

О ДЛИНЕ ОЧИСТНЫХ ЗАБОВ ДЛЯ ГЛУБОКИХ ШАХТ ДОНБАССА

Ю. Д. Дядькин

В течение ряда лет в основном применительно к условиям Донецкого бассейна проводятся исследования по рудничной термодинамике, разработке мероприятий по борьбе с высокими температурами в глубоких шахтах и выбору рациональных систем охлаждения рудничного воздуха.

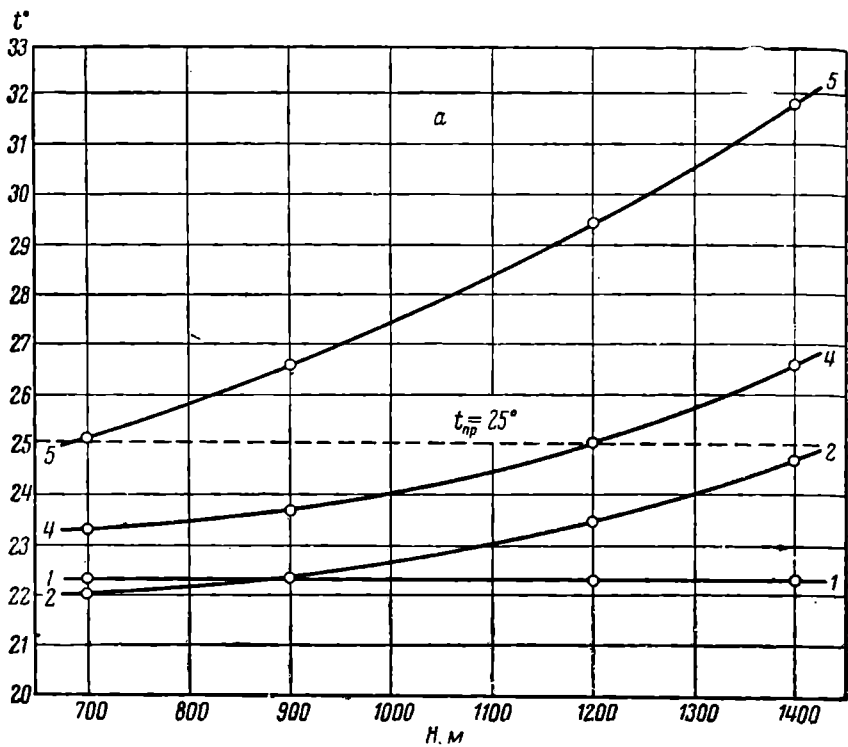
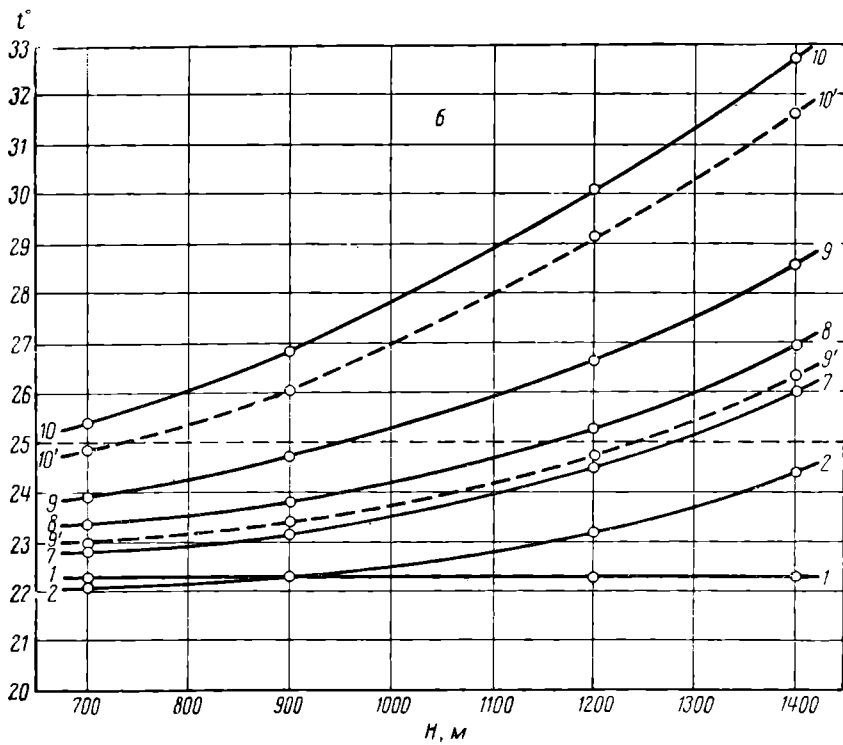
Не менее актуален вопрос о рациональных параметрах систем разработки угольных месторождений на больших глубинах. Как известно, установки для охлаждения рудничного воздуха сложны и дороги. Они загромождают транспортные и вентиляционные пути, усложняют технологический процесс шахты, а расходы, связанные с охлаждением воздуха даже на небольших глубинах, вызывают значительное удорожание добываемого угля. Так, проектная стоимость охлаждения воздуха в западной лаве 13 (горизонт 900 м) шахты № 17—17-бис составляет 5 р. 60 к. на 1 т добываемого угля [5]. На бельгийской шахте «Ле Льежуа» охлаждение рудничного воздуха в конце очистных забоев (горизонт 1010 м) до 28°, применяемое с 1949 г., обходится в 30 бельгийских франков (2 р. 40 к. *) на 1 т добычи [7].

Резкое изменение температуры воздуха на небольших участках вентиляционного пути, почти неизбежное при использовании в шахте холодильных установок, может привести к простудным заболеваниям, как это имеет место, например, в золотых рудниках Индии [8].

Таким образом, введение искусственного охлаждения рудничного воздуха вызывает ряд нежелательных последствий как в техническом и экономическом, так и в гигиеническом отношении. Поэтому прежде всего необходимо полностью использовать возможности увеличения глубины горных работ, не прибегая к охлаждению воздуха в шахте. Размеры и порядок отработки шахтного и выемочного полей, схемы вскрытия и подготовки, система разработки, степень концентрации работ, длина и скорость подвигания очистных забоев в значительной мере определяют тепловые условия в выработках и предельную глубину работ без применения холодильных установок.

