Министерство угольной промышленности СССР

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ И
МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА ВНИМИ

ВРЕМЕННЫЕ УКАЗАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ С УПРАВЛЕНИЕМ КРОВЛЕЙ ЦЕЛИКАМИ НА СЛАНЦЕВЫХ ШАХТАХ ПРИБАЛТИЙСКОГО БАССЕЙНА

Ленинград
1972

gost.e-ecolog.ru

Министерство угольной промышленности СССР

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ И
МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА ВНИМИ

ВРЕМЕННЫЕ УКАЗАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ С УПРАВЛЕНИЕМ КРОВЛЕЙ ЦЕЛИКАМИ НА СЛАНЦЕВЫХ ШАХТАХ ПРИБАЛТИЙСКОГО БАССЕЙНА

Ленинград
1972

В "Указаниях . . ." изложены исходные данные и методика определения конструктивных элементов систем разработки с управлением кровлей целиками на сланцевых шахтах Прибалтийского бассейна.

Основой для определения размеров камер и целиков послужили шахтные исследования, по результатам которых устанавливались расчетные схемы и прочностные характеристики горных пород в массиве.

"Временные указания . . ." расчитаны на инженеров-производственников, а также на работников проектных и научно-иисследовательских организаций, занимающихся вопросами разработки месторождений горючих сланцев и других месторождений со сходными геологическими условиями.

"Указания . . ." одобрены и приняты для практического применения трестом "Эстонсланец" и шахтоуправлением "Ленинградсланец".

"Указания . . ." составлены канд.техн.наук Ф.П.Бубликом, инженерами С.Н.Жарковым и А.В.Плаховым.

Шкала расстояний, м	Горизонты расслоения пород	Индекс слоя	Плоскости напластования	Разрез	Мощность слоя, м	Высота над почвой пласта, м	Высота над кровлей пласта, м	Описание пород
						5,16	2,09	
5,0		H			0,23	4,93	1,86	Горючий сланец с конкрециями известняка
					0,26	4,67	1,60	Известняк битуминозный серый с ожелезненными ходами илоедов
4,5		G			0,28	4,39	1,32	Горючий сланец с прослойками и конкрециями известняка
					0,09	4,30	1,23	Известняк голубовато-серый
		F_5			0,03	4,27	1,20	Горючий сланец глинистый зеленовато-серый
					0,18	4,09	1,02	Известняк голубовато-серый
		F_4			0,03	4,06	0,99	Горючий сланец глинистый
4,0					0,15	3,91	0,84	Известняк голубовато-серый
		F_3			0,38	3,53	0,46	Горючий сланец глинистый с конкрециями известняка
3,5					0,17	3,36	0,29	Известняк голубовато-серый на нижнем контакте примазка глины до 0,5 см
		F_1+F_2			0,14	3,22	0,15	Горючий сланец глинистый, снизу раздроблен
					0,15	3,07	0,00	Известняк зеленовато-серый
3,0								
		F			0,92	2,15		Горючий сланец серовато-коричневый с конкрециями известняка до 20%
2,5								
2,0		E			0,31	1,84		Горючий сланец желтовато-коричневый с конкрециями известняка до 13%
					0,06	1,78		Известняк розовато-серый
		Д			0,07	1,71		Горючий сланец зеленовато-коричневый, глинистый
1,5					0,23	1,48		Известняк микрозернистый голубовато-серый
		C			0,38	1,10		Горючий сланец коричневато-бурый, верхняя часть мощностью 10 см с ходами илоедов конкреций известняка 12%
1,0					0,11	0,99		Известняк битуминозный желтовато-серый
		B			0,58	0,41		Горючий сланец коричневый с конкрециями известняка до 6%, нижняя часть пачки мощностью 4-6 см представлена раздробленным сланцем, на контакте с известняком глинистый прослоек мощностью до 2 см
0,5					0,18	0,23		Известняк плотный глинистый голубовато-серый
		A'			0,10	0,13		Горючий сланец известково-глинистый серый
		A			0,13	0,00		Горючий сланец коричневато-бурый
								Известняк голубовато-серый

Рис. 2

1. ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И ГОРНЫХ РАБОТ

1.Геологическая характеристика

Прибалтийский бассейн горючих сланцев условно подразделяется на два месторождения - Эстонское и Ленинградское.

Прибалтийский бассейн горючих сланцев сложен палеозойскими породами кембрия, ордовика и девона, последние распространены лишь на территории Ленинградского месторождения. Повсеместно развиты породы четвертичного возраста, преимущественно ледникового происхождения (рис.1).

Промышленный пласт горючих сланцев мощностью от 2 до 3 м приурочен к Кукрузескому горизонту среднего ордовика и состоит из пяти-семи слоев горючего сланца, разделенных слоями известняка (рис.2). Он залегает в нижней части продуктивного горизонта и падает согласно с вмещающими породами на юг под углом около 15', характеризуется хорошей выдержанностью на большой площади. Глубина залегания пласта составляет 10-80 м на Эстонском и 50-140 м на Ленинградском месторождении.

Породы кровли сложены слоями известняков, мергелей, горючих и глинистых сланцев с прослойками глин. До высоты 25 м над кровлей промпласта отдельные слои пород, слагающих массив, имеют мощность 0,02-0,6 м. Выше мощность отдельных слоев достигает 1,0 м и только на высоте от 50 до 65 м от кровли промпласта (рис.1) залегают прочные слои доломитов мощностью 3-4 м /раквереские (везенбергские) слои (рис.1)/. Особенно тонкими слоями сложена толща пород до 12 м над кровлей промпласта (кукрузеские слои), мощность отдельных слоев которых не превышает 0,4 м. Покрывающие промпласт породы кровли отличаются относительно хорошей выдержанностью слоев пород как по составу, так и по мощности, однако на участках месторождения с малой глубиной залегания часть верхних слоев массива отсутствует.

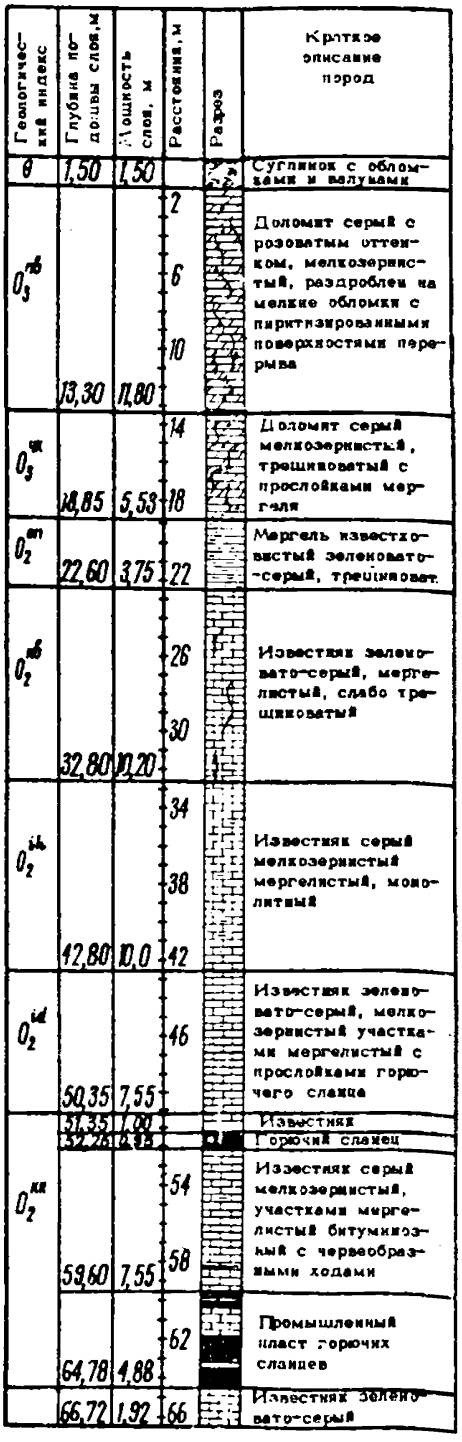


Рис.1.

Карбонатные породы ордовика и приуроченные к ним слои горючих сланцев отличаются значительной трещиноватостью и закарстованностью. Различают литогенетические и тектонические трещины.

Согласно исследованиям М.С. Газизова /1/ в породах Прибалтийского месторождения горючих сланцев развиты следующие системы трещин Литогенетические трещины развиты внутри отдельных слоев горных пород. Их образование приурочено к стадии диагенеза и эпигенеза. Эти трещины имеют различное направление по падению и простиранию. По форме различают прямые, кривые, извилистые, ломаные; по раскрытости - открытые и закрытые. Материал заполнения - налеты и пленки сульфидов. К этой группе относятся также трещины по напластованию, почти горизонтальные; по форме ровные, волнистые, заполненные глинистым материалом. От литогенетических трещин зависит устойчивость боковых пород, а также размеры и форма кусков и влажность товарного сланца.

К тектоническим относятся трещины, ориентированные в северо-восточном и северо-западном направлении, пересекающиеся почти под прямым углом, а также трещины, развитые по напластованию пород.

Трещины северо-восточного про-

стирания пересекают весь осадочный комплекс пород ордовика, падая под углом 81-89°. Выделяются два основных типа этих трещин. Трещины первого типа - "трещины-жилы", заполненные кварцевым песчаником с карбонатным и сульфидным цементом, имеют азимут простирания 50-60°, располагаются группами, образуя зоны тектонического дробления, состоящие в основном из 2-4 трещин, расположенных в 10-200 м одна от другой. Мощность "трещин-жил" достигает 7-12 см, местами они имеют ответвления в виде прожилков песчаника мощностью до одного сантиметра. Трещины второго типа, заполненные кальцитом и сульфидами, развиты в виде выдержанных жил и линзочек на контакте и внутри "трещин-жил", а также в виде жеод и прожилков вблизи и параллельно карстовым нарушениям. Мощность прожилков внутри "трещин-жил" около 1 см, а мощность отдельных трещин, выполненных кальцитом и сульфидами, достигает 2-3 см.

Трещины северо-западного простирания пересекают "трещины-жилы" под углом 89-98° (в среднем 91°). Они располагаются параллельными рядами на расстоянии 12-75 м (в среднем 25-30 м) одна от другой, падая под углом 81-89°, и пересекают весь комплекс осадочных пород ордовика. В большинстве эти трещины открытые, некоторые заполнены глиной или раздробленным материалом. С увеличением глубины залегания величина раскрытости трещин уменьшается с 5 до 3 мм. Местами эти трещины служат водопроводящими каналами для вод верхних горизонтов.

Горизонтальные трещины приурочены к плоскостям напластования, их положение определяется литологическим строением пород. Местами эти трещины вызывают осложнения при ведении очистных работ, так как отличаются высокой водообильностью.

К трещинам северо-восточного простирания ("трещинам-жилам") приурочены широко распространенные на территории бассейна карстовые нарушения, развитые как в промпласте, так и в подстилающих и покрывающих породах. Карстовые нарушения имеют сложную форму как в плане, так и в разрезе, не вполне выдержанные

простирание и зональность, причем каждая выделенная зона отличается присущей ей особенностью строения, составом и свойствами пород. По структурным признакам в плане выделяют три зоны.

Зона остаточной глины располагается в центральной части карстового нарушения и представлена жирной пластичной глиной и обломками доломитизированных известняков. В этой зоне породы кровли совершенно неустойчивы, поэтому необходимо сплошное крепление пересекающих эту зону выработок.

Зона дробления простирается вдоль карстового нарушения, окаймляя с обеих сторон зону остаточной глины, в виде сравнительно выдержанной полосы шириною 10-20 м. Кровля горных выработок на этих участках весьма неустойчива, бывают внезапные обрушения и вывалы пород. Эта зона характеризуется значительной обводненностью горных пород.

Зона трещиноватости простирается вдоль карстового нарушения в его периферийной части. Ширина зоны трещиноватости в среднем 20-30 м. В этой зоне значительно осложняется ведение горных работ.

