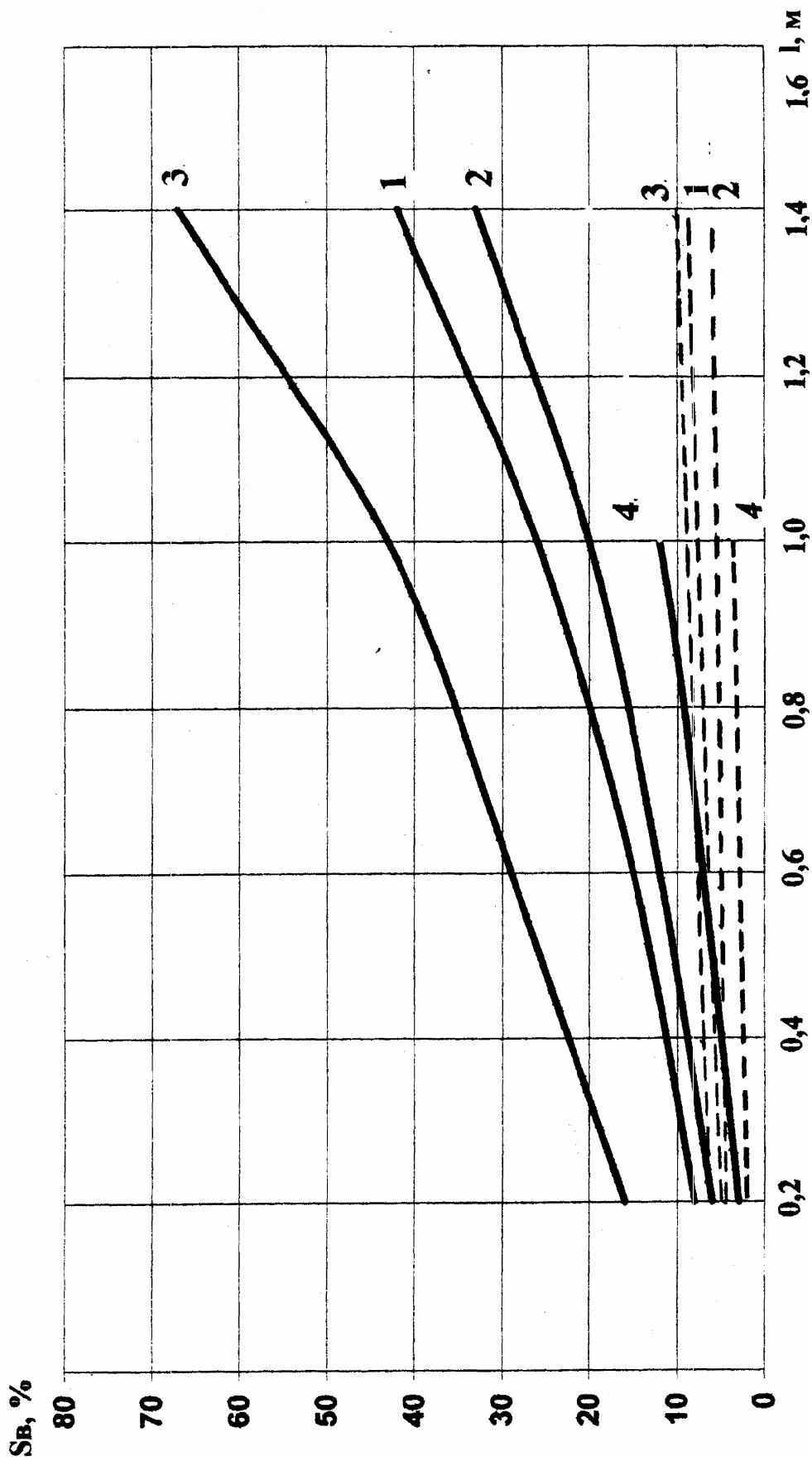


Рисунок 4.14. - Зависимости средней удельной площади вывалов перед крепью  $S_b$  от расстояния  $l$  между первой точкой контакта верхняка с кровлей и забоем.

1 - при подходе к целику; 2 - над целиком; 3 - при сходе с целика; 4 - вне зоны влияния целика;  
 скорость продвижения лавы — 1,8 м/сут; ----4,2 м/сут.

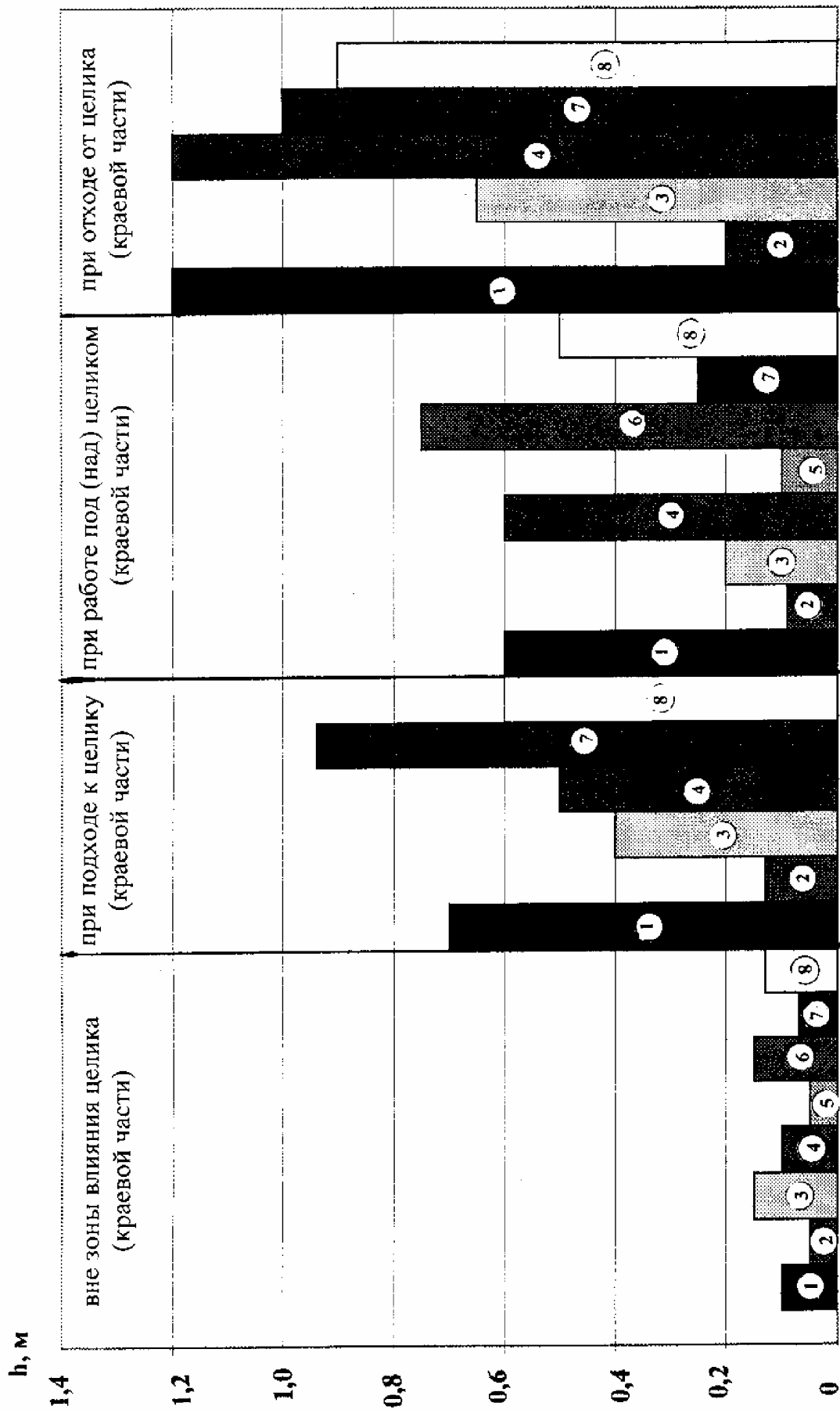
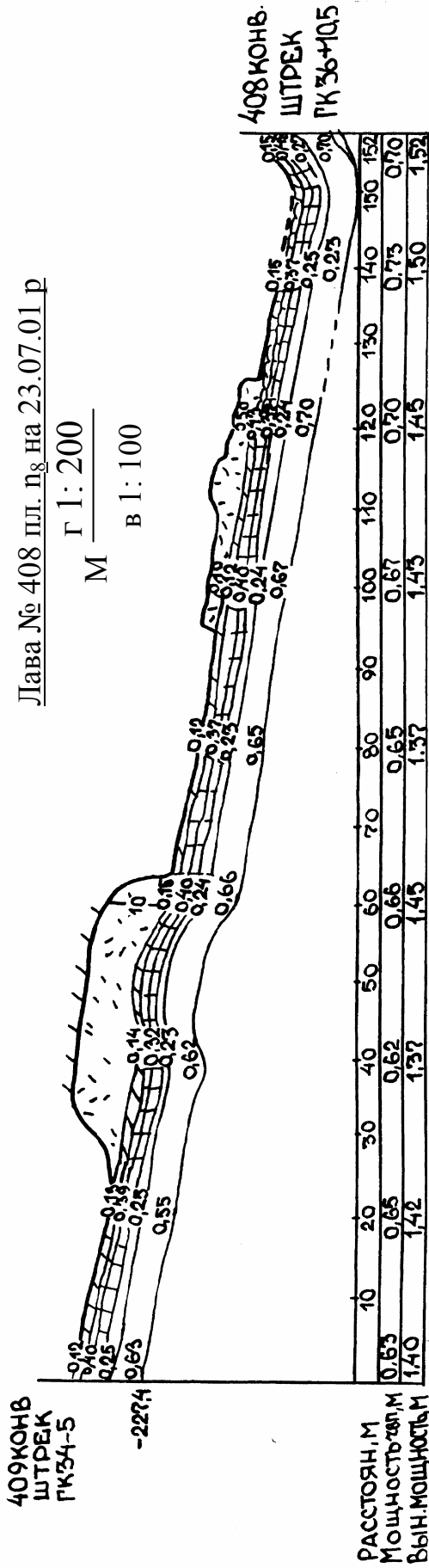