Рассмотрим влияние длины лавы и ряда других параметров разработки на изменение температуры рудничного воздуха в условиях, характерных для глубоких шахт Сталино-Макеевского района Донбасса: мощность пласта 0,7 м; угол падения 10°; ступень метанообильности 15 м/м³;

* По официальному курсу 1000 бельгийских франков равны 8 руб.



геотермическая ступень $29,7 \text{ м/град}$; длина шахтного поля 5000 м , бремсбергового поля 300 м ; длина двусторонней панели 840 м ; способ вскрытия — вертикальными стволами до горизонта 900 м , капитальными квершлагами, бремсбергами и уклонами по каждому пласту; порядок отработки этажей (ярусов) прямой, нисходящий; длина лавы 160 м ; суточное подвигание очистного забоя $1,6 \text{ м}$; ширина рабочего пространства в лаве $3,2 \text{ м}$; скорость вентиляционной струи в лаве 4 м/сек .

Для этих условий по наших расчетным формулам [1] определены значения температуры воздуха в различных пунктах вентиляционного

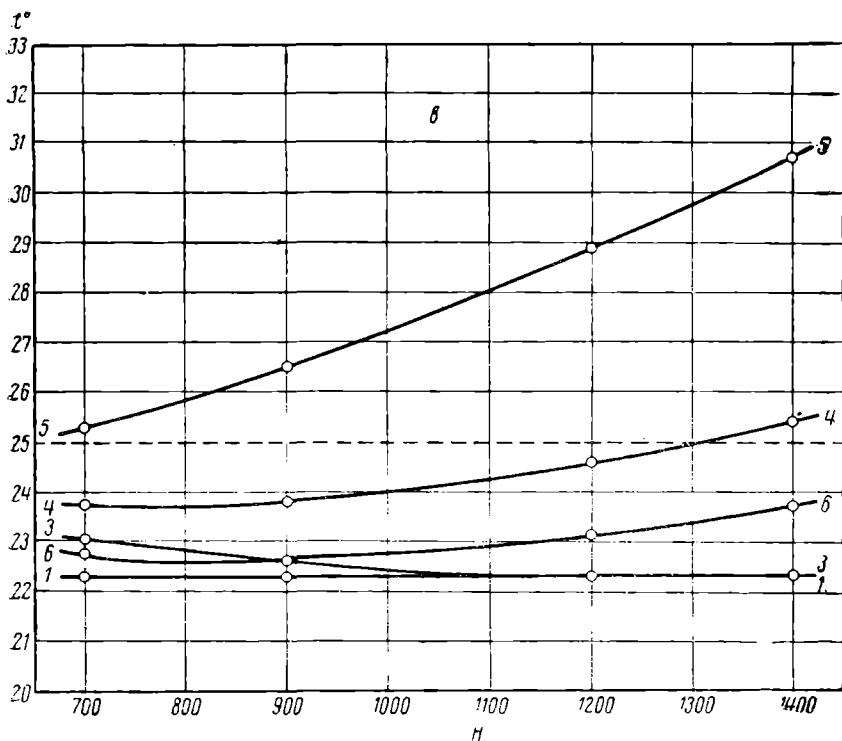


Рис. 1. Зависимость температуры рудничного воздуха в различных пунктах вентиляционного пути шахты от глубины рабочего горизонта при системе разработки:

а — лава-этаж; *б* — сплошной с разделением этажа на подэтажи; *в* — лава-ярус; 1 — в околоствольном дворе; 2 — в начале этажного откаточного штрека; 3 — в начале панельного бремсберга (уклона); 4 — перед лавой; 5 — в конце лавы; 6 — в начале ярусного откаточного штрека; 7 — в начале участкового бремсберга; 8 — в начале промежуточного штрека; 9 — перед лавой верхнего подэтажа; 9' — перед лавой нижнего подэтажа; 10 — в конце лавы верхнего подэтажа; 10' — перед лавой нижнего подэтажа

пути шахты при глубине рабочего горизонта $700, 900, 1200$ и 1400 м для системы разработки лава-этаж, сплошной системы с разделением этажа на подэтажи и при панельной подготовке шахтного поля. Тепловые расчеты выполнены для условий июля (температура воздуха на поверхности $21,0^\circ$, в околоствольном дворе на горизонте 900 м $22,3^\circ$) при максимальном удалении очистных работ от воздухоподающего ствола (рис. 1, *а, б, в*).

Как известно, нагревание рудничного воздуха возрастает с увеличением длины выработки и уменьшением скорости вентиляционной струи (или с уменьшением количества воздуха), т. е. оно пропорционально продолжительности теплообмена воздушного потока с породными

стенками. Интенсивность теплоотдачи породных стенок зависит от их температуры и, следовательно, возрастает с увеличением глубины заложения выработки и снижается с увеличением ее срока службы. Последнее объясняется тем, что по мере проветривания вокруг выработки образуется зона охлажденных пород, а температура породных стенок значительно уменьшается. Рассматриваемые варианты разработки пласта существенно отличны по глубине заложения, длине и сроку службы выработок и количеству воздуха, проходящего по отдельным участкам вентиляционного пути. Это и определяет различный характер и различную величину приращения температуры рудничного воздуха при одинаковой глубине рабочего горизонта и почти одинаковой общей протяженности пути от ствола до конца очистных забоев.

Из сравнения рис. 1, а, б, в следует, что тепловые условия в выработках наиболее тяжелы при сплошной системе разработки с разделением этажа на подэтажи. При этом интенсивное нагревание воздуха происходит в участковом бремсберге и промежуточном штреке, имеющем небольшой срок службы. Поэтому температура воздуха в верхней лаве оказывается значительно выше, чем в лаве нижнего подэтажа, причем эта разница соответствует углублению работ примерно на 100—75 м.

При работе системой лава-этаж тепловые условия в очистном забое почти те же, что и в лаве нижнего подэтажа при сплошной системе разработки.

Для панельной подготовки шахтного поля характерно сравнительно небольшое изменение температуры воздуха в различных пунктах вентиляционного пути при увеличении глубины рабочего горизонта. При отработке бремсберговой части шахтного поля панелями температура воздуха в выработках выше, чем при этажной подготовке и работе системой лава-этаж. В уклонной части шахтного поля, напротив, тепловые условия в выработках при панельной подготовке благоприятнее, чем при работе этажами. Это можно объяснить тем, что при работе панелями рудничный воздух проходит большую часть пути от ствола к забоям по простиранию пласта по главному откаточному штреку, пройденному в средней части шахтного поля, т. е. ниже этажных штреков бремсберговой части и выше этажных штреков уклонной части шахтного поля.