Кроме упомянутых трещин следует отметить трещины карстовой тектоники, проявляющиеся в виде трещин расслоения, скола, отрыва, дробления со смещением и без смещения крыльев. Стенки этих трещин имеют следы выветривания. Эти трещины располагаются в породах, затронутых карстовыми процессами.

Наличие в кровле относительно слабых прослойков горючих и глинистых сланцев и глин предопределяет расслаиваемость и обрушение массива пачками слоев при подработке.

В породах непосредственной и основной кровли выявлены следующие постоянные горизонты отслоения:

Эстонское месторождение - 0,2; 0,5; 0,7; 1,0; 2,0; 2,6; 3,8 и 11,8 м от кровли промпласта;

Ленинградское месторождение - 0,5; 0,9; 1,2; 1,9; 4,0; 6,2; 7,7; 9,5; 11,5 м от кровли промпласта.

Тектонические трещины северо-западного простирания почти не оказывают влияния на несущую способность целиков, так как их падение вертикальное, а расстояние между трещинами несоизмеримо больше минимального размера целика, и поэтому трещинами пересекаются только отдельные целики. Тектонические трещины северо-восточного простирания могут снижать несущую способность целиков только в том случае, когда они затронуты процессами карстообразования. Наибольшее снижение несущей способности целиков вызывают литогенетические трещины. Влияние этих трещин учитывается при определении прочности целиков путем натурных испытаний.

2. Характеристика горных работ

В настоящее время выемка горючего сланца осуществляется тремя системами разработки: системой длинных столбов с выемкой спаренными лавами и с управлением кровлей частичной закладкой (рис.3), камерной системой с управлением кровлей целиками (рис.4), системой камер-лав, при которой основная кровля управляется целиками, а непосредственная кровля поддерживается индивидуальной деревянной стоечной крепью (рис.5).

Схема подготовки выемочных участков, общая для всех применяемых систем разработки, состоит в следующем. Шахтное поле главными и панельными штреками разделяется на панели шириной 300–600 м. Для каждой из них проходятся два спаренных панельных штрека – откаточный (1) и вентиляционный (2), соединяемые между собой сбойками. Сборные штреки (3) обычно проводятся перпендикулярно панельным и крепятся штанговой крепью при камерной системе и системе разработки камерами-лавами, а при отработке сланца лавами с частичной закладкой – неполными дверными окладами. Нарезка лав производится разрезными печами, проводимыми параллельно панельному штреку с оставлением около последнего охранного целика. На сланцевых шахтах Прибалтийского бассейна на один сборный штрек отрабатываются две лавы. При подготовке камер-лав на шахтах Ленинградского месторождения допол-

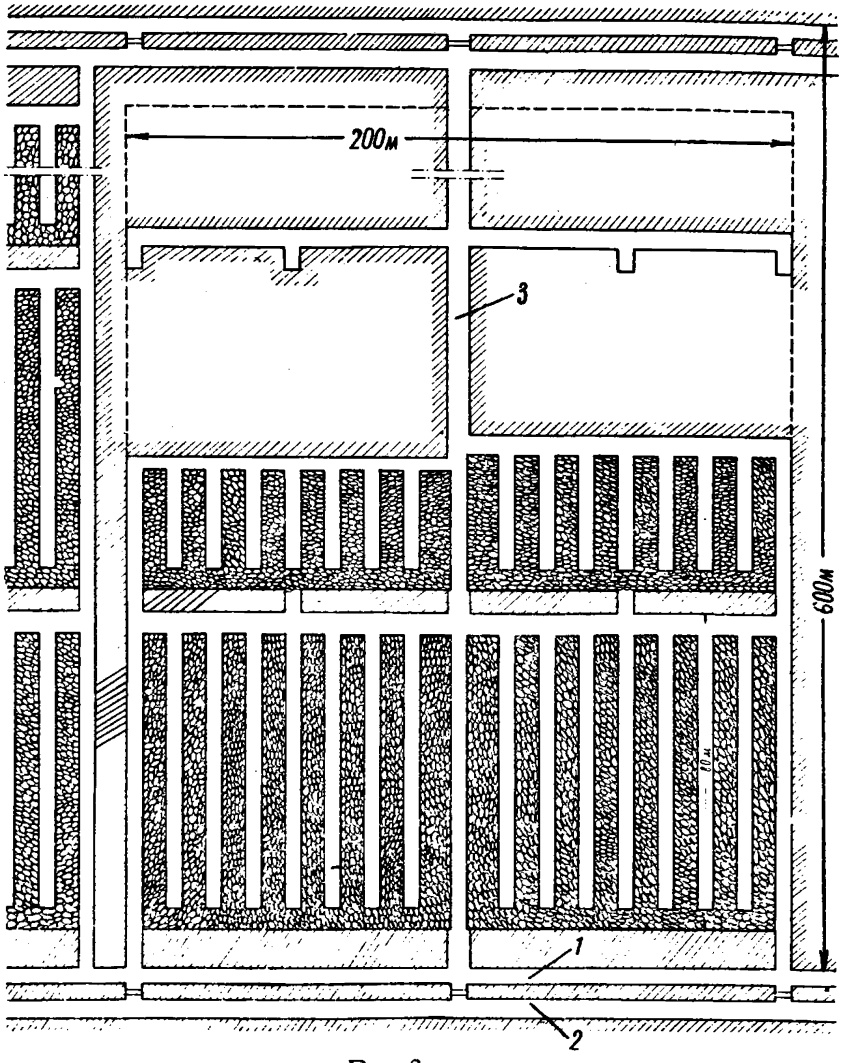


Рис.3.

нительно проходят два бортовых штрека (4) по границам блока или поддерживают их в выработанном пространстве органной крепью.

При отработке столба лавами с частичной закладкой на всех шахтах обоих месторождений бортовые штреки

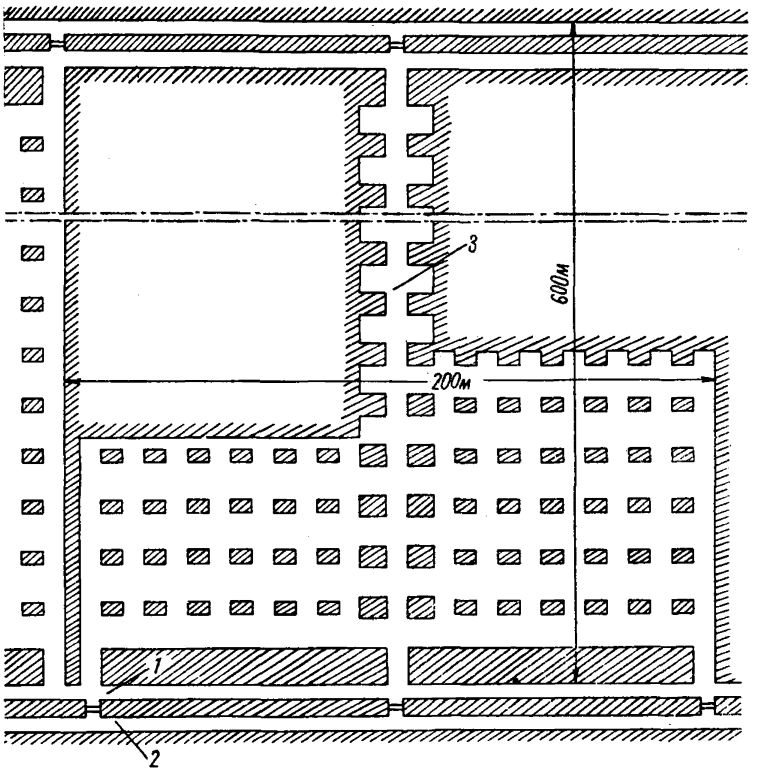


Рис.4.

поддерживаются в выработанном пространстве бутовыми полосами и крепятся неполными дверными окладами (см.рис.3), а при камерной системе со столбчатыми целиками на Эстонском месторождении они поддерживаются в выработанном пространстве целиками (междукамерным и междублоковым) (см.рис.4), и кровля их крепится штангами.

Выемка сланца на обоих месторождениях осуществляется с помощью буро-взрывных работ. При этом в лавах с частичной закладкой и в камерах-лавах предварительно производится подрубка забоя врубовой машиной. Погрузка сланца на конвейер в лавах с частичной закладкой производится вручную, а в камерах и в камерах-лавах - погрузочными машинами.

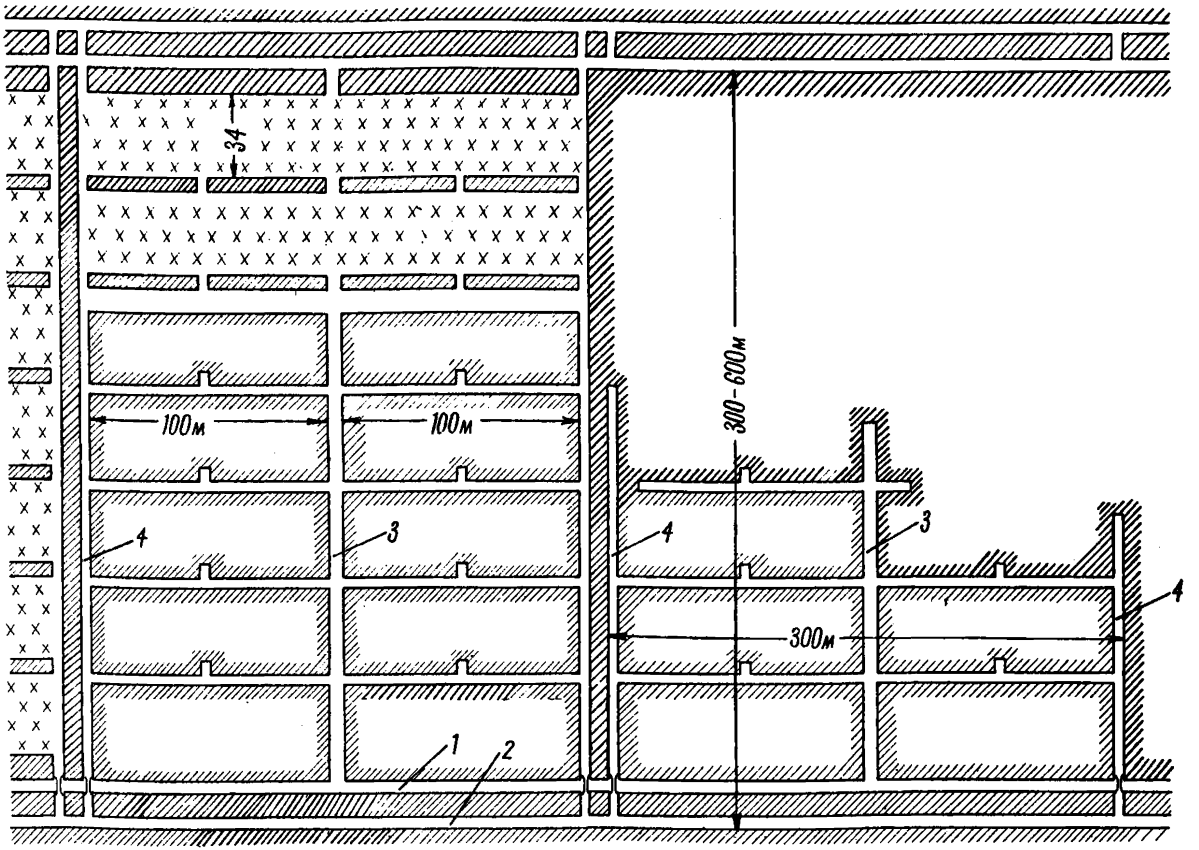


Рис.5

П. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД И НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ЦЕЛИКОВ

Данные о механических свойствах горных пород, необходимые для определения размеров конструктивных элементов систем разработки, до последнего времени получали, главным образом, путем испытания образцов небольших размеров в лабораторных условиях. Однако механические характеристики горных пород, полученные при лабораторных испытаниях, не отражают в полной мере свойств массива, поскольку при этих испытаниях не учитываются факторы, ослабляющие прочность материала в массиве: трещиноватость, слоистость, влажность и другие.