Рис. 4.15. - Удельное вывалообразование в лавах при работе в различных зонах влияния целиков (краевых частей) в лавах: 1 – 421; 2 – 415; 3 – 160; 4 – 440; 5 – 536; 6 – 408; 7 – 409; 8 – 111.



Лава № 408 пл. п.г на 23.07.01 р

Г 1: 200  
М  
В 1: 100



Лава № 408 пл. п.г на 28.08.01 р

Г 1: 200  
М  
В 1: 100

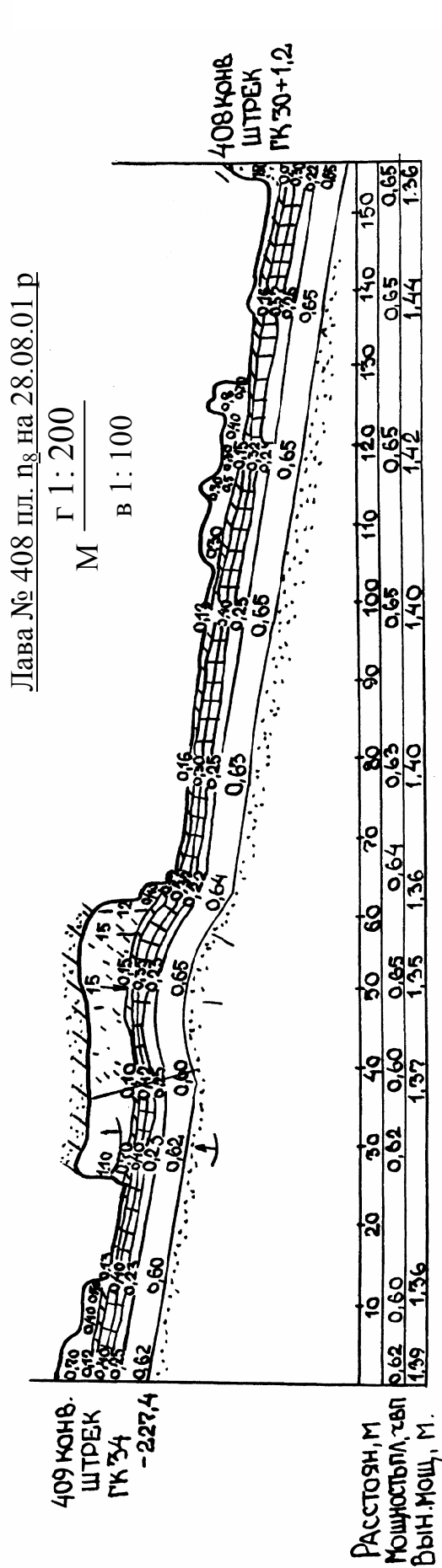


Рис. 4.16. - Разрезы по 408 лаве при работе над параллельным целиком

Влияние целика на вывалообразование наиболее ярко видно на примере 408-й лавы (рис. 4.16), где регулярно происходили вывалы пород кровли над параллельным ленточным целиком пласта  $n_7^H$ .

Таким образом, результаты шахтных исследований подтверждают второе сформулированное научное положение о необходимости увеличения скорости подвигания очистного забоя как минимум до 4 м/сут в зонах влияния целиков и краевых частей влияющих пластов.

### 4.3. Сравнение экспериментальных и теоретических данных

4.3.1. Сравнение результатов расчета и шахтных измерений. Для оценки достоверности результатов теоретических исследований, по разработанному алгоритму произведен расчет напряженно-деформированного состояния пород в окрестности очистной выработки, применительно к условиям шахт ГП «Львовуголь» и с помощью разработанной методики получены расчетные значения сопротивлений гидростоек модернизированной крепи КМ87.

Рассматривались случаи работы лавы на подходе к краевой части смежного пласта, на выходе из этой зоны, а также случаи работы очистного забоя над целиком в условиях подработки. Расчетные схемы исследуемой области для этих случаев приведены на рис. 4.17 а, б и в.

Расчеты выполнялись для двух значений скорости подвигания забоя  $V = 1,2$  м/сут и  $V = 4,0$  м/сут при следующих исходных данных:

1) Действующая нагрузка  $\gamma H = 11,5$  МПа.

2) Физико-механические свойства:

угля –  $E = 0,28 \cdot 10^4$  МПа;  $\nu = 0,3$ ;  $\gamma = 1,69$  т/м<sup>3</sup>;  $\sigma_c = 20$  МПа;

пород кровли (аргиллит) –  $E = 0,63 \cdot 10^4$  МПа;  $\nu = 0,2$ ;  $\gamma = 2,6$  т/м<sup>3</sup>;  $\sigma_c = 30$  МПа;

3) Геометрические параметры:

– вынимаемая мощность пласта  $m = 1,6$  м,

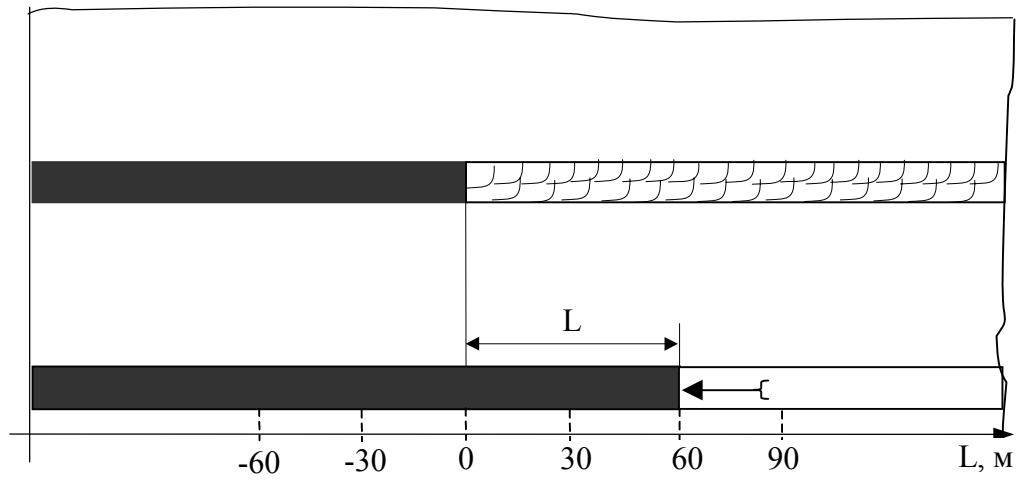
– размер выработанного пространства лавы, не заполненного разрушенными породами,  $l = 2,7$  м,

– размер выработанного пространства по нижерасположенному пласту,  $l_n = 100$  м,