Таким образом, с точки зрения тепловых условий в выработках, бремсберговую часть шахтного поля выгодно отрабатывать этажами, а уклонную — панелями.

Как показывает анализ результатов тепловых расчетов, в капитальных и панельных бремсбергах температура воздуха изменяется несущественно (в связи с большим сроком службы, уменьшением температуры пород по длине бремсберга и охлаждением воздуха от адиабатического расширения его при вертикальном перемещении).

В капитальных и панельных уклонах, наоборот, температура пород увеличивается по длине выработки и воздух нагревается от адиабатического сжатия. Поэтому и повышение температуры воздушного потока в уклонах оказывается значительным.

Несмотря на большую длину главного и этажного откаточных штреков, их значительный срок службы обуславливает сравнительно небольшое нагревание вентиляционной струи в этих выработках. С углублением горных работ приращение температуры воздуха в штреках почти не изменяется вследствие увеличения количества проходящего по выработкам воздуха. Более интенсивно рудничный воздух нагревается

в участковых выработках и ярусных штреках (особенно, если учесть их небольшую длину), срок службы которых невелик.

Во всех случаях и при любой глубине рабочего горизонта наиболее резко температура воздуха повышается в очистных забоях, породные стенки которых, не успевая остывать, имеют температуру, весьма близкую к естественной температуре породного массива. Именно в лаве рудничный воздух нагревается до и выше предельно-допустимой температуры, даже в тех случаях, когда в предшествующих выработках тепловые условия остаются вполне приемлемыми. В рассматриваемых условиях температура воздуха в конце очистных забоев достигает 25° при системе разработки лава-этаж на глубине 680 м, при сплошной системе

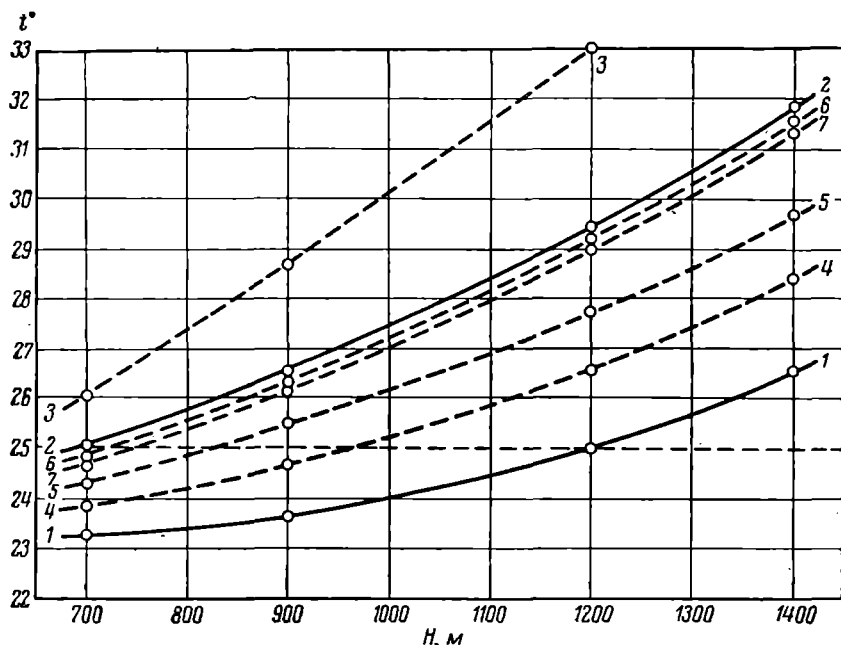


Рис. 2. Влияние скорости продвижения очистного забоя v_0 , его длины l , мощности m и угла падения пласта α на изменение температуры вентиляционной струи в лаве при различной глубине рабочего горизонта:

1 — температура воздуха перед лавой, 2 — температура воздуха в конце лавы при $l = 160$ м; $m = 0,7$ м; $\alpha = 10^{\circ}$; $v_0 = 1,6$ м/сутки; 3 — то же, при $v_0 = 1,6$ м/час; 4 — то же, при $l = 50$ м; 5 — то же, при $m = 1,2$ м; 6 — то же, при $\alpha = 20^{\circ}$; 7 — то же, при $\alpha = 30^{\circ}$

с подэтажами — на горизонте 635 м в верхней и на горизонте 715 м в нижней лаве, а при панельной подготовке шахтного поля — на глубине 620 м. В то же время глубина работ, при которой температура вентиляционной струи достигает 25° перед лавой, составляет соответственно 1195, 950, 1240 и 1300 м. Таким образом, при относительном углублении горных работ на 300—650 м охлаждение рудничного воздуха необходимо только в очистных забоях.

Из табл. 1 и рис. 2, построенных по результатам тепловых расчетов для системы разработки лава-этаж, наглядно видно влияние угла падения α , мощности пласта m , скорости продвижения v_0 и длины лавы l на изменение температуры воздуха в очистном забое при различной глубине рабочего горизонта.

Как видно из рис. 2, с увеличением угла падения пласта нагревание воздуха в лаве несколько уменьшается (кривые 2, 6 и 7) в связи с понижением средней температуры пород по длине очистного забоя и

Характеристика очистного забоя			Температура воздуха в конце лавы t_k при глубине рабочего горизонта, м			
			700	900	1200	1400
			и температуре воздуха перед лавой, t_0			
			23,3	23,7	25,0	26,6
Влияние угла падения пласта	$m = 0,7$ м	$\alpha = 10^\circ$	25,1	26,6	29,4	31
	$v_0 = 1,6$ м/сутки	$\alpha = 20^\circ$	24,9	26,4	29,2	31,5
	$l = 160$ м	$\alpha = 30^\circ$	24,7	26,2	29,0	31,3
Влияние мощности пласта	$\alpha = 10^\circ$	$m = 0,7$ м	25,1	26,6	29,4	31,8
	$v_0 = 1,6$ м/сутки	$m = 1,2$ м	24,3	25,5	27,7	29,6
	$l = 160$ м					
Влияние скорости подвигания забоя	$\alpha = 10^\circ$	$v_0 = 1,6$ м/сутки	25,1	26,6	29,4	31,8
	$m = 0,7$ м	$v_0 = 1,6$ м/час	26,1	28,7	33,0	
	$l = 160$ м					
Влияние длины лавы	$\alpha = 10^\circ$					
	$m = 0,7$ м	$l = 160$ м	25,1	26,6	29,4	31,8
	$v_0 = 1,6$ м/сутки	$l = 50$ м	23,9	24,7	26,6	28,4

увеличением охлаждающего эффекта адиабатического расширения рудничного воздуха. На тепловые условия в лаве существенное влияние оказывает мощность пласта (кривые 2 и 5), с увеличением которой резко повышается добыча и количество проходящего по очистному забою воздуха, а теплоотдача горных пород возрастает гораздо медленнее за счет сравнительно небольшого увеличения периметра и общей поверхности породных стенок лавы.