Предложенный ВНИМИ метод натурных определений механических свойств горных пород /2/, в частности прочности на сжатие, дает возможность получить более достоверные характеристики горных пород и подойти с большим обоснованием к расчету параметров систем разработки. Следует, однако, подчеркнуть, что метод натурных испытаний имеет ограниченные возможности и значительную трудоемкость. Поэтому для изучения физико-механических свойств горных пород широко применялись лабораторные исследования, а выполненные натурные испытания использовались для установления переходных коэффициентов от прочности пород в образце к прочности в массиве.

Лабораторными испытаниями определялись "кубиковая" прочность и деформационные характеристики горных пород, слагающих промышленный пласт. Испытания при одноосном сжатии производились на образцах цилиндрической формы с диаметром, равным высоте ($d = h = 3$-5 см). Данные испытаний приведены в табл.1 и 2 (графы 5 и 6).

Сравнение данных испытаний образцов пород пласта на одноосное сжатие по Ленинградскому и Эстонскому месторождениям показывает, что прочность одних и тех же слоев на обоих месторождениях одинакова. Различие не превышает величины разброса значений показателей

Таблица I

Физико-механические свойства пород промпласта Эстонского месторождения горючих сланцев

Породы	Индекс слоя	Мощность слоя, м	Объемный вес породы γ, т/м^3	"Кубиковая" прочность породы при сжатии образцов, кг/см^2		Коэффициент снижения прочности при полном влагонасыщении k_f	Коэффициент структурного ослабления $k_м$	"Кубиковая" прочность породы при сжатии в массиве $\sigma_м$, кг/см^2	Модуль упругости породы (сухой) $E \times 10^{-5}$ кг/см^2	Коэффициент Пауссона сухой породы μ
				сухих σ_c	при полном влагонасыщении σ_f					
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II
Горючий сланец	F	0,92	I,5	370	250	0,68	0,33	I20	0,24	0,30
Горючий сланец	E	0,3I	I,3	350	230	0,66	0,32	II0	I,I6	0,30
Известняк	E/Д	0,06	2,I	750	620	0,83	0,40	300	I,33	0,27
Горючий сланец глинистый	Д	0,07	I,7	320	I80	0,56	0,27	90	-	-
Известняк	Д/С	0,23	2,4	840	640	0,76	0,37	3I0	I,60	0,30
Горючий сланец	C	0,38	I,5	280	I80	0,64	0,3I	90	-	-
Известняк	C/B	0,II	2,I	800	640	0,80	0,38	300	-	-
Горючий сланец	B	0,58	I,4	370	250	0,68	0,33	I20	0,20	0,30
Известняк	B/A	0,I8	2,2	690	480	0,70	0,34	240	2,I	0,30
Горючий сланец глинистый	A	0,I0	I,5	250	I50	0,60	0,29	70	-	-
Горючий сланец	A	0,I3	I,5	280	I60	0,57	0,27	80	-	-

Таблица 2

Физико-механические свойства пород промпласта Ленинградского месторождения горючих сланцев

Породы	Индекс слоя	Мощность слоя, м	Объемный вес породы γ, т/м^3	"Кубиковая" прочность породы при сжатии образцов, кг/см^2		Коэффициент снижения прочности при полном влагонасыщении k_f	Коэффициент структурного ослабления k_m	"Кубиковая" прочность породы при сжатии в массиве σ_m, кг/см^2	Модуль упругости породы (сухой) E x10^{-5} кг/см^2	Коэффициент Пауссона сухой породы, м
				сухих σ_c	при полном влагонасыщении σ_f					
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II
Переплетение известняка и сланца "ложная кровля"		0,33	I,8	530	400	0,76	0,36	I90	I,8	0,23
Горючий сланец, I слой	Е	0,52	I,5	360	250	0,70	0,34	I20	0,24	0,24
Известняк "розовая плита"	Е/Д	0,07	2,4	620	540	0,87	0,42	260	3,0	0,24
Глинистый сланец	Д	0,05	I,7	3I0	I80	0,58	0,28	90	-	-
Известняк "двойная плита"	Д/С	0,27	2,5	840	640	0,76	0,37	3I0	3,0	0,24
Горючий сланец, 2 слой	С	0,27	I,4	340	240	0,7I	0,34	I20	0,I5	0,25
Известняк "кулак"	С/В	0,I5	2,3	820	640	0,78	0,37	300	2,70	0,22
Горючий сланец, 3 слой	В	0,25	I,3	380	260	0,68	0,33	I30	0,I8	0,23
Известняк "синюха"	В/А'	0,I8	2,4	700	480	0,68	0,33	230	2,0	0,33
Глинистый сланец	А'	0,06	I,7	3I0	I80	0,58	0,28	90	-	-
Горючий сланец , 4 слой	А	0,09	I,5	3I0	I80	0,58	0,28	90	0,I6	0,30

прочности образцов, изготовленных из одной породы. Величина коэффициента вариации значений прочности одной породы колеблется, как правило, в пределах 10-15%. Это подтверждает вывод о хорошей выдержанности свойств пород на площади обоих месторождений.

Кроме того, были проведены испытания пород кровли на изгиб (по методу ВУГИ). Образцы для испытания пород кровли на изгиб изготовлялись из кернов скважин,пробуренных до высоты 14 м в кровлю пласта горючего сланца. Анализ результатов испытаний позволил условно разделить все породы кровли на четыре группы по прочности, усредненные значения прочности которых приведены в табл.3, где также даны коэффициенты вариации.

Таблица 3

Название породы	Прочность сухих образцов при изгибе $\sigma_{изг}$ кг/см^2	Коэффициент вариации, %	Прочность пород в массиве $\sigma_{м.м}$, кг/см^2
Известняки слабоглинистые, чистые	I90	II	80
Известняки с включением мергелей, горючих и горючих глинистых сланцев, известняки сильно глинистые	I60	I6	60
Переплетение известняков с горючими, горючими глинистыми сланцами и мергелями	I50	7	60
Горючие и глинистые горючие сланцы	80	I2	30

Влияние увлажнения горных пород на их прочность изучалось на образцах из глинистого известняка "синюха". Аналогичные испытания были проведены на горючем сланце Ю.М.Каргашовым. Эти данные указывают на значительное снижение прочности горных пород сланцевых месторождений при увлажнении.

Специальными исследованиями горных пород Ленинградского месторождения, проведенными В.Я.Степановым (ВНИМИ), установлено, что естественная влажность пород горного массива мало отличается от величины влаж-

ности образцов при полном влагонасыщении, отклонения не превышают 5–10%, т.е. горные породы, слагающие Ленинградское месторождение, находятся практически в состоянии полного влагонасыщения. То же относится и к Эстонскому месторождению.

Ввиду соответствия естественной влажности пород сланцевых месторождений их влажности при полном влагонасыщении нет необходимости испытывать горные породы при различной степени их увлажненности, достаточно испытать их в сухом состоянии и при полном влагонасыщении, чтобы определить коэффициент снижения прочности породы при увлажнении. Результаты испытаний пород пласта горючего сланца по Эстонскому и Ленинградскому месторождениям приведены в табл.1 и 2 (графа 6).

Уменьшение прочности породы при увлажнении характеризуется коэффициентом снижения прочности при водонасыщении $k_в$, представляющим собой отношение прочности влажного образца $\sigma_в$ к прочности сухого образца $\sigma_с$:

$$k_в = \frac{\sigma_в}{\sigma_с}. \qquad (1)$$

Для данной породы коэффициент снижения прочности при водонасыщении имеет наибольшее значение при полном водонасыщении породы. Коэффициенты снижения прочности при водонасыщении пород пласта горючего сланца приведены в табл.1 и 2 (графа 7).

Для горных пород сланцевых месторождений значение величины коэффициента снижения прочности при полном влагонасыщении находится в пределах 0,6–0,9, причем для горючих и горючих глинистых сланцев $k_в$ = 0,6–0,7; для мергелей и сильно глинистых известняков $k_в$ =0,7; для долимитов, слабо глинистых известняков $k_в$ =0,8–0,9.

Для определения механических характеристик пород пласта горючего сланца были проведены натурные испытания по методике, разработанной ВНИМИ /2/. В слое сланца B выбуривался образец с длиной ребра 0,5 м. Глубина щелей в направлении, перпендикулярном стенке выработки, была 0,8 м. Результаты испытаний показывают,

что прочность горючего сланца слоя В в массиве в среднем составляет 120 кг/см^2 с коэффициентом вариации 16%. Модуль деформации горючего сланца слоя В по данным натурных испытаний равен 1,6.10^4 кг/см^2.

Сравнивая прочность сланца, определенную при натурных испытаниях, и прочность сланца, найденную при испытаниях водонасыщенных образцов, получим коэффициент структурного ослабления массива как отношение "кубиковой" прочности сланца в натуре $\sigma_м$ к "кубиковой" прочности водонасыщенного образца $\sigma_в$:

$$k'_м = \frac{\sigma_м}{\sigma_в} = \frac{120}{250} = 0,48$$

Пласт горючего сланца состоит из переслаивающихся между собой слоев сланца и известняка (рис.2). Механические свойства сланца и известняка резко отличаются друг от друга, но все сланцевые слои по своим механическим характеристикам (прочностным и деформационным) довольно близки между собой. То же относится и к слоям известняка. Поэтому представляется допустимым распространить коэффициент структурного ослабления $k'_м$, определенный при натурных испытаниях одного слоя горючего сланца, на все слои пород, слагающих промышленный пласт горючего сланца. Это можно сделать еще и потому, что, как указано в разд.1, слои известняка менее трещиноваты, чем слои сланца. При определении прочности горных пород в массиве путем перехода от прочности пород в образце представляется более удобным пользоваться коэффициентом структурного ослабления $k_м$, отнесенным к прочности сухого образца породы, который может быть найден из следующего выражения:

$$k_м = k'_м \cdot k_в = 0,48\, k_в \qquad (2)$$

Значения коэффициентов структурного ослабления для пород пласта приведены в табл.1 и 2 (графа 8).

Основываясь на вышеизложенном, можно рассчитать прочности в массиве всех слоев пород, слагающих промышленный пласт, по следующей формуле:

$$\sigma_{Mi} = k_M \sigma_{ci} \qquad (3)$$

Результаты расчета представлены в табл.1 и 2 (графа 9).

В 1967 г. на шахте № 3 Ленинградского месторождения были проведены натурные испытания на изгиб балок, нарезанных в известняке "синюха" /3/. При этом были испытаны балки на двух опорах с заделкой по концам и консольные балки. Прочность известняка по натурным испытаниям составила в среднем 49 кг/см^2. Прочность сухого образца при изгибе в среднем составляет 130 кг/см^2. Вычислим коэффициент структурного ослабления при изгибе по следующей формуле:

$$k_{м.и} = \frac{\sigma_{м.и}}{\sigma_{с.и}} = \frac{49}{130} = 0{,}38 .$$

Прочность пород кровли в массиве при изгибе определится из выражения

$$\sigma_{м.и.i} = k_{м.и} \cdot \sigma_{с.и.i}. \qquad (4)$$

Рассчитанная прочность пород кровли в массиве приведена в табл.3 (графа 5).

Показатели прочностей пород в массиве, полученные путем пересчета с использованием коэффициента структурного ослабления, подлежат дальнейшему уточнению на основе большего числа натурных испытаний.

Определение несущей способности целиков представляет известные трудности, поскольку промышленный пласт горючего сланца сложен слоями различной прочности.