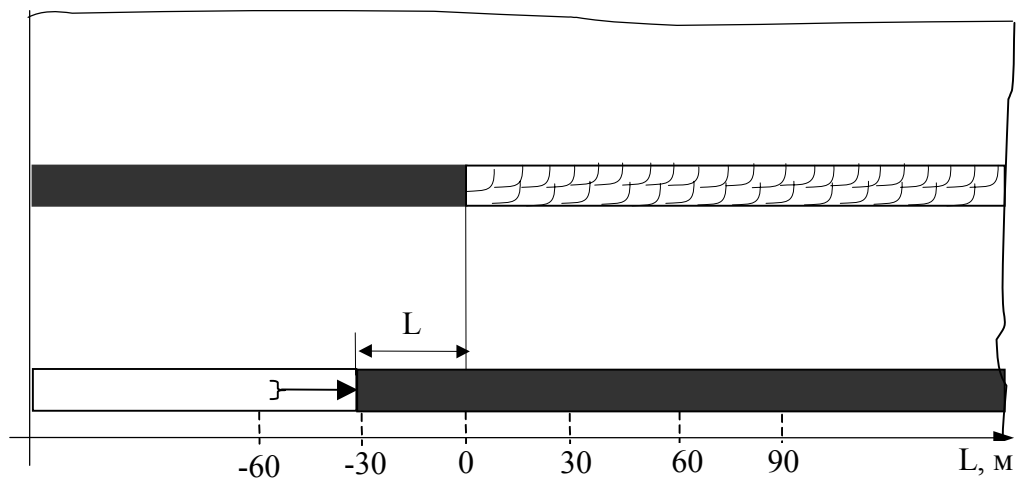
– ширина целика,  $l_y = 60$  м,

– мощность междупластья  $h_2 = 29,4$  м.

a)



б)



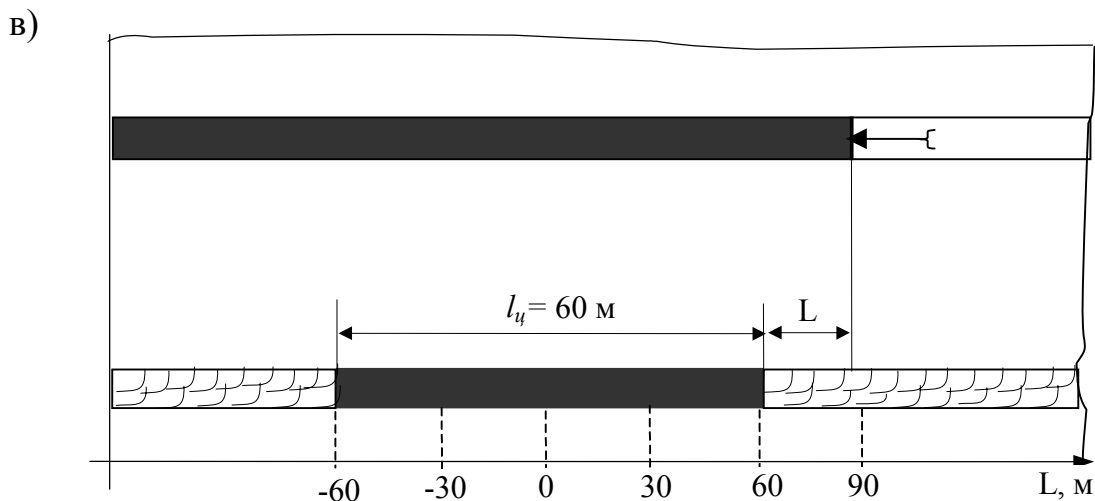


Рис. 4.17. - Расчетные схемы:

- а) лава на подходе к краевой части смежного пласта;
- б) лава на выходе из-под краевой части смежного пласта;
- в) работа очистного забоя над целиком.

Результаты расчета максимальных сближений почвы и кровли в лаве на различных расстояниях забоя от границ целиков и краевых частей смежных пластов приведены на рис. 4.18 а, б и в. Точками, для сравнения показаны результаты натуральных измерений. Как видно из рисунка, расхождения не превышают 16 %.

Расчет реакций в гидростойках модернизированной крепи, в зонах ПГД от целика (краевой части) производился по схемам изображенным на рис.4.19.

Схема а) на рис. 4.19 относится к случаю работы крепи в зонах ПГД от целика (краевой части) смежного пласта. В этих зонах, как показали натурные наблюдения (рис. 4.12), контакт породного слоя с перекрытием происходит на расстоянии 1,1 м от передней стойки, а разрушенными породами нагружается только часть перекрытия длиной 2,7 м.

Вне зон влияния целика (краевой части) работа крепи соответствует расчетной схеме б) рис. 4.19. В ней отражена картина нагружения крепи, наблюдавшаяся в натуральных условиях и изображенная на рис. 4.11. В этом случае нагрузка передается на перекрытие через ненарушенный слой кровли, образующий консоль длиной 1,5 м со стороны выработанного пространства, и перекрытие контактирует с кровлей по всей площади.

По данным схемам крепь рассчитывается на действие как основной нагрузки  $P_0$ , так и дополнительной –  $q(V)$ . Нагрузка  $q(V)$  определяется по разработанной методике исходя из того, что зона отжима  $a$  составляет 1 м и формирование горного давления на перекрытие крепи происходит в течение 16 часов. Результаты расчетов помещены в таблицу 4.3.

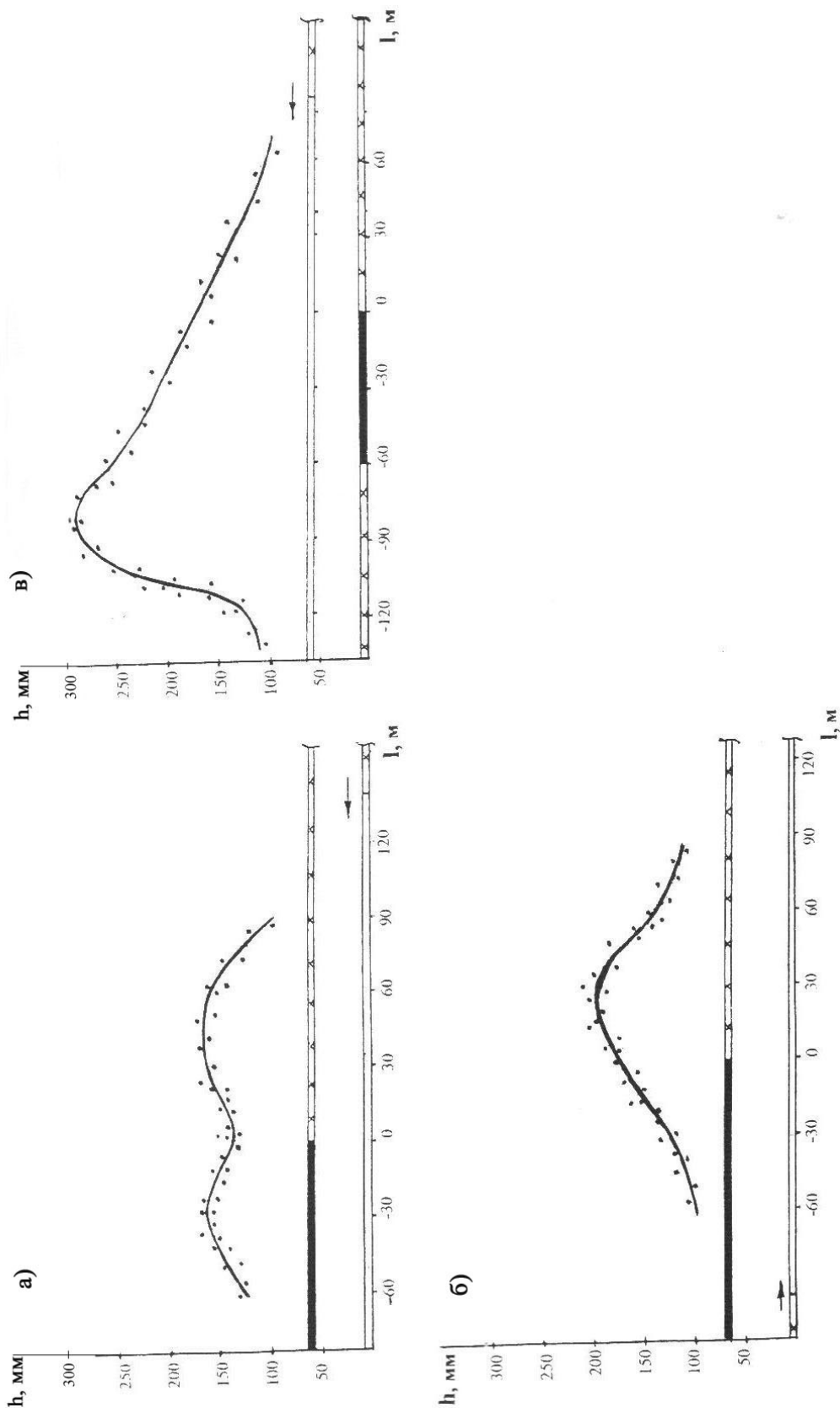


Рис. 4.18. - Величины максимальных сближений боковых пород на различном расстоянии лавы от границ целлика и краевой части смежных пластов: а) при заходе под краевую часть; б) при выходе над целликом; при выходе из под краевой части.