Большое значение имеет также скорость подвигания очистного забоя. В табл. 1 и на рис. 2 (кривая 3) приведены результаты тепловых расчетов при условии, что забой подвигается со скоростью 1,6 м в час. При этом нагревание вентиляционной струи в лаве резко увеличивается вследствие уменьшения степени охлаждения породных стенок лавы при сокращении времени их проветривания. Известно, что процесс охлаждения породных стенок выработки характеризуется гиперболической зависимостью от времени проветривания [6], поэтому при небольших абсолютных значениях времени охлаждения породных стенок, как это имеет место в лаве, его влияние особенно велико.

Сокращать скорость подвигания забоя нецелесообразно. Длину же лавы, которая в наибольшей степени определяет величину нагревания воздушного потока в очистном забое, можно уменьшить. В данном случае в конце лавы длиной 160 м рудничный воздух нагревается до 25° на

глубине (рис. 2, кривая 2), тогда как 50-метровой лавой можно работать без применения охлаждающих установок до горизонта 960 м (рис. 2, кривая 4).

Таким образом, любой глубине рабочего горизонта (пока температура вентиляционной струи перед лавой не достигает 25°) соответствует определенная «предельная» длина лавы, исключающая необходимость искусственного охлаждения рудничного воздуха. Нами получено выражение для определения предельной длины лавы без охлаждения руд-

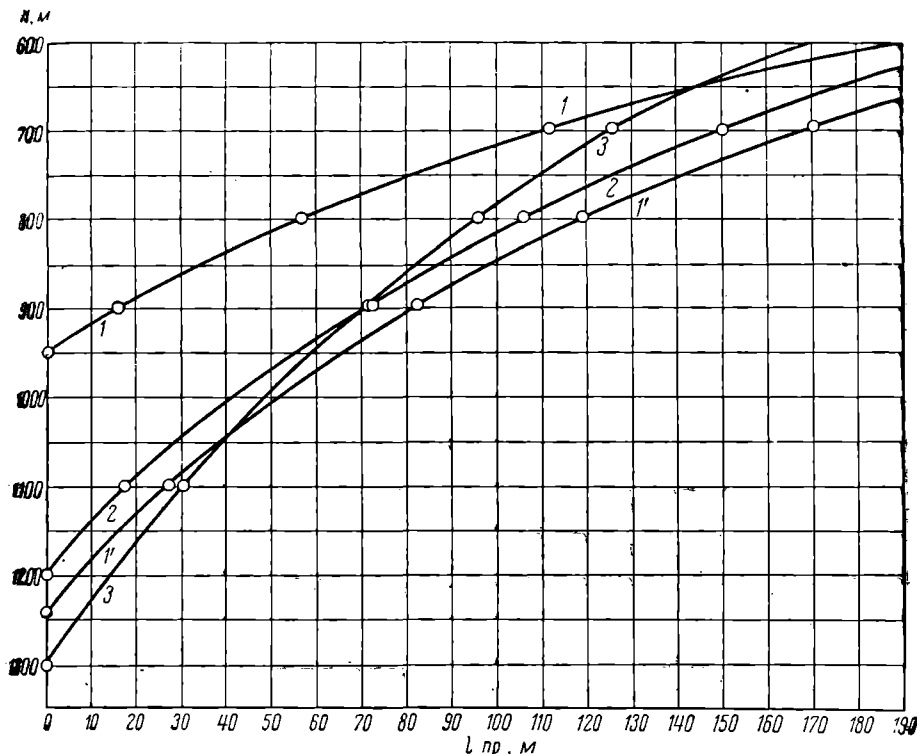


Рис. 3. Зависимость предельной длины лавы без охлаждения воздуха от глубины рабочего горизонта:

1 — сплошная система разработки, лавы верхнего подэтажа; 1' — то же, лавы нижнего подэтажа; 2 — система лавы-этаж; 3 — одинарная лавы при панельной подготовке шахтного поля

ничного воздуха в зависимости от температуры пород или, в конечном счете, от глубины рабочего горизонта [2]

$$l_{\text{пр}} = \frac{2,3}{A} \lg \frac{\Delta t_1 + \frac{B+K}{A}}{\Delta t_{\text{пр}} + \frac{B+K}{A}}, \text{ м}, \quad (1)$$

где B — приращение температуры воздуха на 1 м лавы за счет абсолютных источников тепла, град;

A — приращение температуры воздуха на 1 м лавы за счет теплоотдачи пород, приходящееся на каждый градус температурного напора, град;

K — изменение температуры пород на 1 м лавы, град;

$$\Delta t_1 = T_1 - t_1;$$

$$\Delta t_{\text{пр}} = T_{\text{пр}} - t_{\text{пр}};$$

t_1 — температура воздуха в начале лавы, град;

$t_{\text{пр}}$ — предельно допустимая температура рудничного воздуха (25°);

T_1 и $T_{\text{пр}}$ — температура пород в начале и в конце участка $l_{\text{пр}}$ лавы, град.

Величина $T_{\text{пр}}$ выбирается ориентировочно, и при неудачном выборе расчет повторяется.

По формуле (1) определена предельная длина лавы, соответствующая различной глубине рабочего горизонта, для описанных выше исходных условий при работе системой лава-этаж, сплошной системой с двумя подэтажами и при панельной подготовке шахтного поля (табл. 2). Результаты расчетов, представленные в виде графиков (рис. 3), показывают, что теоретически за счет сокращения длины лавы можно обеспечить нормальные тепловые условия в очистных забоях при значительном углублении горных работ (в данном случае до 950—1300 м) и на многие годы избежать необходимости применения холодильных установок в глубоких шахтах.