Изучение прочности неоднородных целиков показало, что прочность кубического целика зависит от соотношения прочностей крепких и слабых слоев и от их толщины. Чем больше толщина слабого слоя и чем меньше его прочность, тем в большей степени снижается несущая способность целика. При этом положение слабой пачки по высоте целика существенного влияния на прочность целика не оказывает /2/.

Для определения "кубиковой" прочности неоднородного целика одним из авторов настоящих "Указаний..." предложена формула:

$$\sigma_н = \frac{\sigma_{м1}}{1 + \left(\frac{\sigma_{м1}}{\sigma_{м2}} - 1\right)\frac{m_c}{m}}, \qquad (5)$$

где $\sigma_н$ – "кубиковая" прочность неоднородного целика;

$\sigma_{м1}$ – "кубиковая" прочность прочного слоя;

$\sigma_{м2}$ – "кубиковая" прочность слабого слоя;

m_c – мощность слабого слоя;

m – высота целика, обычно равная вынимаемой мощности пласта.

По формуле (5) рассчитывается прочность пласта, состоящего из двух разнопрочных слоев. В нашем случае пласт состоит из нескольких переслаивающихся между собой слабых и прочных слоев, причем все слабые слои имеют близкие между собой прочности. То же относится и к прочным слоям. Для определения прочности такого целика достаточно определить средневзвешенную прочность всех слабых и средневзвешенную прочность всех прочных слоев, после чего рассчитывать прочность целика по формуле (5). В этом случае:

$$\sigma_{м1} = \frac{\sum_1^n \sigma_{m1i} \cdot m_{1i}}{\sum_1^n m_{1i}}, \quad \sigma_{м2} = \frac{\sum_1^n \sigma_{m2i} \cdot m_{2i}}{\sum_1^n m_{2i}},$$

где σ_{m1i} – прочность крепкого слоя;

m_{1i} – мощность крепкого слоя;

σ_{m2i} – прочность слабого слоя;

m_{2i} – мощность слабого слоя.

Расчеты по формуле (5) показали, что "кубиковая" прочность сланцевого пласта в массиве составляет для Эстонского месторождения при вынимаемой мощности пласта 2-3 м 120-130 кг/см^2, для Ленинградского место-

рождения порядка 150 кг/см^2.

По данным исследований ВНИМИ и ЛГИ в зонах карстовых нарушений прочность пород пласта снижается на величину до 30%. При определении размеров целика это обстоятельство необходимо учитывать, поэтому в зонах карстовых нарушений необходимо принимать следующие величины "кубиковой" прочности пласта сланца: Эстонское месторождение 90 кг/см^2; Ленинградское месторождение - 100 кг/см^2.

Ш. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОВЕДЕНИЯ ПОРОД ГОРНОГО МАССИВА И ЦЕЛИКОВ

1. Поведение пород подрабатываемого массива

Толща пород, покрывающих промышленный пласт горючего сланца, сложена чередующимися слоями известняков, мергелей, горючих и глинистых сланцев с прослойками глин. Мощность отдельных слоев пород, слагающих покрывающий массив, составляет 0,02-0,60 м (рис.1). Одним из основных свойств осадочных пород является их способность расслаиваться, что определяет последовательность развития процессов их разрушения над очистными выработками.

Исследования поведения подрабатываемых пород кровли проводились в лавах с управлением кровлей частичной закладкой и обрушением. При этом было установлено, что породы кровли при подработке расслаиваются и обрушаются, несмотря на тонкослоистую структуру, довольно мощными пачками слоев, толщина которых находится в пределах от 0,8 до 2,5 - 3 м, т.е. в несколько раз больше мощности отдельных литологических разностей пород, слагающих массив. Такой характер развития процессов отслоения и обрушения пород покрывающего массива предопределяется наличием в породах кровли относительно слабых по прочности слоев горючих и глинистых сланцев и глин.

Мощность отслаивающихся пачек, наряду с прочностью составляющих пачку пород, определяет наступление предельного состояния кровли над очистной выработкой. Величины пролетов первого обрушения кровли по наблюдениям ВНИМИ в лавах с частичной закладкой на Ленинградском месторождении приведены в табл.4.

Таблица 4

Непосредственная кровля				Основная кровля			
шахта	панель	лава	ширина пролета,м	шахта	панель	лава	ширина пролета, м
№ I	2.Ю.-З.	20	22	№ I	9	9(Iбл.)	44
-"-	-"-	2I	20	-"-	9	9(2бл.)	44
-"-	6.Ю.-З.	8	I8[X]	-"-	I6	4	44
№ 2	29	I9	I8	-"-	6.Ю.-З.	8	40
№ 3	2	I8	22	№ 2	2I	I	44
-"-	I	I8	20[X]	-"-	29	I9	40
-"-	2	I8	22	-"-	29	20	40
-"-	4	II	22	-"-	3I	4	44
им.С.М. Кирова	I6	3(Iбл.)	24	№ 3	2	I7	44
-"-	I6	3(2бл.)	26	-"-	2	I8	46
-"-	8	I9	22	-"-	2	II	48
				-"-	I4	I-а	45
				им.С.М. Кирова	9	I5	44
				-"-	I0	I9	46
				-"-	I6	3	48

Величины пролетов первого обрушения непосредственной кровли на глубоких шахтах Эстонского место-

рождения (глубина залегания больше 30 м) получены такими же, как на Ленинградском месторождении. Так, например, первое обрушение непосредственной кровли в лаве № 9 ХП панели шахты "Ахтме" произошло при пролете 22 м.

По данным табл.4 средняя величина пролета первого обрушения непосредственной кровли составляет 21 м, а основной – 44 м. При первом обрушении, как правило, отслаивается и оседает пачка пород непосредственной кровли мощностью 0,9–1,2 м. Однако в отдельных случаях наблюдается обрушение пачки пород мощностью 1,9 м.

Величину пролета первого обрушения кровли l_0 ориентировочно можно определять по формуле расчета балки, заделанной с двух концов и нагруженной собственным весом:

$$l_0 = \sqrt{\frac{2\sigma_{н.к} h_0}{k_п \cdot \gamma}}, \qquad (6)$$

где $\sigma_{н.к}$ – прочность неоднородной пачки пород кровли при изгибе в массиве, т/м^2;

h_0 – мощность обрушающейся пачки, м;

$k_п$ – коэффициент пригрузки (для условий месторождения горючих сланцев величину $k_п$ можно принять равной 1,2–1,5);

γ – средневзвешенный объемный вес пород, составляющих пачку (γ = 2,3 т/м^3).

В случае отслоения и обрушения нижней пачки пород непосредственной кровли мощностью 0,9 м ($\sigma_{н.к}$ = 550 т/м^2, γ = 2,3 т/м^3) будем иметь:

$$l_0' = \sqrt{\frac{2.550.0{,}9}{1{,}3.2.3}} \approx 21 \text{ м}.$$

При обрушении непосредственной кровли общей мощностью 1,9 м ($\sigma_{н.к}$ = 500 т/м^2, γ = 2,3 т/м^3) получим

$$l_0'' = \sqrt{\frac{2,500,1,9}{1,3,2,3}} \approx 25 \text{ м}$$

По формуле (6) пролет получается несколько меньшим по сравнению со случаем расчета балки с учетом податливости опор /4,5/, что идет в запас.

Как видно, рассчитанные по формуле (6) величины пролетов первого обрушения нижней пачки пород непосредственной кровли совпадают с опытными, определенными непосредственными наблюдениями.

В двух лавах были проведены специальные опыты по выяснению влияния на величину пролета первого обрушения закладки и отдельных стоек, оставляемых в выработанном пространстве. С этой целью закладка не доводилась до кровли на 0,3 м, а крепь полностью извлекалась. Полученные при этом величины пролетов первого обрушения непосредственной кровли не отличались от наблюдавшихся при обычных условиях отработки, когда закладка возводилась до кровли, а часть стоек не извлекалась (см.табл.4). Таким образом, результаты исследований позволяют утверждать, что величина пролета первого обрушения пород непосредственной кровли зависит, в основном, от мощности обрушающейся пачки. Это относится и к основной кровле, поскольку она сложена породами, имеющими строение и механические свойства, не отличающиеся от пород непосредственной кровли.

По данным наблюдений при системах разработки с управлением кровлей частичной закладкой и обрушением,а также в камерах-лавах породы кровли обрушаются, образуя плоскость облома, параллельную линии забоя очистной выработки и наклоненную от вертикали в сторону выработанного пространства под углом φ . Величина угла обрушения φ при первом обрушении непосредственной и основной кровли (до высоты порядка 12 м от кровли промпласта) находится в пределах 30-35°. При последующих обломах кровли величина угла φ уменьшается до 25°.

Отслоение и обрушение пачек покрывающих пород на Ленинградском месторождении характеризуются следующими данными. Первое обрушение непосредственной кровли происходит, как правило, при пролетах, величина которых колеблется в пределах 18–22 м (в среднем 21,5 м). При этом отслаивается и обрушается пачка пород непосредственной кровли мощностью порядка 0,9–1,2 м. Однако в отдельных случаях расслоения пород на горизонте 0,9–1,2 м не наблюдается, а отслаивается и обрушается пачка пород мощностью порядка 1,9 м. Она обрушается при пролетах 24–26 м. Вышележащая пачка пород непосредственной кровли мощностью порядка 2 м (до горизонта 3,8–4 м) обрушается при пролете 32–35 м. Этот горизонт является границей между непосредственной и основной кровлей. Следующий горизонт расслоения располагается на высоте порядка 6 м от кровли промпласта и является верхней границей первой пачки пород основной кровли. Обрушение этой пачки происходит при пролетах 40–48 м (в среднем 44 м). При пролетах 50–55 м обрушается вся мелкослойная толща пород основной кровли до высоты порядка 12 м от кровли промпласта. При пролетах 62–68 м обрушается толща пород основной кровли до высоты порядка 25 м от кровли промпласта. При пролетах 80–85 м появляются признаки расслоения всей остальной толщи пород до дневной поверхности, а при пролетах 90–100 м происходит ее оседание.

Породы кровли обрушаются крупными блоками. Толщина обрушающихся пачек составляет 0,9–2 м. В плоскости напластования размеры блоков колеблются от 3x5 до 5x15 м.

Поведение пород кровли на Эстонском месторождении характеризуется следующими данными. Предельные пролеты обрушающихся пород кровли изменяются с глубиной на Эстонском месторождении в сторону увеличения:

Для глубин 20–30 м. Непосредственная кровля мощностью до 3,0–3,5 м обрушается при пролете 17–19 м. При пролете 20–22 м обрушаются нижние слои основной кровли общей мощностью около 4 м до высоты порядка 7,5 м от кровли промпласта. При пролете 24–28 м происходит обрушение следующей пачки пород основной кровли мощностью около 4 м до высоты 11,6 м над кровлей

промпласта, а при пролете 32-36 м обрушается остальная толща пород до поверхности.

Для глубин 31-50 м. Непосредственная кровля мощностью до 3,5 м обрушается при пролете 20-22 м, а при пролете 30-36 м основная кровля до высоты 11,6 м от кровли промпласта. Остальная толща пород до поверхности обрушается при пролете 45-60 м.

Для глубин 51-70 м. Непосредственная кровля обрушается при пролетах 20-22 м, а основная кровля до высоты 11,6 м от кровли промпласта обрушается при пролете 30-36 м. Остальная толща пород до поверхности обрушается при пролете 65-80 м.

Последующий шаг обрушения покрывающих пород составляет примерно 1/3 величины пролета первого обрушения соответствующей пачки пород.

Необходимо отметить, что полная подработка всего массива пород до дневной поверхности наступает при различных пролетах, величина которых находится в прямой зависимости от глубины разработки.