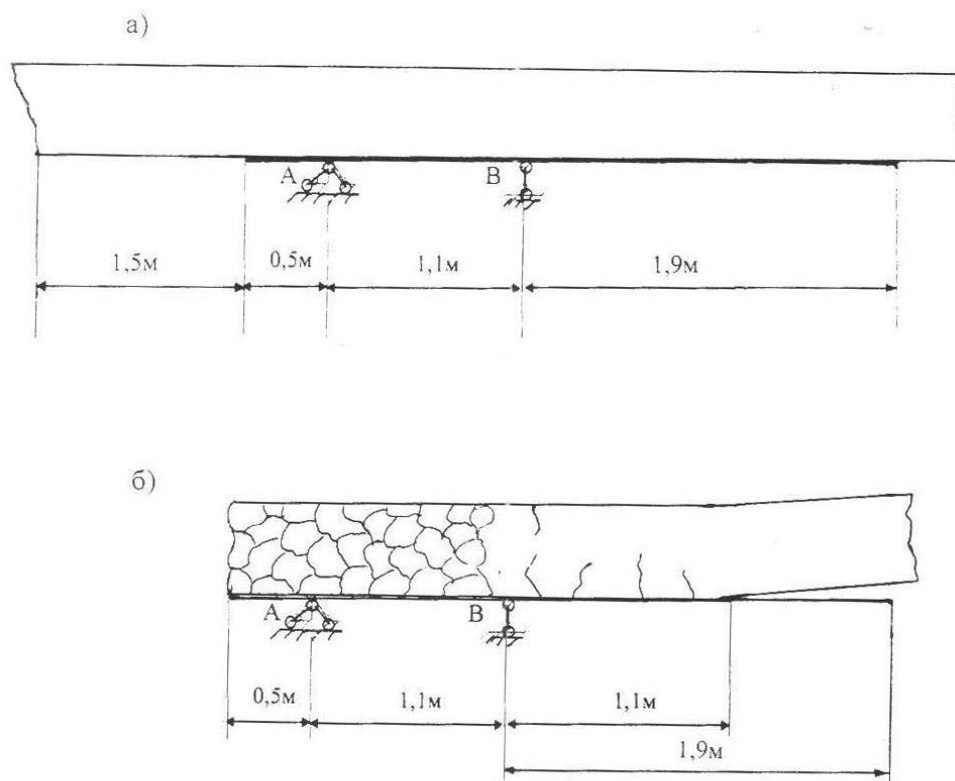


Рис. 4.19. – Расчетные схемы КМ87 при различном характере нагружения:

- а) вне зоны влияния целиков (краевых частей)
- б) в зоне влияния целиков (краевых частей)

Таблица 4.3

## Сопротивления гидростоек модернизированной крепи КМ87 в различных зонах ПГД

Параметры	Направление движения лавы	Условия разработки	Положение забоя	Скорость подвигания лавы, м/сут	Сопротивление гидростоек, кН					
					передней		Сходимость, %	задней		Сходимость, %
					расчетное	эксперимент		расчетное	эксперимент	
Шахта, лава № 160	под краевую часть	надработка	L = -30 м	1,2	746	600	19,6	213	250	17,4
				4	734	600	18,2	277	240	13,3
Шахта «Бендюзювка», лава № 440	из-под краевой части	надработка	L = -30 м	1,2	700	600	14,3	280	330	18,0
				4	607	-	-	174	-	-
Шахта «Відродження», лава № 421	над целиком	подработка	L = -90 м	1,2	770	600	24,3	300	260	13,3
			L = -30 м	4	640	580	9,4	250	235	6,0

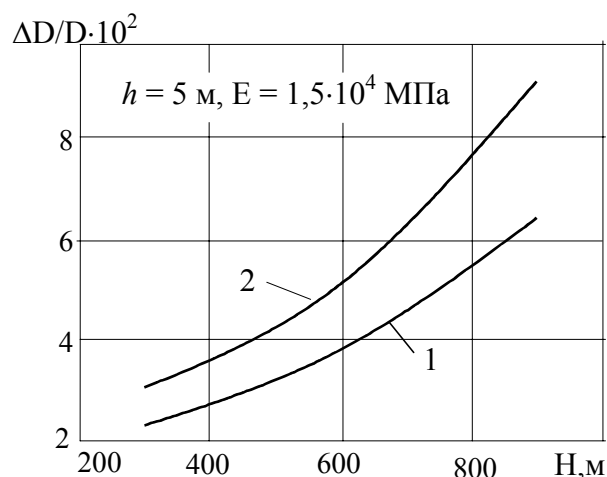
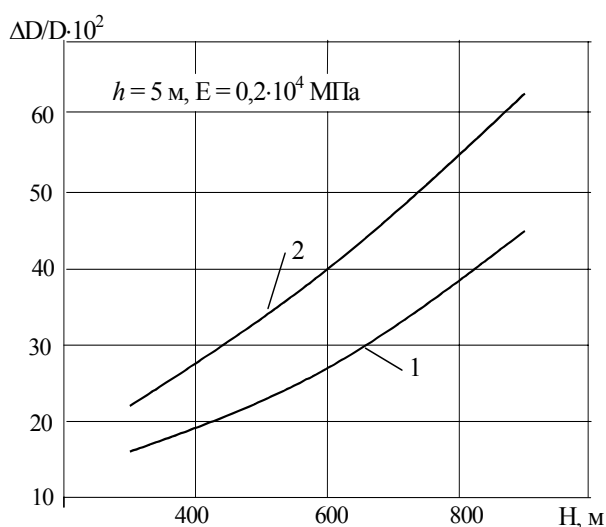
Данные таблицы свидетельствуют, что в рассматриваемых условиях крепь в зонах влияния целиков и краевых частей смежных пластов работает нормально при скорости подвигания лавы не менее 4 м /сут.

Что касается сопротивлений гидростоек, то, как видно из той же таблицы, теоретические значения отличаются от измеренных не более, чем на 18%.

4.3.2. Сравнение результатов расчета с данными моделирования на эквивалентных материалах. Кроме вышеописанного сравнительного анализа разработанный алгоритм использовался для оценки влияния надработки и подработки на деформацию пластовой выработки в слоистом массиве применительно к условиям, которые моделировались с помощью эквивалентных материалов во ВНИМИ [106]. На моделях отрабатывалась свита из трех горизонтально залегающих пластов, вынимаемая мощность которых в натуре равнялась 3 м. Создавались условия, эквивалентные поддержанию выработки арочной крепью из спецпрофиля АКП-9 диаметром 3 м и пролетом 3,2 м как в шахтах ГП «Львовуголь». Глубина разработки в пересчете на натуру изменялась от 300 до 1200 м (в шахтах Львовско-Волынского бассейна  $H = 500...520$  м). Прочность материала моделей соответствовала прочности вмещающих пород от 20 до 100 МПа, т.е. исследовались горно-геологические условия, близкие к условиям Львовско-Волынского бассейна (табл. 1.1).

Отношение модулей упругости пород междупластья и угля в расчетах, как и в моделях, принимали значения  $E_{п}/E_{у}$ , принадлежащие интервалу [0,6...4,3].

В результате выполненных расчетов получены эпюры смещений  $\Delta D$  кровли при надработке и подработке пластовой выработки в долях от ее диаметра  $D$  в зависимости от глубины разработки  $H$ , мощности междупластья  $h$  и параметра  $E_{п}/E_{у}$  (рис. 4.20).