Таблица 2

Способ подготовки шахтного поля	Система разработки	Предельная длина лавы $l_{\text{пр}}$, м при глубине рабочего горизонта H , м			
		700	800	900	1100
Этажный	Сплошная (верхний подэтаж)	112	57	16,5	
Этажный	Сплошная (нижний подэтаж)	171	119	82	28
Этажный	Лава-этаж	151	116	72	18
Панельный	Сплошная (одинарная лава)	126	96	71	31

Однако нельзя недооценивать экономической стороны вопроса. Известно, что с сокращением длины лавы производительность труда несколько снижается, а себестоимость добываемого угля возрастает. Поэтому обычно длину лавы принимают максимально большой, ограничивая ее условиями выполнения принятого графика организации работ на газообильных пластах — условиями проветривания, а на крутопадающих или весьма тонких — условиями передвижения людей и безопасности работ в очистном забое.

В настоящее время при проектировании глубоких шахт Донбасса длина лавы на пологом падении пластов принимается 160—200 м при этажной и 120—170 м при панельной подготовке шахтного поля (табл. 3).

Аналитическое выражение зависимости себестоимости угля от длины очистного забоя получено К. Ф. Сапицким [4]. Исключая из группы постоянных расходов зарплату машинистов комбайна [3] и опуская коэффициенты перевыполнения норм выработки с учетом изменения системы

Шахта	Способ подготовки шахтного поля	Длина лавы, м	Угол падения пластов, град.	Мощность пластов, м	Глубина ствола, м	Глубина нижней границы шахтного поля, м
Ново-Центральная*	Этажный	170	6—12	0,54—0,98	902	1400
Чайкино-Глубокая* № 2	То же	160—200	4—10	0,51—1,4	1060	1250
Буденновская-Глубокая*	Панельный То же	165	9—12	0,52—1,16	773	1223
Шегловка-Глубокая*		135—160	10—30	0,56—1,42	1285	1435
Игнатьевская*		140	10—15	0,49—1,15	1069	1400
Бутовская-Глубокая*		160—170	10	0,6—1,4	960	1130
Ветка-Глубокая*	Этажный	120	7—20	0,4—1,35	735	977
Чайкино-Глубокая* № 2		140—190	3—6	0,45—1,43	775	968
Горловская-Глубокая*		145	70—42	0,45—1,4	1560	1560
Хоцетовская-Западная*		135	58—62	0,45—1,4	1180	1180

нормирования и оплаты труда в Донбассе, выражение, предложенное К. Ф. Сапицким для решения нашей задачи, удобно представить в виде

$$C'(l) = \frac{C_1}{l} + \frac{C_2 + C_3 + C_4}{v_0 l}, \text{ руб./м.} \quad (2)$$

Коэффициент C_1 учитывает стоимость проведения и раскрепления выработок; C_2 — зарплату постоянной группы рабочих; C_3 — амортизационные отчисления от стоимости комбайна и привода конвейера и C_4 — стоимость поддержания выработок;

$$C_1 = \frac{k_0 + k_{в'} + k_{пр}(n_{пэ} - 1)}{0,98 p n_{пэ}}; \quad (3)$$

$$C_2 = \frac{4a_p + 3a_{сл}}{0,98 p}; \quad (4)$$

$$C_3 = \frac{c_{кб} \frac{1 + k_p}{t_{кб}} + c_{прив} \frac{1 + k_{р'}}{t_{прив}}}{0,98 \cdot 300 p}; \quad (5)$$

$$C_4 = \frac{0,5(r_0 + r_{в}) S_{кр} + 0,5 r_{пр} S_{бр}(n_{пэ} - 1)}{0,98 \cdot 300 p n_{пэ}}, \quad (6)$$

где k_0 — стоимость 1 пог. м откаточного штрека в рассматриваемых условиях: этажного — 1200 руб., панельного — 700 руб.;

$k_{в'}$ — стоимость раскрепления 1 пог. м вентиляционного штрека (600 руб.);

$k_{пр}$ — стоимость 1 пог. м промежуточного штрека (700 руб.);

r_0 — стоимость поддержания 1 пог. м откаточного штрека в год (100 руб.);

$r_{в}$ — стоимость поддержания 1 пог. м вентиляционного штрека в год (80 руб.);

$r_{пр}$ — стоимость поддержания 1 пог. м промежуточного штрека в год (200 руб.);

$c_{кб}$ — стоимость комбайна (80 000 руб.);

$c_{прив}$ — стоимость привода конвейера (20 000 руб.);

k_p — коэффициент, учитывающий расходы на капитальный ремонт комбайна (0,9);

- k_p' — коэффициент, учитывающий расходы на капитальный ремонт привода конвейера (0,7);
 $t_{кб}$ — срок службы комбайна (5 лет);
 $t_{прив}$ — срок службы привода конвейера (3 года);
 a_p — тарифная ставка рабочего очистного забоя в течение суток 2 рабочих на погрузочном пункте и 2 на переноске привода конвейера (80 руб.);
 $a_{сл}$ — тарифная ставка электрослесаря (40 руб.);
 $S_{кр}$ — длина крыла шахтного поля (2500 м) или длина крыла панели (420 м);
 $S_{бр}$ — длина бремсбергового поля (300 м);
 $n_{пэ}$ — число подэтажей (2);
 v_0 — суточное подвигание очистного забоя (1,6 м/сутки);
0,98 — коэффициент извлечения;
300 — число рабочих дней в году;
 p — производительность пласта (0,91 т/м²).

В табл. 4 приведены значения коэффициентов C_1 , C_2 , C_3 , C_4 для рассматриваемых условий, подсчитанные при указанных выше величинах параметров.