Наибольшая величина пролета полной подработки поверхности, определяемая в пределах 90-100 м, наблюдается на участках месторождения с глубиной залегания не менее 75 м. Она зависит, прежде всего, от наличия в покрывающей толще везенбергских слоев мощностью порядка 15 м, состоящих из двух слоев доломита, разделенных слоем известняка. Эти породы характеризуются наивысшими по разрезу показателями прочности, полученными при испытаниях сухих образцов, и имеют следующую характеристику, считая сверху вниз: доломит мощностью 3 м, прочность на одноосное сжатие 1150 кг/см^2, прочность на разрыв 94 кг/см^2; известняк мощностью 7 м, прочность на одноосное сжатие 880 кг/см^2, прочность на разрыв 67 кг/см^2; доломит мощностью 4 м, прочность на одноосное сжатие 780 кг/см^2, прочность на разрыв 72 кг/см^2. Везенбергские слои расположены на высоте от 50 до 65 м от кровли промпласта.

Кроме того, известно, что зона выветривания пород распространяется на глубину до 10 м, и поскольку везен-

бергские слои залегают, как указано выше, на расстоянии до 65 м от кровли промпласта, то они не могут быть затронуты выветриванием на участках месторождения с глубиной залегания более 75 м. При глубине залегания промпласта более 75 м полная подработка поверхности происходит, как показывают наблюдения, при пролетах порядка 90–100 м. Очевидно, что при меньших глубинах залегания пласта полная подработка поверхности будет происходить при меньших пролетах.

2. Характер деформирования и разрушения целиков

Исследования поведения целиков на шахтах Прибалтийского сланцевого бассейна проводились, в основном, при камерных системах разработки (сюда мы относим и систему камер–лав) и, частично, при разработке сланца системой с частичной закладкой и промежуточными целиками.

Инструментальные наблюдения за поведением междукамерных целиков показали, что наиболее интенсивное их сжатие происходит до момента полной подработки дневной поверхности, когда целик нагружается весом пород всей покрывающей толщи. Затем скорость деформирования целика резко замедляется. Так, междукамерный целик на шахте № 3 Ленинградского месторождения за первые полтора года (до полной подработки дневной поверхности) деформировался на 28 мм, а за последующие 7 лет – на 35 мм (рис.6). Такой характер развития деформаций цели-

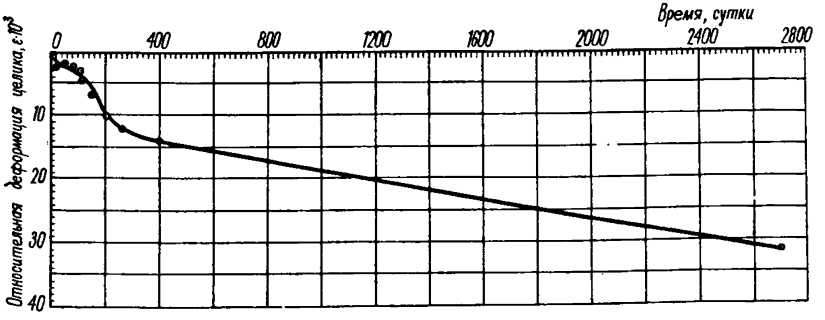


Рис.6.

ков наблюдается как при камерной системе разработки, так и в лавах с частичной закладкой и с оставлением промежуточных целиков шириною 6-8 м через каждые 80-90 м.

Инструментальные наблюдения за деформацией целиков различной ширины в камерах-лавах (рис.7) позволили

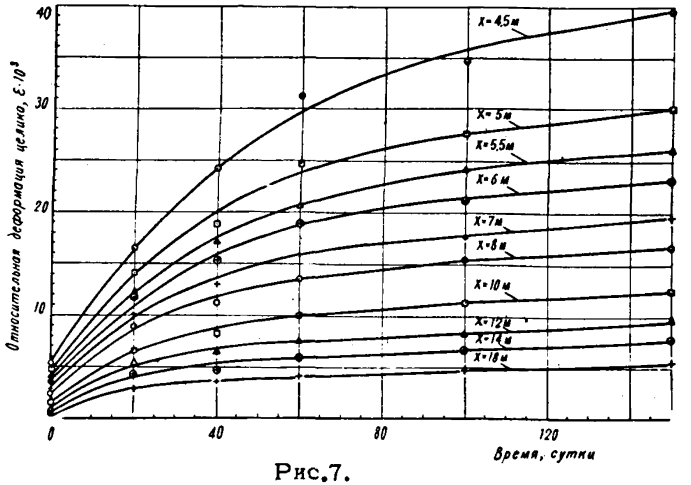


Рис.7.

установить характер деформирования их в зависимости от ширины целика. Средние напряжения, возникающие в целике под воздействием веса толщи пород до дневной поверхности, приведены в табл.5.

Таблица 5

Ширина целика, м	Напряжения, т/м^2	Ширина целика, м	Напряжения, т/м^2
4,5	2400	8,0	1400
5,0	2200	10,0	1100
5,5	2000	12,0	1000
6,0	1800	14,0	880
7,0	1600	18,0	730

Напряжения в целиках различной ширины определялись при условии, что полный вес столба пород до дневной поверхности начинает воздействовать на целик через двадцать суток после окончания работ в предыдущей камере, причем нагрузка от веса вышележащей толщи пород распределяется равномерно по всему сечению целика. Расчет производился по формуле

$$\sigma = \frac{(A + x)(b + y)}{(x - 0{,}6)\,y}\,\gamma H, \qquad (7)$$

где σ – средние напряжения в целике, т/м^2;
A – пролет камеры-лавы (в среднем составляет 33 м);
x – ширина целика, м;
y – длина целика между сбойками, м;
b – ширина сбойки, м;
γ – объемный вес пород (2,5 т/м^3);
H – глубина залегания пласта (в среднем 90 м).

Своеобразный характер разрушения целиков, наблюдавшийся в узких камерах, заключается в непрерывном последовательном разрушении узких краевых полос целика (рис.8).

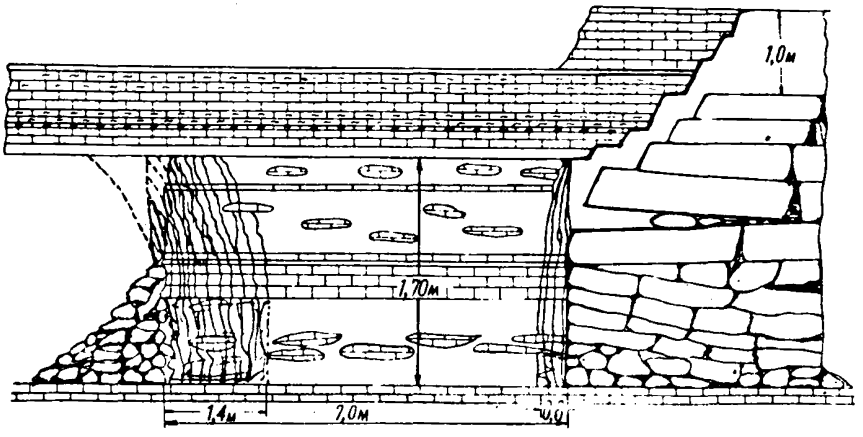


Рис.8.

То же наблюдается в целиках при широких камерах. Процесс разрушения целиков происходит тем интенсивнее, чем

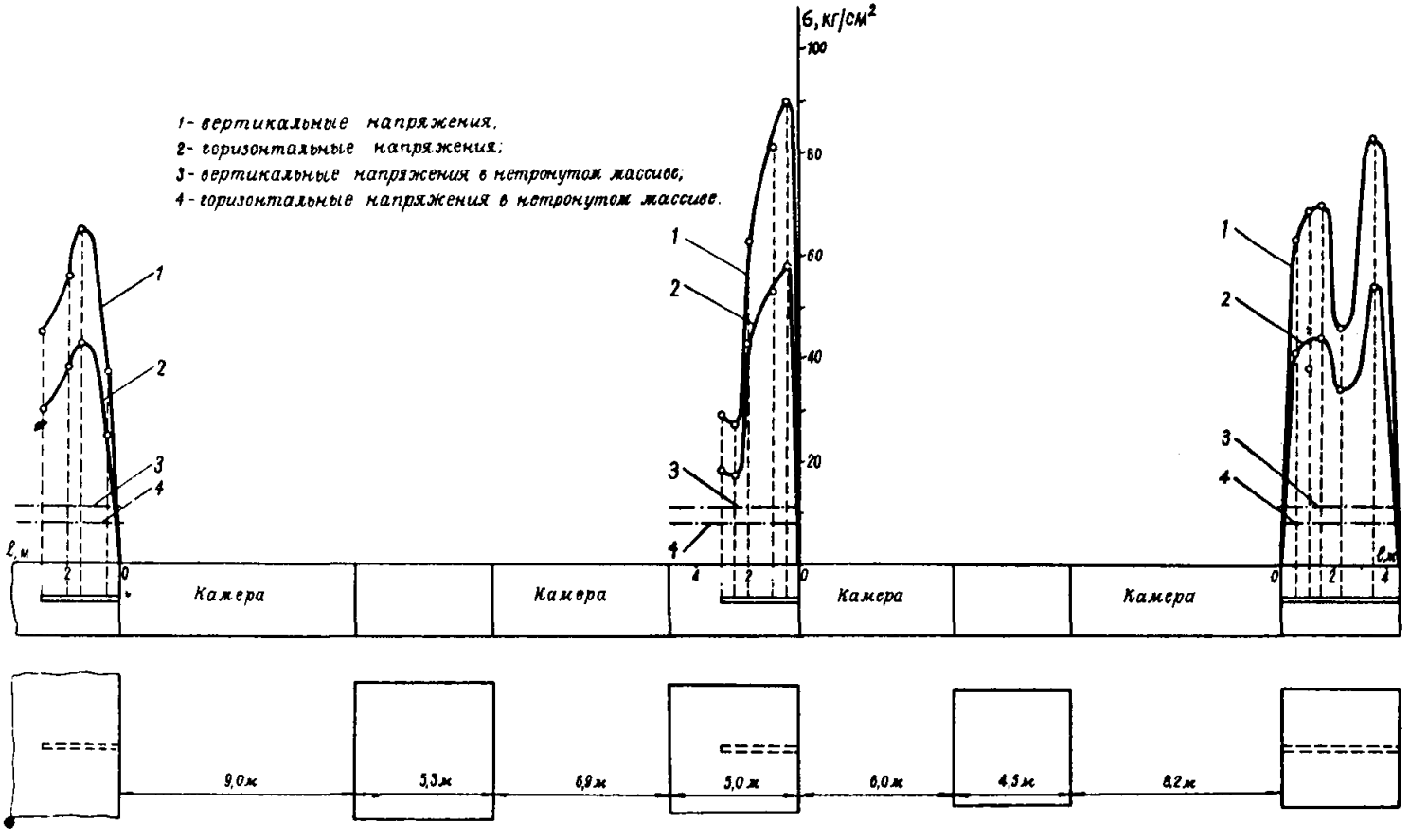
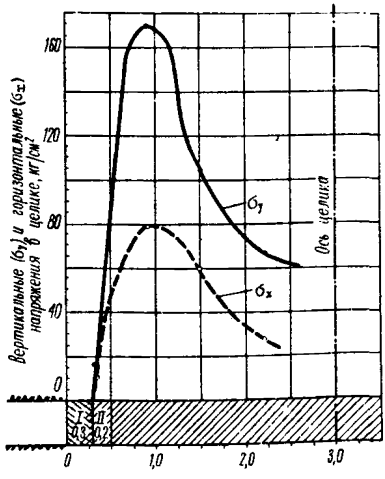

1- вертикальные напряжения.
2- горизонтальные напряжения;
3- вертикальные напряжения в нетронутом массиве;
4- горизонтальные напряжения в нетронутом массиве.
σ, кг/см²
100
80
60
40
20
Камера
Камера
Камера
Камера
9,0 м
5,3 м
6,9 м
5,0 м
6,0 м
4,5 м
8,2 м

Рис.9а

больше напряжения, возникающие в целике под воздействием веса вышележащих пород.