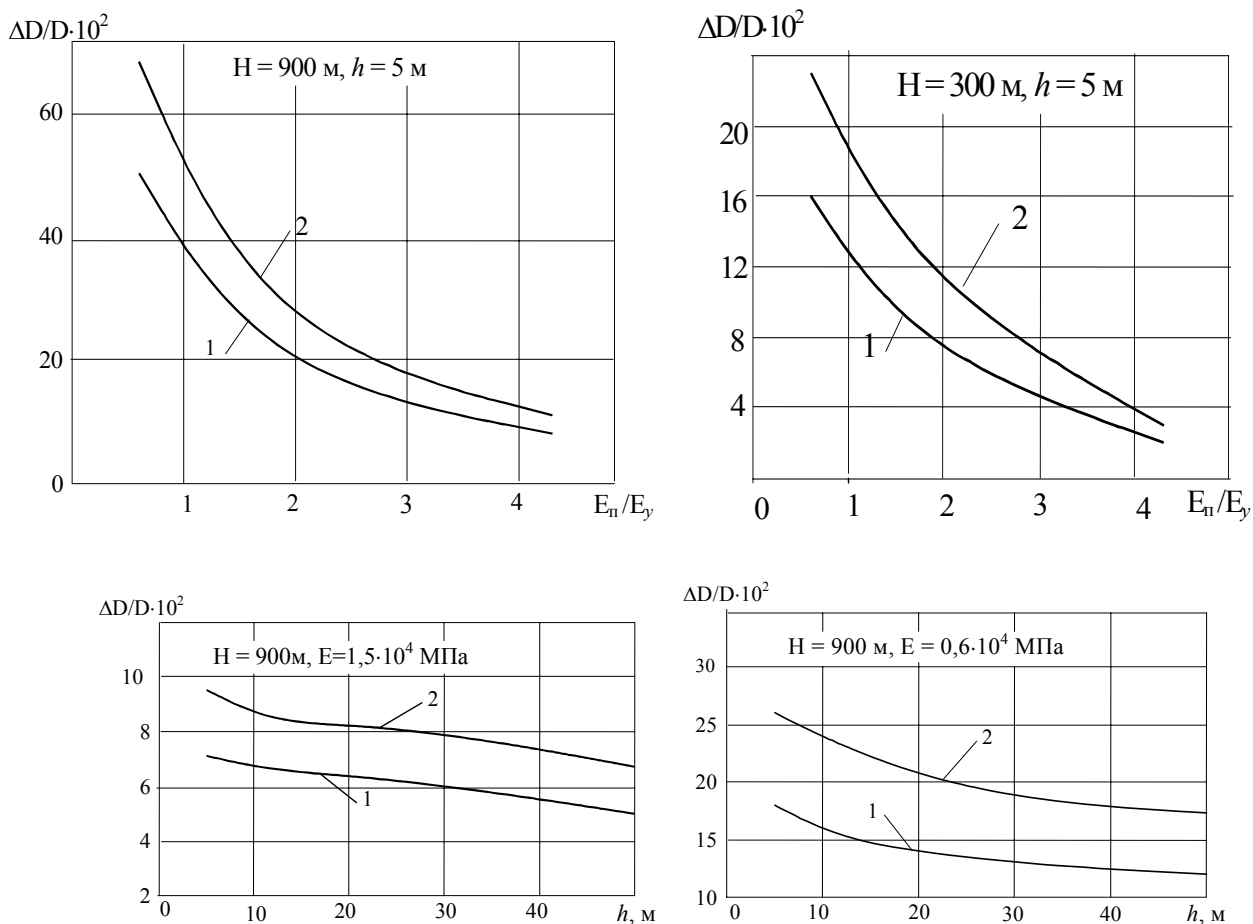


Рис. 4.20. - Относительные смещения кровли пластовой выработки в зависимости от изменения основных горно-геологических факторов:

1 – при надработке; 2 – при подработке.

Полученные кривые качественно совпадают с экспериментальными. Они позволяют установить степень влияния того или иного фактора (при прочих равных других факторах) на величину смещений в надрабатываемой и подрабатываемой выработке.

В работе в качестве примера произведена количественная оценка относительных смещений кровли пластовой выработки в зависимости от глубины ее расположения  $H$  для следующих условий: предел прочности породы кровли на сжатие  $\sigma_c = 40$  МПа; отношение пределов прочности на сжатие угля и породы кровли  $\sigma_y/\sigma_n = 0,3$ ; мощность междупластья  $h_{\text{под}} = h_{\text{над}} = 20$  м; отношение  $E_n/E_y = 0,3$ , диаметр выработки  $D = 3$  м, мощность угольных пластов  $m = 3$  м.

Для надработанной выработки, расположенной на глубине  $H = 300$  м, экспериментальное значение относительных смещений кровли составляет  $0,04D$ , а для подрабатываемой выработки на этой же глубине смещения в 1,5 раза больше. Практически те же величины получены методом граничных элементов (отличия не превышают 5 %).

Это говорит о достаточной универсальности и эффективности разработанного алгоритма и свидетельствует о достоверности полученных на его основе результатов и выводов.

## Выводы

1. В зонах ПГД от целиков и краевых частей смежных пластов в условиях шахт Львовского региона суммарные сближения пород за цикл очистных работ составляют 180...300 мм. Максимальная конвергенция приурочена к процессу выемки.

Вне зон влияния целика (краевой части) суммарные сближения за то же время имеют значения 100...115 мм, а максимальная конвергенция происходит в процессе передвижки крепи.

2. В зоне влияния целика (краевой части) смежных пластов максимальная величина конвергенции у забоя лавы увеличивается в 2-6 раз, а у выработанного пространства в 1,5-2 раза по сравнению с работой вне этой зоны, причем протяженность участка, на котором происходит рост конвергенции, составляет 1,6 м по ширине лавы.

3. В зонах ПГД от целиков и краевых частей смежных пластов гидростойки крепи работают в режимах падающего или меняющегося сопротивления, причем практически вся нагрузка воспринимается передней стойкой. Это говорит о необходимости корректировки конструкции крепи КМ87.

4. Наиболее интенсивные вывалообразования происходят не над (под) целиками и краевыми частями смежных пластов, а при подходе или отходе от них. Протяженность зоны вывалообразования достигает 40...45 м и зависит от мощности целика, его расположения относительно обрабатываемой лавы, мощности и строения междупластья.

5. Состояние кровли угольного пласта в зонах ПГД в значительной степени зависит от скорости подачи комбайна и скорости подвигания очистного забоя. Увеличение скорости подачи комбайна приводит к росту зоны отжима в краевой части пласта и ухудшает состояние кровли в призабойном пространстве, а увеличение скорости подвигания забоя, наоборот, влияет благотворно – уменьшает объем вывалообразований. Рациональными для рассматриваемых горно-геологических условий являются скорость подачи комбайна  $V_k \in [3,0...3,2]$  м/мин, а скорость подвигания лавы не менее 4 м/сут.

6. Измеренные значения сближений боковых пород в лаве отличаются от рассчитанных не более, чем на 16%, а усилия в гидростойках – не более, чем на 18%.

7. Теоретические значения деформаций контура пластовой выработки в условиях подработки (надработки) с точностью до 5% совпадают с

соответствующими данными ВНИМИ, полученными на моделях из эквивалентных материалов.

8. На основе выполненных шахтных исследований для повышения эффективности работы очистных забоев рекомендованы и внедрены на шахтах ГП "Львовуголь" следующие мероприятия:

- модернизирована конструкция крепи КМ87 (на 0,33м укорочена консоль);
- на шахтах холдинговой компании организована пятисменная работа;
- принято решение в 2002 году оснастить очистные забои комплексами нового технологического уровня МКД90.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная монография является весомой научно-исследовательской работой, в которой решена актуальная научно-техническая задача обоснования технологических параметров разработки сближенных угольных пластов механизированными комплексами в условиях Львовско-Волынского месторождения.

Основные итоги, обобщающие выводы и практические рекомендации сводятся к следующему.

1. На основе метода граничных элементов и известного аналитического решения В.Г. Гмошинского с использованием критерия П.П. Баландина разработан расчетный алгоритм определения и анализа напряженно-деформированного состояния неоднородного слоистого массива применительно к выемке сближенных пластов в условиях надрботки (подработки).

В отличие от известных, разработанный алгоритм учитывает концентрацию напряжений от целиков (краевых частей) смежных пластов и скорость подвигания лавы.

2. Результаты расчетов по разработанному алгоритму обобщены и представлены в виде соотношений, характеризующих закономерности проявлений горного давления при выемке сближенных пластов, а именно:

– с учетом направления движения лавы относительно краевой части смежного пласта и условий разработки (надрботка или подработка), получены корреляционные соотношения для максимальных конвергенций в лаве и максимальных коэффициентов концентрации напряжений  $\sigma_{yy}$  в зоне опорного давления впереди очистного забоя;

– для условий надрботки получена нелинейная корреляционная зависимость размера зоны ПГД впереди очистного забоя от ширины целика и мощности междупластья;

– для условий надрботки в случае, когда забой находится над краем целика, установлена нелинейная корреляционная зависимость максимальных напряжений  $\sigma_{yy}$  в кровле разрабатываемого пласта в зоне опорного горного давления от глубины разработки, физико-механических характеристик угля и породы кровли, а также от ширины целика и мощности междупластья.