Таблица 4

Способ подготовки шахтного поля	Система разработки	C_1	C_2	C_3	C_4	$C'(l)$
Панельный	Сплошная (одинарная лава)	786	472	155	162	$\frac{786}{l} + \frac{789}{v_0 l} = \frac{1280}{l}$
Этажный	Сплошная с двумя подэтажами	1400	472	155	477	$\frac{1400}{l} + \frac{1104}{v_0 l} = \frac{2090}{l}$
Этажный	Лава-этаж: $m = 0,7 \text{ м}$	2010	472	155	842	$\frac{2010}{l} + \frac{1469}{v_0 l} = \frac{2930}{l}$
	$m = 1,2 \text{ м}$	1175	275	90	490	$\frac{1175}{l} + \frac{855}{v_0 l} = \frac{1710}{l}$

Доля расходов по заработной плате постоянной группы рабочих C_2 и амортизационным отчислениям C_3 в себестоимости 1 т угля зависит по существу не от длины лавы, а от количества добываемого в ней угля. Поэтому в случае уменьшения длины очистного забоя его подвигание увеличивается, а суточная производительность забоя остается постоянной, себестоимость угля по этой группе расходов также остается неизменной. То же будет и с расходами на поддержание выработок C_4 . Например, суммарная длина штреков в шахтном поле при сокращении длины лавы в 2 раза увеличится вдвое. Однако в связи с увеличением скорости подвигания очистных забоев среднее время поддержания штреков уменьшится также в 2 раза, а общая стоимость их поддержания не изменится. Следовательно, для многоциклической или поточной организации работ, когда при уменьшении длины очистного забоя уровень добычи из него может быть сохранен за счет увеличения скорости подвигания, т. е. когда $v_0 l \approx \text{const}$, зависимость себестоимости угля от длины лавы

$$C'(l) = \frac{C_1}{l}, \text{ руб./т.} \quad (7)$$

В табл. 5 приведены результаты определения себестоимости угля (по расходам, зависящим от длины лавы) при различной длине очистного забоя для организации работ по графику «цикл в сутки» ($v_0 = \text{const}$) и для многоциклической работы ($v_0 l = \text{const}$). Естественно, что удорожание угля при сокращении длины лавы в случае многоциклической работы происходит значительно медленнее, чем при организации работ по графику «цикл в сутки». Влияние длины очистного забоя на себестоимость угля оказывается максимальным для системы разработки лава-этаж и минимальным при отработке шахтного поля панелями. Оно снижается с увеличением мощности пласта (см. табл. 5), но в любом случае остается существенным и не может быть игнорировано при проектировании параметров разработки угольных месторождений на больших глубинах.

Таблица 5

Способ подготовки шахтного поля	Система разработки	Организация работ в очистном забое	Себестоимость угля по учитываемым расходам (руб/т) при длине лавы, м					
			50	75	100	125	160	200
Панельный	Сплошная	Цикл в сутки	25,6	17,1	12,8	10,2	8,0	6,4
	Одинарная лава	Многоциклическая	15,7	10,5	7,85	6,3	4,9	3,9
Этажный	Сплошная с двумя подэтажами	Цикл в сутки	41,8	27,9	20,9	16,7	13,1	10,45
		Многоциклическая	28,0	18,65	14,0	11,2	8,75	7,0
Этажный	Лава-этаж $m = 0,7 \text{ м}$	Цикл в сутки	58,6	39,1	29,3	23,4	18,3	14,65
		Многоциклическая	40,2	26,8	20,1	16,1	12,5	10,0
	То же $m = 1,2 \text{ м}$	Цикл в сутки	34,2	22,8	17,1	13,7	10,7	8,55
		Многоциклическая	23,4	15,6	11,7	9,35	7,3	5,85

Однако введение искусственного охлаждения воздуха на глубоких горизонтах также влечет за собой значительное удорожание добываемого угля (в указанном выше примере — шахта № 17—17-бис, горизонт 900 м — 5 р. 60 к. на 1 т). Таким образом, увеличение себестоимости угля при сокращении длины лавы не исключает рациональности этого сокращения, а лишь накладывает на это мероприятие определенные пределы экономической целесообразности, которые могут быть выражены неравенством

$$\Delta C' = C'(l_1) - C'(l_0) \leq C'_{\text{охл}}(l_0), \quad (8)$$

где $C'(l_1)$ — себестоимость угля при длине лавы l_1 , обеспечивающей на данной глубине нормальные тепловые условия в очистном забое без охлаждения рудничного воздуха, руб/т;
 $C'(l_0)$ — себестоимость добычи угля из лавы длиной l_0 , при которой требуется искусственное охлаждение воздуха для

обеспечения нормальных тепловых условий в очистном забое, руб/т;

$C'_{\text{охл}}(l_0)$ — стоимость охлаждения воздуха на данной глубине в лаве длиной l_0 , руб/т.

Стоимость охлаждения рудничного воздуха повышается с уменьшением мощности и угла падения пласта, с увеличением длины лавы и особенно с увеличением глубины рабочего горизонта. Методика расчетного определения величины $C'_{\text{охл}}$ известна [5], но ее расчет очень трудоемок, поскольку стоимость охлаждения воздуха на 1 т добываемого угля является конечным экономическим результатом проектирования рудничной холодильной установки. Поэтому в дальнейших расчетах ориентировочно принимаем $C'_{\text{охл}} \approx 3$ руб/т, что скорее будет величиной заниженной, особенно для значительных глубин рабочего горизонта.

Совершенно очевидно, что условие (8) может быть удовлетворено лишь до определенной глубины ведения работ. Дополнительное углубление горных работ без применения холодильных установок за счет экономически целесообразного сокращения длины лавы можно определить графическим методом, который для панельной подготовки показан на рис. 4, для сплошной системы разработки с разделением этажа на подэтажи — на рис. 5 и для системы лава-этаж — на рис. 6. На этих рисунках совмещены графики изменения себестоимости угля от длины лавы ($C' = f(l)$, а и б), построенные по данным табл. 5, и кривые зависимости предельной длины лавы без охлаждения воздуха от глубины рабочего горизонта ($l_{\text{пр}} = f(H)$, построенные по данным табл. 2.

При панельной подготовке (см. рис. 4) длина лавы 160 м является предельной по тепловым условиям на горизонте $H_{\text{пр}} = 620$ м. При дальнейшем углублении работ нужно вводить искусственное охлаждение воздуха или сокращать длину лавы. Себестоимость угля по учитываемым расходам для лавы длиной 160 м при организации работ по графику «цикл в сутки» составляет 8 руб/т (точка 1). Охлаждение рудничного воздуха при углублении работ свыше 620 м вызывает удорожание угля в лаве такой длины до $8 + 3 = 11$ руб/т (пунктир 1—2). Без применения холодильных установок такая себестоимость соответствует длине лавы в 117 м (пунктир 2—3—4), которая является предельной по тепловым условиям для глубины рабочего горизонта 730 м (пунктир 4—5—6). Таким образом, сокращение длины лавы от 160 до 117 м обеспечивает дополнительное углубление горных работ на $\Delta H = 730 - 620 = 110$ м. При многоциклической организации работ оно составляет $\Delta H = 790 - 620 = 170$ м (пунктир 1'—2'—3'—4'—5'—6').