Стенки целиков разрушаются еще в период их оформления буровзрывными работами на глубину 0,3–0,5 м в зависимости от направления шпуров, причем в большей степени разрушается та стенка целика, по отношению к которой шпуры были направлены перпендикулярно. В дальнейшем процесс разрушения целиков протекает под воздействием горного давления и заключается в последовательном отдавливании узких краевых полос целика. Постепенное разрушение краевой зоны и ее перемещение в глубь целика можно объяснить значительной концентрацией напряжений на краях целика, что подтверждается результатами измерений напряженного состояния целиков методом разгрузки.



I –отжатая часть

II –зона бунения

Рис.9б

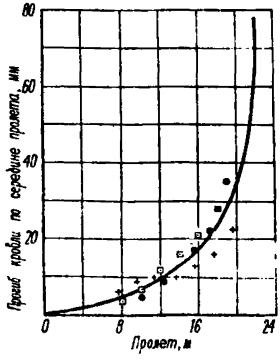
Эти измерения проводились в междукамерных целиках на шахте "Ахтме" Эстонского месторождения при разработке сланца камерной системой со столбчатыми целиками (рис.9а) и при системе разработки камерами-лавами на шахте № 3 Ленинградского месторождения (рис.9б)

Как видно из рис.9, напряжения в целиках распределяются неравномерно, и вблизи их краевых частей, на расстоянии 0,5–1,5 м от края, имеются зоны концентрации напряжений. При этом коэффициент концентрации напряжений (отношение максимальных напряжений к напряжениям в центральных частях целиков) составляет в среднем 2–3.

Результаты измерений напряжений в целиках подтвердили также известное положение о том, что при достаточно больших размерах отрабатываемого участка и на достаточном удалении от окружающего массива напряжения в целике соответствуют нагрузке от полного веса приходящегося на него столба пород до дневной поверхности.

1У. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВЫХ ПРОЛЕТОВ ВЫРАБОТОК

При применении камерных систем разработки прежде всего необходимо решить вопрос о выборе ширины камер. Ширина камер зависит, в основном, от устойчивости пород кровли. Исследованиями ВНИМИ на сланцевых шахтах Прибалтики установлено, что величина пролета первого обрушения кровли колеблется в пределах 18-26 м, составляя в среднем 21 м (см. раздел Ш). Методика определения допустимого пролета камер основана на результатах анализа развития смещений кровли по середине пролета лавы при отходе ее забоя от целика. По мере роста пролета лавы происходит нарастание величины смещения кровли, которое характеризуется графиком рис. 10. С учетом сказанного выше допустимая ширина камер для сланцевых шахт может быть принята равной 12 м в нормальных горногеологических условиях. В осложненных горногеологических условиях (в случае близости карстовых нарушений, при наличии в кровле камер сближенных геологических трещин, а особенно пересекающихся трещин главных направлений (С-З и С-В), величину пролета камеры необходимо принимать уменьшенной до 8 м. Вели-



⊡–лава 20 II панели шахты № 1
+–лава 18 1 панели шахты № 3
О–лава 9 XII панели шахты № 10

Рис.10

чину коэффициента запаса несущей способности камеры можно определить по формуле

$$k_3 = \left(\frac{L_0}{l_{доп}} \right)^2 , \qquad (8)$$

где L_0 - пролет первого обрушения непосредственной кровли (21 м);

$l_{доп}$ - допустимый пролет камеры (10-12 м).

Величина коэффициента запаса устойчивости кровли для пролетов камер, применяемых на сланцевых шахтах, составляет 3-4.

Практика разработки горючего сланца камерной системой разработки показала, что кровля камеры шириною 8-11 м, закрепленная штанговой крепью, устойчива в течение всего срока, необходимого для отработки камеры. В тех камерах, где штанговая крепь не снята, кровля не обрушается в течение более десяти лет.

Склонными к обрушению являются нижние слои непосредственной кровли мощностью 0,25-0,5 м, поэтому кровлю камер при отработке необходимо временно крепить штангами. Длина штанг должна быть не менее 1 м при разработке пласта сланца с подрывкой ложной кровли на высоту 0,25 м и не менее 1,6 м при оставлении в кровле пласта части слоя горючего сланца F .

Следует иметь в виду, что при разработке сланца камерной системой с прямоугольными целиками (рис.11) пролет камеры необходимо определять как расстояние по диагонали между противоположными целиками, а не как наименьшее расстояние между целиками, что принято в литературе, так как наблюдениями в камерах со столбчатыми целиками установлено, что наибольшие величины смещений кровли имеют место в точке N (см.рис.11). На основании этого ширину камер при разработке со столбчатыми целиками нужно выбирать, пользуясь выражением

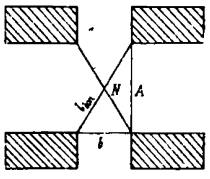


Рис.11.

$$A = \sqrt{l_{доп}^2 - b^2}, \qquad (9)$$

где A – ширина камеры, м;
b – ширина сбойки в целике, м.

На Ленинградском месторождении горючих сланцев с 1962 г, применяется новая система разработки, получившая название "камера-лава". В основу системы камер-лав положено использование временной естественной устойчивости пород основной кровли. При этой системе управление непосредственной кровлей осуществляется деревянной стоечной крепью, а основной – междукамерными целиками.

ВНИМИ, на основе анализа материалов исследований проявлений горного давления при выемке сланца спаренными лавами с управлением кровлей частичной закладкой, были определены параметры системы камер-лав, размеры камер и междукамерных целиков.

При рекомендованной ширине камер-лав 32-34 м основная кровля сохраняет устойчивость до полутора лет и более. Запас устойчивости при этом составит согласно формуле (8)

$$k_3 = \left(\frac{L_0'}{l_{доп}'}\right)^2 = \left(\frac{44}{34}\right)^2 = 1{,}7.$$

В этом выражении L_c' – пролет первого обрушения основной кровли, в среднем 44 м (см.разд.Ш); допустимая ширина камеры-лавы (32-34 м).

Непосредственная кровля поддерживается деревянными стойками. Плотность крепи зависит от диаметра применяемого для крепления леса и составляет 0,3-0,4 стойки на квадратный метр площади кровли.

У. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЦЕЛИКОВ

1. Исходные положения

При определении размеров целиков будем исходить из предположения, что действующая нагрузка на целик $P_ф$ уравновешивается его несущей способностью $P_н$ с

некоторым коэффициентом запаса n, т.е.

$$P_ф = \frac{P_н}{n}. \qquad (10)$$

Несущая способность целика определится из выражения:

$$P_н = \sigma_н \cdot k_ф \cdot S_1, \qquad (11)$$

где $\sigma_н$ – "кубиковая" прочность материала целика при сжатии по данным натурных испытаний с учетом влияющих факторов, включая влажность, т/м^2;

$k_ф$ – коэффициент формы, учитывающий изменение прочности слагающих целик пород при различных величинах отношения ширины целика к его высоте;

S_1 – площадь поперечного сечения целика, м^2.

Опыты на искусственных материалах и горных породах показывают, что прочность образца при одноосном сжатии увеличивается при увеличении отношения ширины основания образца x к его высоте m и уменьшается при уменьшении этого отношения. Для горных пород сланцевых месторождений Прибалтийского бассейна изменение прочности в зависимости от отношения $\frac{x}{m}$ в интервале изменения этого отношения от 1 до 7 с достаточной точностью может быть описано уравнением прямой следующего вида:

$$k_ф = 0{,}3\frac{x}{m} + 0{,}7. \qquad (12)$$

В условиях сланцевых шахт величина отношения $\frac{x}{m}$ не выходит за границы интервала от 1 до 7, поэтому уравнение (12) описывает практически все случаи соотношения размеров целиков, оставляемых при разработке сланца.

Значение коэффициента запаса прочности целика должно приниматься в зависимости от степени достоверности данных по физико-механическим свойствам горных пород, от точности расчетной схемы и ряда других факторов. В общем случае коэффициент запаса прочности подсчитывается по формуле

$$n = n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 , \qquad (13')$$

где n_1 – коэффициент, учитывающий изменчивость прочностных характеристик пород; по данным исследований ВНИМИ для сланцевых шахт значение n_1 можно принять равным 1,2;

n_2 – коэффициент, учитывающий уменьшение площади поперечного сечения целика при его оформлении с применением буровзрывных работ, по данным исследований ВНИМИ величину n_2 можно подсчитать по формуле

$$n_2 = \frac{x}{x - 0,6},$$

где x – наименьший размер целика в плане, м;

0,6 – величина разрушения стенок целика взрывными работами (по 0,3 м с каждой стороны целика), м;

n_3 – коэффициент, учитывающий влияние других неучтенных факторов, принимаем n_3 равным 1,25.

Подставляя значения n_1 ; n_2 и n_3 в выражение (13'), получим после соответствующих преобразований

$$n = \frac{15x}{x - 0,6} . \qquad (13')$$

Действующая нагрузка на целик зависит от характера сдвижения и обрушения подрабатываемой толщи пород и определяется применительно к отдельным видам целиков.

2. Расчет междукамерных целиков

Величина фактической нагрузки, на которую рассчитываются междукамерные целики, зависит от размеров отрабатываемого участка, глубины разработки и объемного веса покрывающих пород. В большинстве случаев при

расчете целиков нагрузку на них принимают равной полному весу столба пород покрывающей толщи до дневной поверхности, однако при ограниченных размерах отрабатываемого участка целики могут испытывать несколько меньшую нагрузку.

Исследования напряженного состояния целиков, проведенные ВНИМИ на Эстонском и Ленинградском сланцевых месторождениях, показали, что при применяемых в настоящее время размерах выемочных участков целики нагружены полным весом столба пород до дневной поверхности. Поэтому фактическая нагрузка, действующая на междукамерный целик, определится из выражения

$$P_{ф} = S_2 \gamma H, \qquad (14)$$

где S_2 – площадь пород кровли, приходящаяся на целик, $м^2$;

γ – средний объемный вес пород покрывающей толщи, $т/м^3$;

H – глубина разработки, м.

Исходя из равномерного распределения напряжений по площади целика и подставляя в формулу (10) значения входящих в нее величин из выражений (11) – (14), получим

$$\frac{S_2}{S_1} \gamma H = \frac{\sigma_н (0{,}3x + 0{,}7m)(x - 0{,}6)}{1{,}5\, mx}. \qquad (15)$$

Выражение (15) представляет собой общую формулу для расчета междукамерных целиков. В этом выражении не учитывается собственный вес целика, что вполне допустимо при достаточно большом отношении глубины разработки к высоте целика.

Междукамерные целики на сланцевых шахтах, как правило, имеют ограниченные размеры в плане и прямоугольную форму (рис.12). Если обозначить ширину камеры через A, ширину сбойки в целике – b, ширину целика – x и его длину – y, то площадь целика S_1, определится из выражения: $S_1 = xy$, а площадь покрывающей толщи, приходящаяся на целик, $S_2 = (A + x)(b + y)$,

Подставляя значения S_1 и S_2 в формулу (15) и произведя соответствующие преобразования, получим следующее выражение для расчета междукамерных целиков прямоугольной формы в плане:

$$x^2+\left\{2,3m\left[1-2,1(b+y)\frac{\gamma H}{y\sigma_н}\right]-0,6\right\}x-1,4m\left[1+3,6A(b+y)\frac{\gamma H}{y\sigma_н}\right]=0. \quad (16)$$

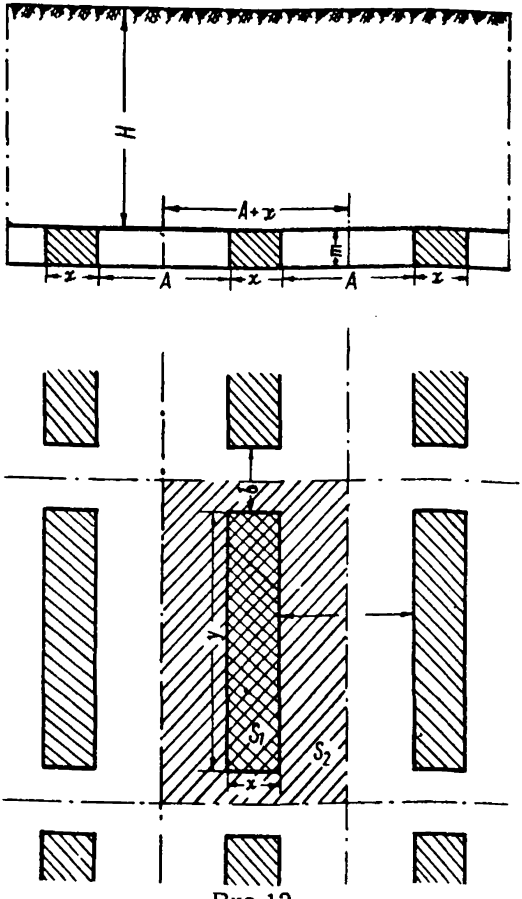


Рис.12.