3. В результате шахтных наблюдений зафиксированы следующие специфические проявления горного давления в рассматриваемых горно-геологических условиях:

– в зонах ПГД от целиков и краевых частей смежных пластов суммарные сближения пород за цикл очистных работ  $\Delta u_y$  составляют 180...300 мм и максимальная конвергенция приурочена к процессу выемки;

вне зон ПГД  $\Delta u = 100...115$  мм, а максимальная конвергенция происходит в процессе передвижки крепи;

– при работе механизированной крепи поддерживающего типа вне зон ПГД от целиков (краевых частей) смежных пластов скорость конвергенции у

завальной части лавы в 2 раза больше, чем у забоя, а при работе в зонах ПГД – у забоя в 4 раза больше, чем у завала;

– наиболее интенсивные вывалообразования происходят не над (под) целиками и краевыми частями смежных пластов, а при подходе и отходе от них; протяженность зоны вывалообразования достигает 40...45 м и зависит от мощности целика, его расположения относительно обрабатываемой лавы, мощности и строения междупластья;

– увеличение скорости подачи комбайна  $V_k$  с 3 м/мин до 4,5 м/мин при работе механизированных комплексов в зонах ПГД от целиков и краевых частей смежных пластов приводит к увеличению удельного вывалообразования пород кровли в призабойном пространстве с 10% до 70%.

В то же время при увеличении скорости подвигания лавы  $V_l$  с 1,2 м/сут до 4,2 м/сут площадь вывалов сокращается в 5...8 раз и в 1,32 раза уменьшается нагрузка на крепь.

4. На основе полученных корреляционных соотношений и результатов шахтных наблюдений разработана «Методика и рекомендации к определению рациональных параметров механизированной крепи при работе в зонах влияния целиков и краевых частей смежных пластов».

С помощью данной методики показано, что, с точки зрения проявлений горного давления, наиболее опасным является период выхода лавы из зоны влияния краевой части нижерасположенного пласта, а при работе лавы в зоне влияния целика, наиболее опасным для механизированной крепи является режим работы в условиях подработки, когда забой находится на расстоянии 20...25 м от края целика (при ширине целика до 50 м).

Данные положения являются определяющими при расчете силовых параметров используемой крепи.

5. Для условий шахт Львовского региона сформулированы рекомендации по параметрам ведения очистных работ в зонах повышенного горного давления от целиков и краевых частей смежных пластов:

– увеличить сопротивление используемой механизированной крепи КМ87 у забоя путем укорочения консоли перекрытия на 0,33 м;

– организовать пятисменный режим работы лав и при скорости подачи комбайна  $V_k = 3,0...3,3$  м/мин обеспечить подвигание очистного забоя со скоростью  $V_l \geq 4$  м/сут;

– при работе лав по сближенным пластам выдерживать расстояния между забоями  $L = 60$  м и  $L = 65$  м соответственно в условиях наработки и подработки.

Благодаря использованию данных рекомендаций на шахтах ГП «Львовуголь» за период с 1997 г. по 2001 г. было добыто свыше 5 млн т угля при нагрузке на лаву 1500 т/сут. Годовой экономический эффект от внедрения рекомендованной технологии отработки сближенных угольных пластов механизированными комплексами КМ87 (КМ88) с новыми конструктивными параметрами в лаве 421 шахты «Відродження» составил 2 894 98 грн.

6. Результаты рассчитанных значений реакций в гидростойках механизированной крепи отличаются от соответствующих измеренных величин не более, чем на 18 %, а сближение почвы и кровли в лавах – не более, чем на 16%.

Теоретические значения деформаций контура пластовой выработки в условиях подработки (надработки) с точностью до 5% совпадают с соответствующими данными ВНИМИ, полученными на моделях из эквивалентных материалов.

Множественные корреляционные отношения установленных зависимостей имеют значения 0,90...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.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Львовско-Волынский каменноугольный бассейн (геологический очерк) / Струев М.И. и др.- Киев: Наукова думка, 1984.- 272 с.
2. Каталог механических свойств горных пород.- Л.: ВНИМИ, 1972.- 267 с.
3. Каталог механических свойств горных пород при широкой вариации видов напряженного состояния и скорости деформирования.- Л.: ВНИМИ, 1976.- 169 с.
4. Результаты изучения прочностных и деформационных свойств горных пород Западного Донбасса / Глушко В.Т., Усаченко Б.М., Кирничанский Г.Т., Рубец Г.Т., Сторчак П.Н.- Киев: Наукова думка, 1969.- 44 с.
5. Руппенейт К.В. Некоторые вопросы механики горных пород.- М.: Углетехиздат, 1954.- 384 с.
6. Руппенейт К.В. Давление и смещение горных пород в очистных выработках пологопадающих пластов.- М.: Углетехиздат, 1957.- 228 с.
7. Борисов А.А. Расчеты горного давления в лавах пологих пластов.- М.: Недра, 1964.- 278 с.
8. Ильштейн А.М. Закономерности проявлений горного давления в лавах пологих пластов каменноугольных месторождений.- М.: Углетехиздат, 1958.- 272 с.
9. Родин И.В. Снимаемая нагрузка и горное давление // Исследования горного давления.- М.: Госгортехиздат, 1960.- С. 343-374.
10. Ильштейн А.М. О работах института горного дела АН СССР по исследованию проявлений горного давления методом моделирования эквивалентными материалами // Л.: ВНИМИ.- Сб. XLIV.- 1962.- С. 18-28.
11. Андрушкевич С.Г. К вопросу устойчивости обнажений кровли пологих пластов Донбасса // Сб. тр. ИГД АН УССР.- №9.- 1960.- С. 26 - 42.
12. Авершин С.Г. О направлениях и методах исследования горного давления // Исследования горного давления.- М.: Госгортехиздат, 1960.- С.3-6.
13. Бочкарев В.Г. К вопросу исследования горного давления в очистных выработках на основе методов механики сплошной среды // Уголь.- 1958.- №7.- С. 24-28.
14. Орлов А.А. О расслоении пород кровли в очистных выработках // Уголь.- 1960.- №5.- С. 44-47.
15. Канлыбаева Ж.М. Закономерности сдвижения горных пород в массиве.- М.: Наука, 1968.- 108 с.
16. Кузнецов Г.Н. Предельное состояние твердых горных пород с учетом пространственной ориентировки естественных поверхностей ослабления.- Л.: ВНИМИ.- Сб. тр. - 1961.- № 43.- С. 198-222.
17. Кузнецов Г.Н. Аналитические расчеты на базе механики раздельно-блочной системы.- Л.: ВНИМИ.- Сб. тр.- 1970.- №78.- С. 13-36.
18. Кузнецов Г.Н. О механизме взаимодействия боковых пород и крепи в очистных выработках пологопадающих пластов // Исследование горного

давления применительно к механизированным крепям.- М.: Углетехиздат, 1954.- С. 78-113.

19. Цимбаревич П.М. Рудничное крепление.- М.: Углетехиздат, 1951.- 608 с.

20. Кузнецов С.Т. Вопросы методики и результаты экспериментов по последовательному снижению сопротивления механизированной крепи.- Л.: ВНИМИ.- Сб. тр..- 1969.- № 73.- С. 6 – 45.

21. 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.

22. Якоби О. Практика управления горным давлением.- М.: Недра, 1987.- 566 с.

23. Якоби О. Определение сопротивления крепи при проектировании лав с управлением кровлей обрушением // Глюкауф.- 1964.- №6.- С. 361-368.

24. Якоби О. Система управления горным давлением. Итоги и задачи // Глюкауф.- 1980.- № 22.- С. 5-17.

25. 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.

26. Зборщик М.П., Назимко В.В. Механизм сдвижения пород и перераспределение напряжений вокруг выработок, поддерживаемых в обрушенной и уплотненной толще // Разработка месторождений полезных ископаемых.- 1986.- Вып. 73.- С. 48-52.

27. Зборщик М.П. Механизм сдвижений пород надрабатываемой толщи при отработке пологих пластов на глубоких горизонтах // Разработка месторождений полезных ископаемых.- 1984.- Вып. 67.- С. 89-94.

28. Петухов И.М., Линьков А.М. Механика горных ударов и выбросов.- М.: Недра, 1983.- 280 с.

29. Сдвижение 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.

30. Заря Н.М., Музафаров Ф.И. Схема механизма сдвижения толщи пород при выемке пологих пластов для одиночной лавы // Уголь Украины.-1966.- №12.- С. 9-12.