При этажной подготовке шахтного поля и сплошной системе разработки с двумя подэтажами (см. рис. 5) экономически целесообразное углубление горных работ без охлаждения воздуха за счет сокращения длины очистного забоя определяется по кривой полусумм предельных длин лав в верхнем и нижнем подэтажах (кривая II). Длина лав в верхнем и нижнем подэтажах различна (определяется по кривым I и III), а тепловые условия в них одинаковы. Для системы разработки лава-этаж (см. рис. 6) графики построены по двум вариантам мощности пласта (0,7 и 1,2 м). С увеличением мощности пласта дополнительное углубление горных работ без применения холодильных установок при удовлетворении условия (8) существенно возрастает.

Сокращение высоты этажа (или яруса) при организации работ по графику «цикл в сутки» в большинстве случаев неприемлемо, так как

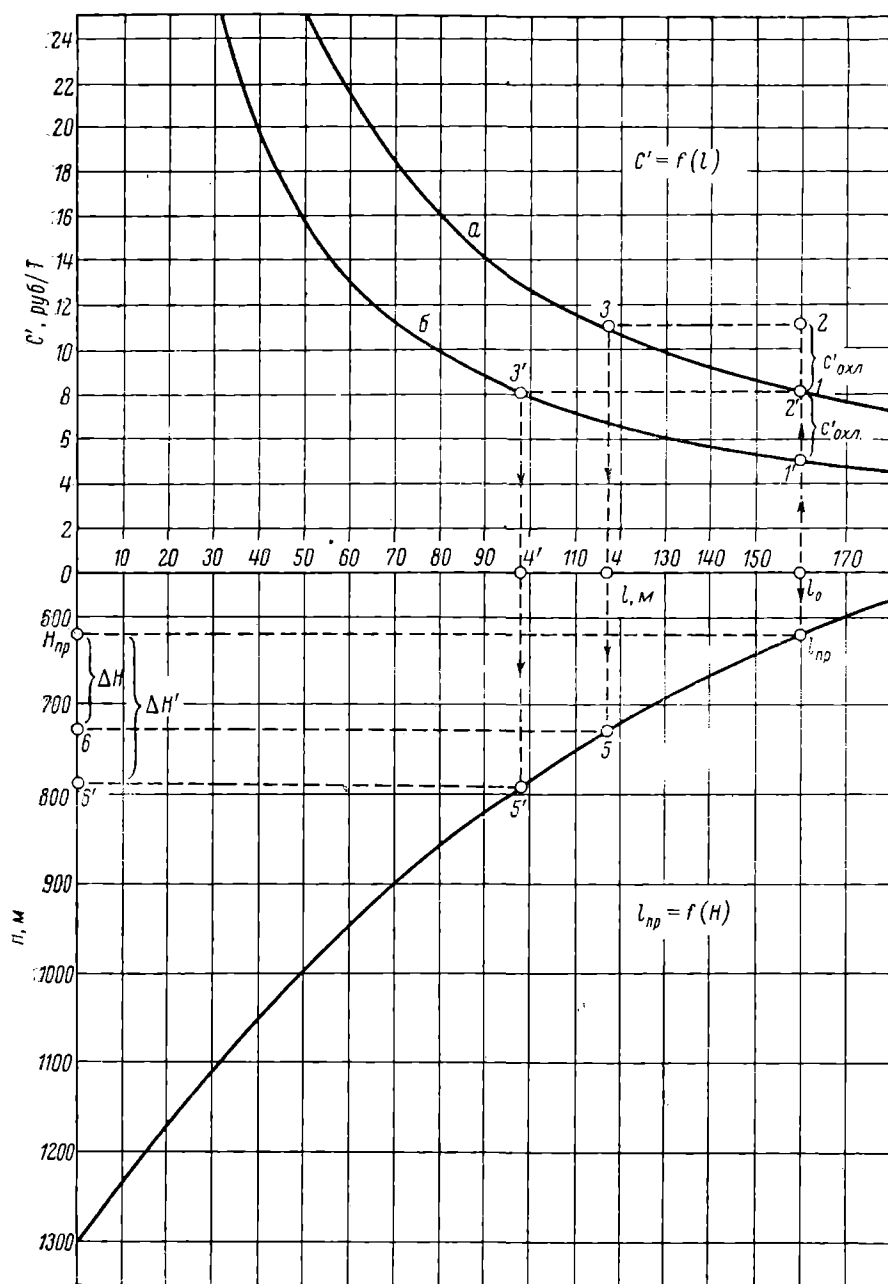


Рис. 4. Графическое определение углубления горных работ без охлаждения воздуха за счет сокращения длины лавы до экономически целесообразных пределов при панельной подготовке шахтного поля. Зависимость себестоимости угля от длины лавы при организации работ:
 a — по графику „цикл в сутки“; b — многоциклической

оно влечет за собой уменьшение добычи угля с пласта, а механизмы, обеспечивающие многоциклическую организацию работ в лаве (узкозахватные комбайны, угольные струги и др.), еще не получили распространения. Однако можно наметить ряд вариантов изменения параметров разработки на глубоких горизонтах, обеспечивающих сохранение уровня добычи и рассчитанных на обычную механизацию очистных работ