При оставлении целиков квадратной формы в плане ($x = y$) имеем

$$S_1 = x^2 \text{ и } S_2 = (A + x)(b + x).$$

После подставки значений S_1 и S_2 в формулу (15) и соответствующих преобразований, получим выражение для расчета междукамерных целиков квадратной формы:

$$x^3 + \left[2{,}3m\left(1 - 2{,}1\frac{\gamma H}{\sigma_н}\right) - 0{,}6\right]x^2 - 1{,}4m\left[1 + 3{,}6(A+b)\frac{\gamma H}{\sigma_н}\right]x - 5Abm\frac{\gamma H}{\sigma_н} = 0. \qquad (17)$$

По формулам (16) и (17) можно рассчитывать междукамерные целики при разработке сланца как узкими камерами, так и широкими камерами, т.е. системой разработки "камер-лав".

3. Расчет междублоковых (барьерных) целиков

При отработке больших площадей камерными системами разработки с целью предотвращения возможных массовых разрушений междукамерных целиков на значительных площадях, сопровождающихся мощными воздушными ударами (такие явления имели место на шахте № 3 Ленинградского и на шахте "Ахтме" Эстонского месторождения), представляется целесообразным оставление барьерных (междублоковых) целиков. Роль барьерных целиков могут выполнять целики, оставляемые для охраны сборных штреков, и целики, служащие для охраны откаточных и вентиляционных выработок.

При определении нагрузок на междублоковые (барьерные) целики будем исходить из следующих предпосылок. По данным наблюдений ВНИМИ на сланцевых шахтах при системах разработки длинными столбами со сплошной выемкой и управлением кровлей обрушением и частичной закладкой, а также в камерах-лавах, покрывающие породы обрушаются, образуя плоскость облома, параллельную линии забоя очистной выработки и наклонную от вертикали в сторону выработанного пространства под углом φ

Поэтому при определении нагрузок на барьерные целики необходимо учитывать, прежде всего, вес покрывающих пород в объеме единицы длины призмы с площадью поперечного сечения KEFN (рис.13). Вес этой призмы

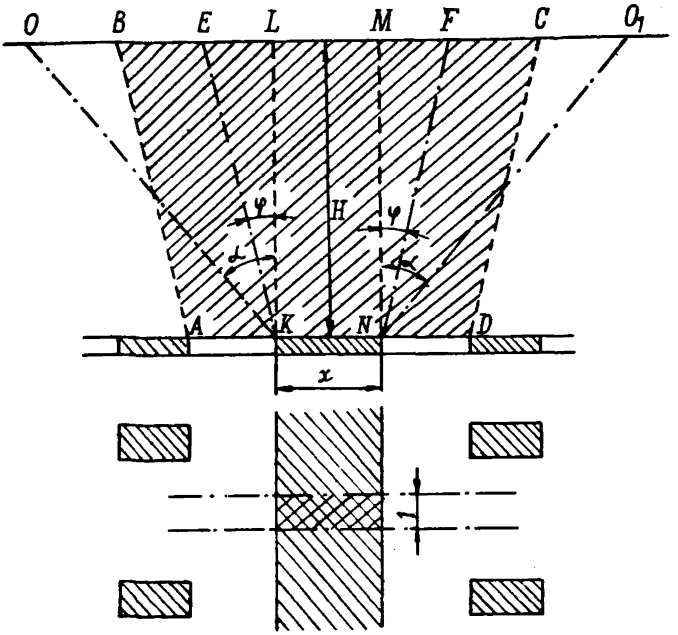


Рис.13.

будет равен

$$P_{\phi 1} = (x + H \operatorname{tg} \varphi)\, \gamma H. \qquad (18')$$

Кроме того, на целик могут опираться с обеих сторон обломившиеся блоки пород длиной FO и FO_1 (рис.13). Эти блоки опираются с одной стороны на обрушенные породы, а с другой стороны на массив над целиком. Таким образом, целик с каждой стороны будет пригружаться весом половины блока обрушенных пород, т.е. полный вес пригружающих пород на единице длины целика определится из следующего выражения:

$$P_{\phi 2} = OE \cdot \gamma H.$$

Характер оседания дневной поверхности при полной подработке всей толщи пород показан на рис.14, из которого следует, что длину блоков пригружающих пачек пород можно найти из выражения:

$$OE = H (tg \alpha - tg \varphi).$$

По материалам наблюдений за сдвижением дневной поверхности при отработке сланца лавами с управлением кровлей частичной закладкой и обрушением установлено, что для глубин от 20 до 80 м величины углов α и φ с достаточной степенью точности можно считать постоянными: $\alpha = 32^{\circ}$ (коэффициент вариации $W = 10\%$) и $\varphi = 19^{\circ}$ ($W = 15\%$). В соответствии с этим пригрузка на целик со стороны обрушенных пород определится из выражения:

$$P_{\phi 2} = H (tg \alpha - tg \varphi) \gamma H. \qquad (18'')$$

Из выражений (18') и (18'') определим полную нагрузку на междублоковый (барьерный) целик:

$$P_{\phi} = (x + H tg \alpha) \gamma H. \qquad (18)$$

Формула (18) выведена для условий разработки сланцевых месторождений на глубинах до 80 м. При больших глубинах она, по-видимому, будет давать несколько завышенные результаты, что может быть выяснено специальными исследованиями. До получения соответствующих данных формула (18) может быть рекомендована для предварительных расчетов целиков на глубинах до 140 м.

Междублоковые целики отделяют выработанное пространство отработанного блока от смежного, находящегося в работе. Они могут оставляться как сплошными (ленточными), так и разрезанными. Фактическая нагрузка на единицу длины ленточного междублокового целика определится из выражения (18), а несущую способность единицы длины целика найдем из выражения

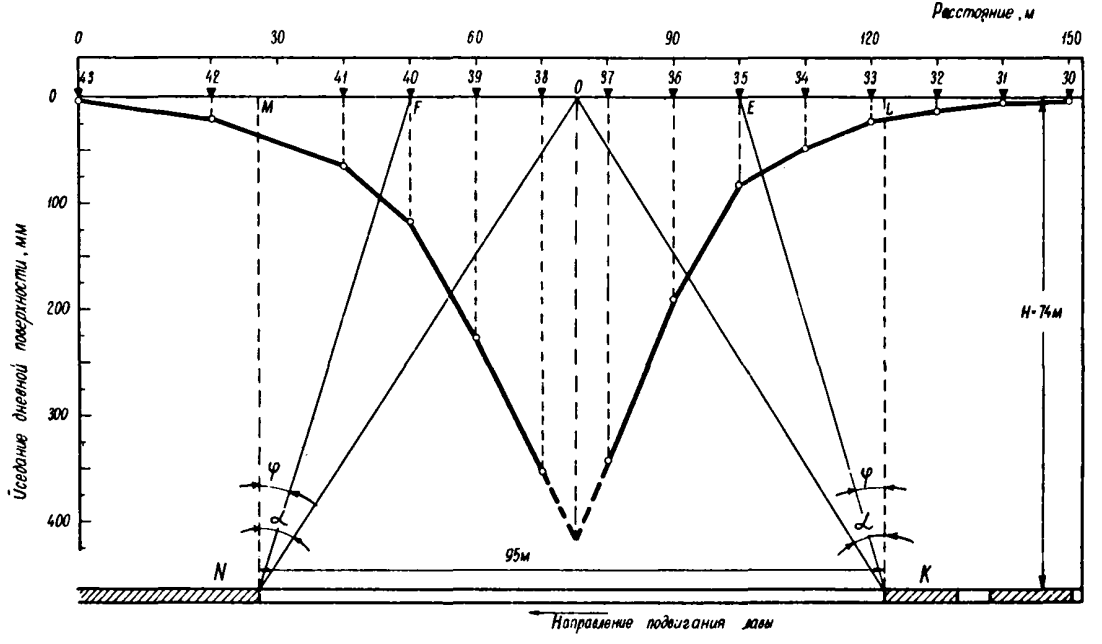

Расстояние, м
0
30
60
90
120
150
43
42
41
40
39
38
0
37
36
35
34
33
32
31
30
M
F
E
L
Осевание дневной поверхности, мм
100
200
300
400
H-74м
φ
α
φ
α
95м
N
K
Направление подвигания лавы

Рис.14

$$P_н = x\sigma_н \frac{0,3x + 0,7m}{m}. \qquad (19)$$

Подставляя в формулу (10) значения входящих в нее величин из выражений (13), (18) и (19), после преобразований получим формулу для расчета междублоковых целиков:

$$x^2 + \left[2,3m\left(1 - 2,1\frac{\gamma H}{\sigma_н}\right) - 0,6\right]x - 1,4m\left(1 + 3,6\frac{\gamma H}{\sigma_н}\operatorname{tg}\alpha\right) = 0. \qquad (20)$$

При необходимости оставления междублоковых целиков с рассечками фактическую нагрузку на такой целик можно определить из выражения (рис.15):

$$P_ф = (x + H\operatorname{tg}\alpha)(b + y)\gamma H. \qquad (x)$$

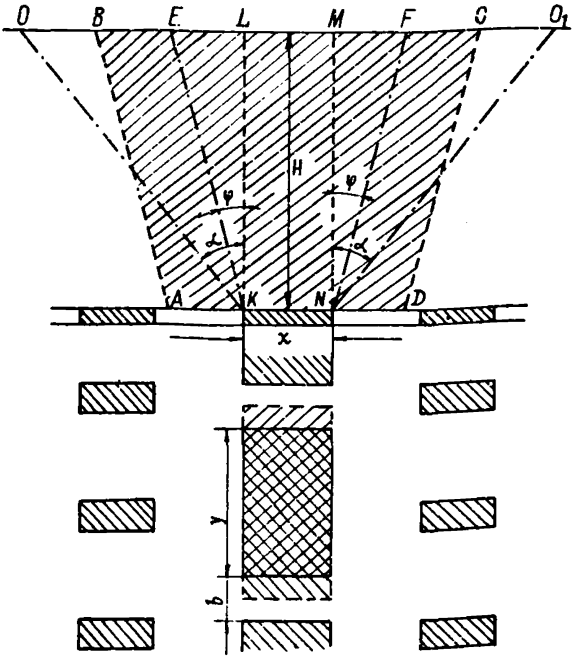


Рис.15.