31. Защитные пласты / И.М.Петухов, А.М.Линьков, И.А.Фельдман и др.- Л.: Недра, 1972.- 424 с.

32. Усаченко Б.М., Кириченко В.Я., Шмиголь А.В. Охрана подготовительных выработок глубоких горизонтов шахт Западного Донбасса // Обзор ЦНИЭИуголь.- М.: Недра, 1976.- 223 с.

33. Шмиголь А.В. Повышение надежности крепления горных выработок в условиях шахт Западного Донбасса // Геотехническая механика.- 1998.- №9.- С. 15-21.

34. Шмиголь А.В. Проведение и поддержание горных выработок в Западном Донбассе // Геотехническая механика.- 2000.- № 20.- С. 5-12.



35. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов, М.: Недра, 1980.- 360 с.
36. Бузило В.И., Сердюк В.П., Кошка А.Г., Наливайко Я.М. Определение вероятности разрушения пород кровли при камерной системе разработки угольного пласта // Вестник ХГТУ.- Вып.8.- Херсон.- 2000.- С. 41- 44.
37. Шушков 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.
38. Протодяконов М.М. Давление горных пород и рудничное крепление.- М.: ГОНТИ, 1931.- 104 с.
39. Слесарев В.Д. Механика горных пород.- М.: Углетехиздат, 1948.- 303 с.
40. Динник А.Н. Статьи по горному делу.- М.: Углетехиздат, 1957.- 195 с.
41. Христианович С.А., Баренблат Г.И. Об обрушении кровли в горных выработках // Изв АН СССР.- 1955.- №11.- С. 73-86.
42. Линьков А.М. Плоские задачи о статическом нагружении кусочно-однородной линейно-упругой среды // Прикладная математика и механика.- 1983.- Т. 47.- Вып.4.- С. 644-651.
43. Айзаксон Э. Давление горных пород в шахтах.- М.: Изд. иностр. лит., 1961.- 176 с.
44. Власов Б.В., Грицко Г.И. Определение напряжений в породах по измеренным смещениям их над пластом и в выработанном пространстве // Физ.-техн. проблемы разработки полезных ископаемых.- 1965.- №6.- С. 35-44.
45. 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.
46. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, склонных к внезапным выбросам угля, породы и газа.- М.: Недра, 1977.- 125 с.
47. Инструкция по безопасному ведению горных работ на шахтах, разрабатывающих пласты, опасные по горным ударам.- Л.: ВНИМИ, 1976.- 44 с.
48. Перепелица В.Г. Управление состоянием горного давления при щитовой отработке тонких крутых угольных пластов // Инженерные методы предотвращения газодинамических явлений при разработке крутых выбросоопасных угольных пластов.- Донецк: УкрНТЭК, 2001.- С. 186-288.
49. Фельдман И.А., Якубсон Г.Г. Результаты и перспективы приложения экспериментально-аналитического подхода к исследованию защитного действия пластов // Аналитические методы и вычислительная техника в механике горных пород.- Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1971.- С. 23-33.
50. Николин В.И., Подкопаев С.В., Скоропуд М.П., Савченко П.И. Новые представления (гипотеза) физической сущности эффективности первоочередной разработки защитных пластов // Известия Донецкого горного ин-та.- 1998.- №1(7).- С. 43-44.

51. Борисов А.А., Кайдалов Н.Н., Лабазин В.Г. Расчет опорного давления вариационным методом // Изв. вузов. Горный журнал.- 1976.- №3.- С. 17-23.
52. 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.
53. 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.
54. Гмошинский В.Г. Горное давление на пологий угольный пласт в окрестности выработки // Уголь.- 1957.- № 6.- С. 16-23.
55. Безухов Н.И. Теория упругости и пластичности.- М.: ГИТТЛ, 1953.- 420 с.
56. Комиссаров С.Н. Управление массивом горных пород вокруг очистных выработок.- М.: Недра, 1981.- 235 с.
57. Комиссаров С.Н., Журин И.Е. Исследование ползучести пород кровли в призабойном пространстве // Технология добычи угля подземным способом.- 1972.- №7(67).- С. 13-15.
58. Комиссаров С.Н. Исследование деформированного и напряженного состояния горного массива при очистной выемке пологих пластов // Уголь.- 1972.- №10.- С. 23-29.
59. Николин В.И., Игнатович Н.В., Шепеленко В.А. Особенности проявлений горного давления на глубине 1200 м // Уголь Украины.- 1994.- №5.- С. 12-15.
60. Борисов А.А. Взаимодействие выработок при разработке свит пластов.- Л.: ЛГИ, 1980.- 96 с.
61. Колоколов А.В., Лубенец Н.А. О допустимой подработке весьма сближенных пластов на шахтах Западного Донбасса // Науковий вісник НГА України.- 2000.- №4.- С. 97-99.
62. Бич Я.А., Аман И.П. О надработке пластов в Прокопьевском районе Кузбасса.- Л.: ВНИМИ.- Сб. тр.- №47.- 1963.- С. 22-32.
63. 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.
64. 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 ин-та.- 1998.- №1.- С. 3-5.
65. 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.
66. Рекомендации по управлению кровлей и креплению очистных забоев на пластах с углом падения до  $35^{\circ}$  при переходе ими зон влияния целиков и

краевых частей сближенных пластов (Дополнение к «Руководству по управлению кровлей и креплению очистных забоев на пластах с углом падения до  $35^0$ » / Сост. С.Т.Кузнецов, Е.Т.Проявкин, Ю.Г.Спицын и др.- Донецк: Донуги, 1980.- 52 с.

67. Указания по управлению горным давлением в очистных забоях под (над) целиками и краевыми частями при разработке свиты угольных пластов мощностью до 3,5 м с углом падения до  $35^0$ .- Л.: Мин-во угольной промышл. СССР, ВНИМИ, Донуги, Кузнииуи, Печорниипроект, КНИУИ, 1984.- 62 с.

68. Временные указания по управлению горным давлением на пластах мощностью до 3,5 м с углом падения до  $35^0$ .- Л.: ВНИМИ, 1982.- 134 с.

69. Кузнецов С.Т., Сычев В.В. Прогноз влияния целиков и краевых частей на состояние кровли в очистных забоях надработанных и подработанных пластов // Механика горных пород и горное давление.- Л.: ВНИМИ, 1981. - С. 3-7.

70. Сычев В.В. Проявления горного давления в очистных забоях в зонах влияния надработки // Управление горным давлением и борьба с горными ударами.- Л.: ВНИМИ, 1980.- С. 20-22.

71. Сычев В.В., Гребенщиков В.А. Исследование зон повышенного давления и их влияние на отработку смежных пологих пластов // Горное давление в капитальных подготовительных и очистных выработках.- Л.: ВНИМИ, 1982.- С. 61-67.

72. Типовая методика приемочных испытаний комплексов оборудования с механизированными крепями.- М.: ИГД им. А.А.Скочинского, 1976.- 56 с.

73. Сычев В.В., Гребенщиков В.А. Влияние целиков и краевых частей на работу очистных забоев по смежным угольным пластам // Теория и практика управления горным давлением в угольных шахтах.- Л.: ВНИМИ, 1983.- С. 22-28.

74. Зубов В.П. Влияние горнотехнических факторов на интенсивность вывалов в лавах // Уголь.- 1986.- №11.- С. 17 – 20.

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

76. Алексеев А.Д., Недодаев Н.В. Предельное состояние горных пород.- К.: Наукова думка, 1982.- 197 с.

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

78. Амусин Б.З. Прогнозирование устойчивости капитальных выработок с учетом разрушения пород в зоне неупругих деформаций // ФТПРПИ.- 1977.- № 5.- С. 22-29.

79. Применение МКЭ к задачам механики горных пород / Ж.С.Ержанов, Т.Д.Каримбаев и др. // Механика горных пород.- Алма-Ата: Наука, 1975.- С. 3-17.

80. Ж.С.Ержанов, Т.Д.Каримбаев МКЭ в задачах механики горных пород.- Алма-Ата: Наука, 1975.- 238 с.

81. 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.

82. 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.

83. 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.- М.- 1980.- С. 160-164.

84. Колоколов О.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.

85. Метод граничных элементов в задачах горной геомеханики / Новикова Л.В., Пономаренко П.И., Приходько В.В., Морозов И.Т.- Днепропетровск: Наука и образование, 1997.- 180 с.

86. Жданкин И.А., Колоколов С.Б. Об использовании результатов решения плоской задачи для определения деформированного состояния массива горных пород // ФТПРПИ.- 1982.- №1.- С. 97-98.

87. 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.

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

89. Крауч С., Старфилд А. Методы граничных элементов в механике твердого тела.- М.: Мир, 1987.- 328 с.

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

91. Rizzo F.J. An integral equation approach to boundary value problems of classical elastostatics // Quart. Appl. Math.- 1967.-25.- P. 83-95.

92. Jaswon M.A., Maiti M., Symm M. Numerical behavior analysis and some applications // Int. J. Solids and Structures.- 1967.- 3.- P. 309-332.

93. Rizzo F.J., Shippy D.J. A formulation and solution procedure for the general nonhomogeneous elastic inclusion problem // Int. J. Solid and Structures.- 1968.- 4.- P. 1161-1179.

94. Екобори Т. Научные основы прочности и разрушения материалов.- Киев: Наукова думка, 1978.- 350 с.

95. Писаренко Т.С., Лебедев А.А. Соппротивление материалов деформированию и разрушению при сложном напряженном состоянии.- Киев: Наукова думка, 1969.- 108 с.

96. Динник А.Н., Моргалевский А.Л., Савин Г.Н. Распределение напряжений вокруг подземных горных выработок // Труды совещания по управлению горным давлением.- М.: Изд-во АН СССР, 1938.- С. 7-55.

97. Савин Г.Н. Распределение напряжений около отверстий.- Киев.: Наукова думка, 1968.- 887 с.

98. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела.- М.: Наука, 1979.- С.375-377.

99. Новикова Л.В., Бузило В.И., Наливайко Я.М. Оценка степени влияния очистных работ на подготовительные выработки при отработке сближенных пластов // Сб. научн. трудов НГА Украины.- №10.- 2000.- С. 35-38.

100. Новикова Л.В., Заславская Л.И., Наливайко Я.М. Напряженно-деформированное состояние массива при разработке свиты пластов // Геотехническая механика.- Вып. 25.- 2001.- С. 85-88.

101. 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, 2001 г.- С. 246-248.

102. Львовский Е.Н. Статистический метод построения эмпирических формул.- М.: Высшая школа, 1982.- 223 с.

103. 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. - Вып. 26.- 2001.- С. 87-91.

104. Новикова Л.В., Наливайко Я.М., Сердюк В.П. Определение допустимого расстояния между очистными забоями сближенных угольных пластов // Геотехническая механика. - Вып. 23.- 2000.- С. 45-48.

105. Новикова Л.В., Бузило В.И., Наливайко Я.М. Прогнозирование проявлений горного давления при подработке и надработке угольного пласта // Вестник ХГТУ.- Вып.12.- Херсон.- 2001.- С. 193-196.

106. Новикова Л.В., Заславская Л.И., Наливайко Я.М. Проявления горного давления при надработке и подработке пластовой подготовительной выработки // Науковий вісник НГА України, Дніпропетровськ.- 2001.- № 4.- С. 34-35.

107. «Разработать и внедрить рекомендации по отработке пластов  $n_7^6$  «Западно-Бугский» и  $n_8$  «Межреченский» в условиях шахты №4 «Великомостовская»: Отчет о НИР (закл.) / Национальная горная академия Украины (НГАУ Украины); № ГР 0101U007900; Инв. № 0201U008037.- Днепропетровск, 2001.- 160 с.

108. Шкляревский М.Ф., Бажин Н.П., Мухин Н.А. Прогнозирование проявлений горного давления при подработке и надработке пластовых подготовительных выработок // Теория и практика управления горным давлением на угольных шахтах.- Л.: Тр. ВНИМИ, 1983.- С. 66-71.

109. Бузило В.И., Кошка А.Г., Сердюк В.П., Наливайко Я.М., Дяченко А.П. Формирование качества добываемого угля при отработке пласта сложного

строения // Матер. III междунар. конф. «Школа подземной разработки». – Ялта, 2009. – С. 106 -110.

110. Бузило В.И., Васильев В.Е., Кошка А.Г., Наливайко Я.М., Сердюк В.П. Оценка состояния горного массива при разработке сближенных пластов // Матер. IV междунар. конф. «Школа подземной разработки». – Ялта, 2010. – С. 16 -24.

111. Напряженно-деформированное состояние породного массива при отработке пологого угольного пласта под охраняемыми объектами: моногр./ А.В. Яворский, А.Г. Кошка, В.П. Сердюк, Е.А. Яворская. – Д.: Національний гірничий університет, 2010. – 121 с. – Рос. мовою.

112. Бузило В.И., Кошка А.Г., Наливайко Я.М., Дяченко А.П., Савельева Т.С. Особенности отработки оставшихся запасов шахт ГП «Львовуголь» // Матер. V междунар. конф. «Школа подземной разработки». – Ялта, 2011. – С. 227 -236.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	4
1.1. Физико-механические свойства угля и вмещающих пород Львовского региона.....	4
1.2. Характеристика условий отработки сближенных пластов шахт Львовского региона.....	10
1.3. Развитие и современное состояние методов изучения напряженно-деформированного состояния массива применительно к разработке свиты пластов.....	12
1.4. Общая методика выполнения исследований.....	20
ГЛАВА 2. АЛГОРИТМ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕНИЙ И СМЕЩЕНИЙ В ПОРОДНОМ МАССИВЕ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К РАЗРАБОТКЕ СВИТЫ ПОЛОГИХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ.....	24
2.1. Давление на кровлю угольного пласта в однородном массиве при неподвижном очистном забое.....	24
2.2. Давление на угольный пласт в однородном массиве при движущемся забое.....	28
2.3. Расчетные схемы для определения коэффициентов концентрации напряжений в слоистом неоднородном массиве и нагрузки на механизированную крепь.....	30
2.4. Формулировка задачи для неоднородного массива в терминах метода граничных элементов.....	34
2.5. Построение исходной системы уравнений.....	37
2.6. Коэффициенты концентрации напряжений в окрестности очистной выработки при разработке свиты пластов.....	41
2.7. Напряженно-деформированное состояние пород вокруг подготовительной выработки при разработке свиты пластов.....	48
Выводы.....	50
ГЛАВА 3. ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАЗРАБОТКИ СБЛИЖЕННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ В УСЛОВИЯХ ШАХТ ЛЬВОВСКОГО РЕГИОНА.....	52
3.1. Определение границ повышенного горного давления в междупластьях при ведении горных работ в области краевых частей смежных пластов.....	52
3.2. Определение границ зон повышенного горного давления в междупластьях при ведении горных работ под (над) целиками.....	60
3.3. Методика определения отпора гидростоек механизированной крепи в зонах повышенного горного давления.....	67
3.4. Расчет параметров выемки сближенных угольных пластов для условий шахт ГП «Львовуголь» по разработанной методике.....	70
3.4.1. Определение максимальных реакций в гидростойках крепи в зоне влияния краевых частей смежных пластов.....	70

3.4.2. Определение допустимого расстояния между очистными забоями сближенных пластов.....	77
3.4.3. Определение максимальных реакций в гидростойках крепи при работе лав над (под) целиками.....	79
Выводы.....	82
<b>ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЯВЛЕНИЙ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ В ОЧИСТНЫХ ЗАБОЯХ.....</b>	<b>84</b>
4.1. Характеристика условий шахтных исследований.....	84
4.2. Результаты шахтных исследований.....	92
4.2.1. Сближения боковых пород.....	92
4.2.2. Силовые параметры крепи.....	99
4.2.3. Оценка состояния кровли очистного забоя.....	104
4.3. Сравнение экспериментальных и теоретических данных.....	110
4.3.1. Сравнение результатов расчета и шахтных измерений.....	110
4.3.2. Сравнение результатов расчета с данными моделирования на эквивалентных материалах.....	116
Выводы.....	118
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>120</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....</b>	<b>123</b>



Наукове видання

**Бузило** Володимир Іванович  
**Наливайко** Ярослав Михайлович  
**Кошка** Олександр Григорович  
**Яворський** Андрій Васильович  
**Сердюк** Володимир Петрович  
**Яворська** Олена Олександрівна

**РОЗРОБКА ЗБЛИЖЕНИХ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ  
МЕХАНІЗОВАНИМИ КОМПЛЕКСАМИ В УМОВАХ ШАХТ  
ЛЬВІВСЬКО-ВОЛИНСЬКОГО БАСЕЙНУ**

Монографія  
(Російською мовою)

Друкується в редакційній обробці авторів.

Підписано до друку 21.03.2012. Формат 30x42/4.  
Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк. 7,3.  
Обл.-вид. арк. 7,3. Тираж 300 прим. 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.