Несущая способность такого целика будет равна

$$P_н = x y \sigma_н \frac{0,3x + 0,7m}{m}. \qquad (xx)$$

Подставляя в выражение (10) значения входящих в него величин из (13, x и xx), получим после преобразований формулу для определения ширины междублокового целика прямоугольной формы (с рассечками):

$$x^2 + \left\{2,3m\left[1 - 2,1(b+y)\frac{\gamma H}{y\sigma_н}\right] - 0,6\right\}x - 1,4m\left[1 + 3,6(b+y)\frac{\gamma H^2}{y\sigma_н} i g \alpha\right] = 0. \qquad (21)$$

4. Расчет целиков, оставляемых для охраны откаточных и вентиляционных выработок

Главные и панельные откаточные штреки на сланцевых шахтах проходятся спаренно с вентиляционными штреками. Между откаточным и вентиляционным штреком оставляется междуштрековый целик. От выработанного пространства оба штрека ограждаются предохранительными целиками (см.рис.3-5). Срок службы панельных штреков достигает десяти и более лет, а главные штреки служат несколько десятков лет. Поэтому расчет целиков, предохраняющих от разрушения панельные и главные откаточные и вентиляционные штреки необходимо вести с большим запасом, нежели расчет междукамерных и других целиков, срок службы которых значительно меньше. Коэффициент запаса прочности при расчете панельных целиков принимаем на 30% выше, чем полученный из выражения (13), т.е.

$$n_п = \frac{2x}{x - 0,6}. \qquad (22)$$

Панельный целик состоит из трех целиков, разделенных откаточным и вентиляционным штреками (рис.16). Ширину среднего целика можно принять равной 4-6 м для любой глубины залегания пласта сланца (практически возможной на сланцевых месторождениях), исходя из условий его устойчивости и исключения утечек воздуха между штреками. Панельный целик рассчитаем как систему из трех

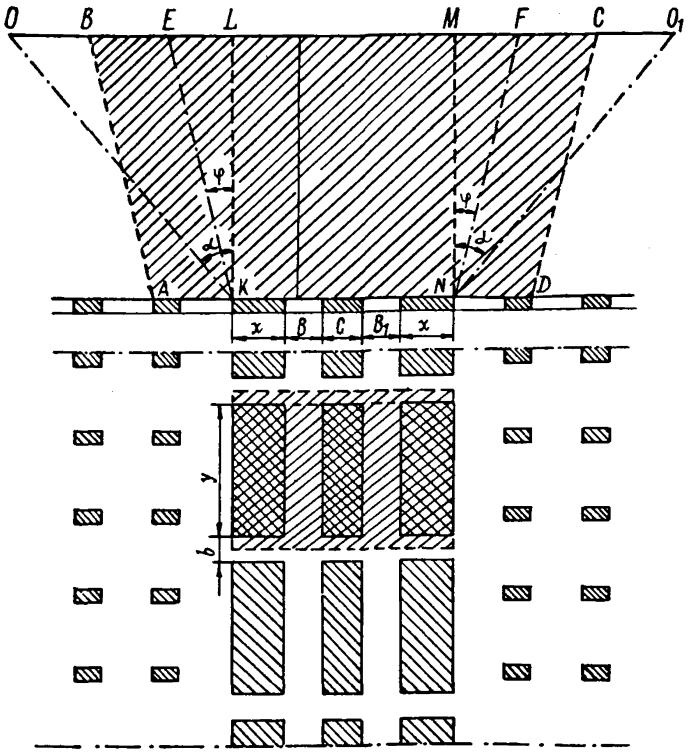


Рис.16.

целиков, несущих общую нагрузку. В целиках через 60–100м пройдены сбойки. Согласно схеме, изображенной на рис.16, определим нагрузку на целик:

$$P_{ф} = (2x + B + B_1 + C + H\operatorname{tg}\alpha)(b + y)\gamma H \qquad (23)$$

Несущая способность целика определится из следующего выражения:

$$P_{н} = 2x\sigma_{сж_{н}} \frac{0,3x + 0,7m}{m} + C\sigma_{сж_{н}} \frac{0,3C + 0,7m}{m}. \qquad (24)$$

Подставляя значения величин из выражений (22-24) в формулу (10) и произведя необходимые преобразования, получим уравнение для расчета панельных целиков:

$$x^2+\left\{2,3m\left[1-2,9(b+y)\frac{\gamma H}{y\sigma_н}\right]-0,6\right\}x-\left\{1,4m\left[1+2,4(b+\right.\right.$$
$$\left.\left.+y)(B+B_1+C+H\,tg\,\alpha)\frac{\gamma H}{y\sigma_н}\right]-1,7(C-0,6)(0,3+07m)\right\}=0,(25)$$

где B – ширина откаточного штрека, м;
B_1 – ширина вентиляционного штрека, м;
C – ширина междуштрекового целика, которую следует принимать равной 4-6 м.

5. Графики изменения размеров целиков

Размеры целиков (x) в зависимости от глубины разработки (H), рассчитанные по приведенным выше формулам, даны в виде графиков на рис.17-19. Графики построены применительно к условиям Эстонского и Ленинградского месторождений.

Общие исходные данные были приняты следующими: объемный вес покрывающих пород γ =2,5 т/м^3; угол $\alpha = 32^\circ$, $tg\ 32^\circ = 0,62$; "кубиковая" прочность материала целика на сжатие $\sigma_н$ = 1300 г/м^2 для Эстонского и $\sigma_н$ = 1500 т/м^2 для Ленинградского месторождений; ширина откаточного штрека B = 5 м; ширина вентиляционного штрека B_1 = 4 м; ширина междуштрекового целика C = 4 м; вынимаемая мощность пласта m принята с учетом подрывки или обрушения ложной кровли для Эстонского месторождения 3,4 м, для Ленинградского – 1,7 м. при расчете панельных целиков величина m в обоих случаях принята равной 3 м; расстояние между сбойками в панельных целиках (γ) принято равным 80 м для Эстонского и Ленинградского месторождений.

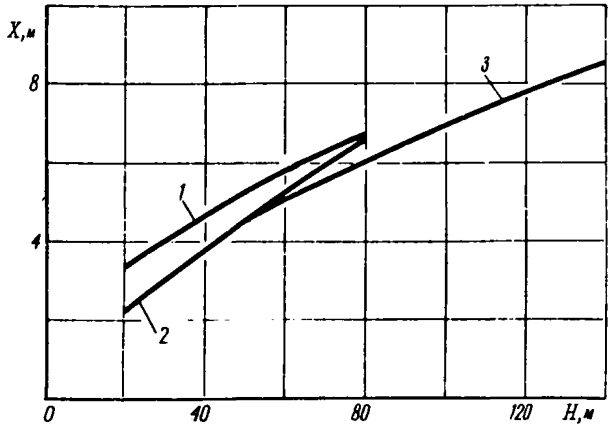


Рис. 17

1 – междукамерный целик квадратной формы;
2 – междукамерный целик прямоугольной формы;
3 – междукамерный целик в камерах-лавах (Ленинградское месторождение)

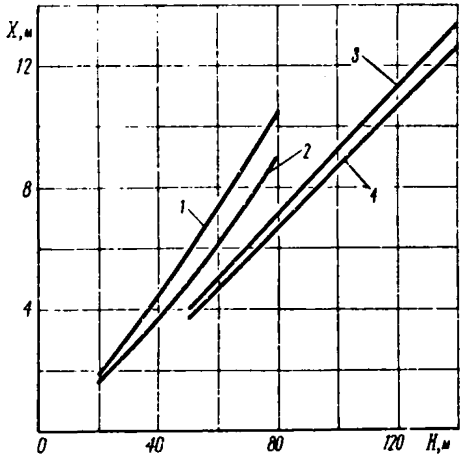


Рис. 18

1 – междублоковый целик, разрезанный печами (Эстонское месторождение); 2 – междублоковый ленточный целик (Эстонское месторождение); 3 – междублоковый целик, разрезанный печами (Ленинградское месторождение); 4 – междублоковый ленточный целик (Ленинградское месторождение)

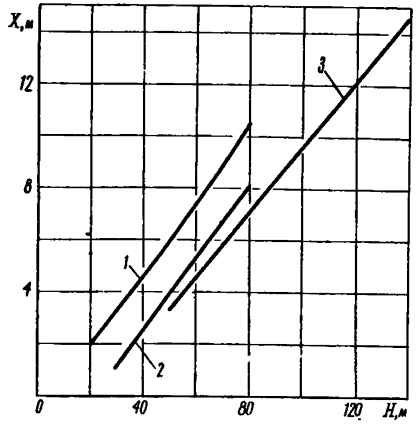


Рис. 19

1 - целики для охраны сборных штреков (Эстонское месторождение); 2 - целики для охраны панельных (главных) штреков (Эстонское месторождение); 3 - целики для охраны панельных (главных) штреков (Ленинградское месторождение).

Другие исходные данные в зависимости от вида целиков приняты такими.

1. При расчете междукамерных целиков прямоугольной формы ширина камеры $A = 10$ м, ширина сбойки $b = 6$ м, длина целика между просечками $y = 6$ м.

2. Целики квадратной формы рассчитаны при тех же, что и в п.1 условиях, но при $x = y$;

3. При расчете целиков в камерах-лавах (для условий Ленинградского месторождения) принято: ширина камеры $A = 34$ м, длина целика между сбойками 30 м, ширина сбойки $b = 5$ м.

4. При расчете междублоковых целиков прямоугольной формы принято:

а) Эстонское месторождение: длина целика между сбойками $y = 15$ м, ширина сбойки $b = 5$ м;

б) Ленинградское месторождение: длина целика меж-

ду сбойками в целике y = 35 м, ширина сбойки b =5 м.

5. При расчете панельных целиков

ширина сбойки в целике (в) для обеих месторождений принята равной 5 м.

При окончательном выборе размеров целиков следует иметь в виду, что, по условиям разрушения краевых частей целиков взрывными работами, ширина целика во всех случаях не должна быть менее трех метров.

Приведенные графики существенно облегчают определение размеров основных видов целиков, применяемых для управления горным давлением на Эстонском и Ленинградском месторождениях горючих сланцев.

ЛИТЕРАТУРА

1. Газизов М.С., Янкович М.С. Трещиноватость горных пород ордовика и ее роль при разработке сланцевых месторождений Прибалтики. Специальные вопросы строительства шахт и карьеров. Научные сообщения ИГД им. А.А.Скочинского XXУ11, Недра,1965.

2. Бублик Ф.П. Методическое пособие по определению основных параметров систем разработки с гидромеханизацией в условиях пологих пластов. Л.,1967.

3. Кузнецов С.Т., Горохов В.Т. Метод натурных испытаний слоистых горных пород на изгиб. ЦНИИЭИугля, сборник "Технология добычи угля подземным способом". № 6, 1969.

4. Кузнецов Г.Н. Определение полной несущей способности кровли подземных выработок. Сб.трудов ВНИМИ, № 22, 1950.

5. Кузнецов Г.Н., Нестеренко Г.Т., Твердовский Р.К. и Содков Н.А. Определение предела прочности на изгиб слоистых нетрещиноватых пород в шахтных условиях. Сб.трудов ВНИМИ, № 60, 1966.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

I. ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И ГОРНЫХ РАБОТ 3

1. Геологическая характеристика 3
2. Характеристика горных работ 7

II. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД И НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ЦЕЛИКОВ. 11

III. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОВЕДЕНИЯ ПОРОД ГОРНОГО МАССИВА И ЦЕЛИКОВ 19

1. Поведение пород подрабатываемого массива 19
2. Характер деформирования и разрушения целиков. 25

IV. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВЫХ ПРОЛЕТОВ ВЫРАБОТОК 30

V. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЦЕЛИКОВ 32

1. Исходные положения 32
2. Расчет междукамерных целиков 34
3. Расчет междублоковых (барьерных) целиков
4. Расчет целиков, оставляемых для охраны откаточных и вентиляционных выработок. . . . 42
5. Графики изменения размеров целиков. . . . 44

Печатный цех ВНИМИ Заказ № 13 Тираж 200 25/II-72
М-22937 Объем 2 п.л. Цена 20 к.

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать
2	9-я сверху	расчитаны	рассчитаны
7	7-я снизу	счастичной	с частичной
23	4-я сверху	величиа	величина
31	1-я сверху	способности камеры	способности кровли камеры

gost.e-ecolog.ru