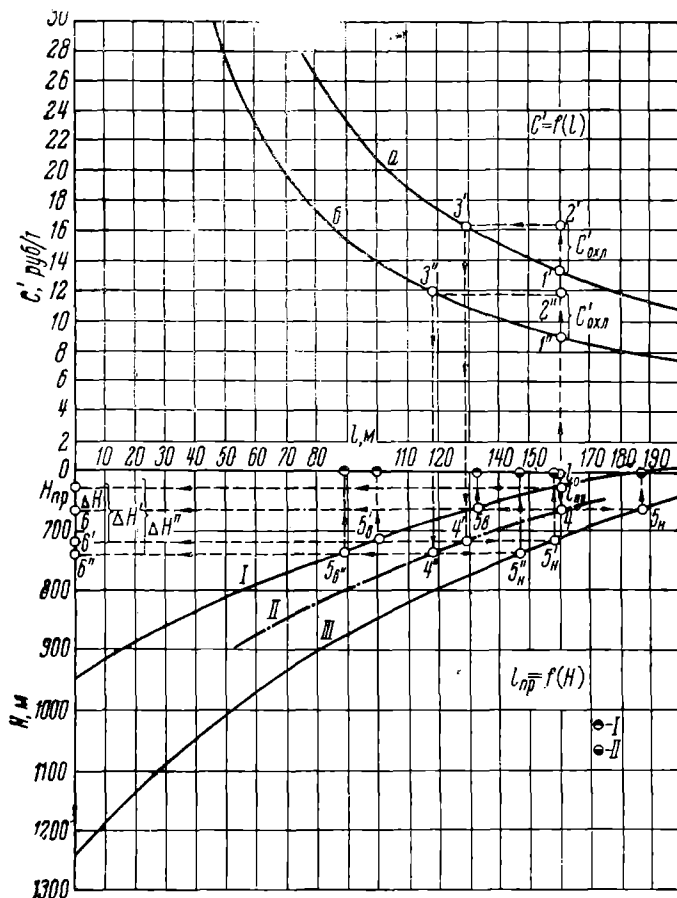


Рис. 5. Увеличение предельной глубины работ без охлаждения рудничного воздуха за счет сокращения длины лавы при сплошной системе разработки с двумя подэтажами: I — длина лавы верхнего подэтажа; III — то же, нижнего подэтажа. Зависимость себестоимости угля от длины лавы при организации работ: а — по графику „цикл в сутки“; б — многоциклической

(рис. 7). Так, при панельной подготовке и при системе разработки лавы-этаж целесообразно уменьшение длины лавы при переходе к работе догоняющими забоями (Iб и IIIб). При сплошной системе разработки с подэтажами возможно: 1) сокращение длины лавы верхнего подэтажа за счет увеличения длины лавы в нижнем подэтаже до уравнивания температур в очистных забоях IIа; 2) сокращение длины лавы при увеличении числа подэтажей и сохранении высоты этажа неизменной IIб; 3) сокращение длины лавы при уменьшении высоты этажа и переходе к двухсторонним бремсберговым полям или одновременной разработке соседних выемочных участков.

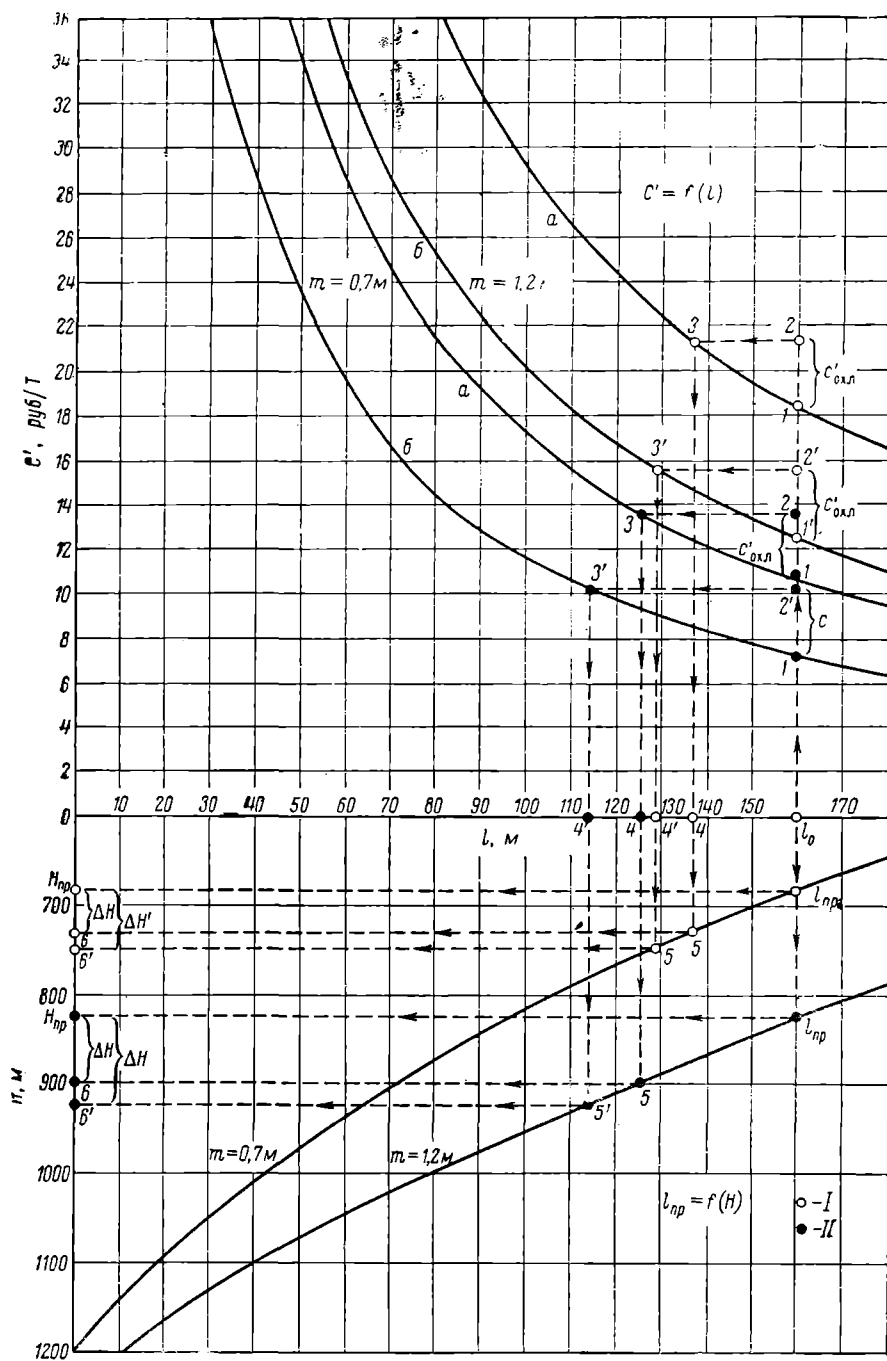


Рис. 6. Увеличение предельной глубины работ без охлаждения рудничного воздуха за счет сокращения длины лавы при системе разработки лава-этаж:

I — для пласта мощностью 0,7 м; II — для пласта мощностью 1,2 м. Зависимость себестоимости угля от длины лавы при организации работ:

a — по графику «цикл в сутки»; б — многоциклической

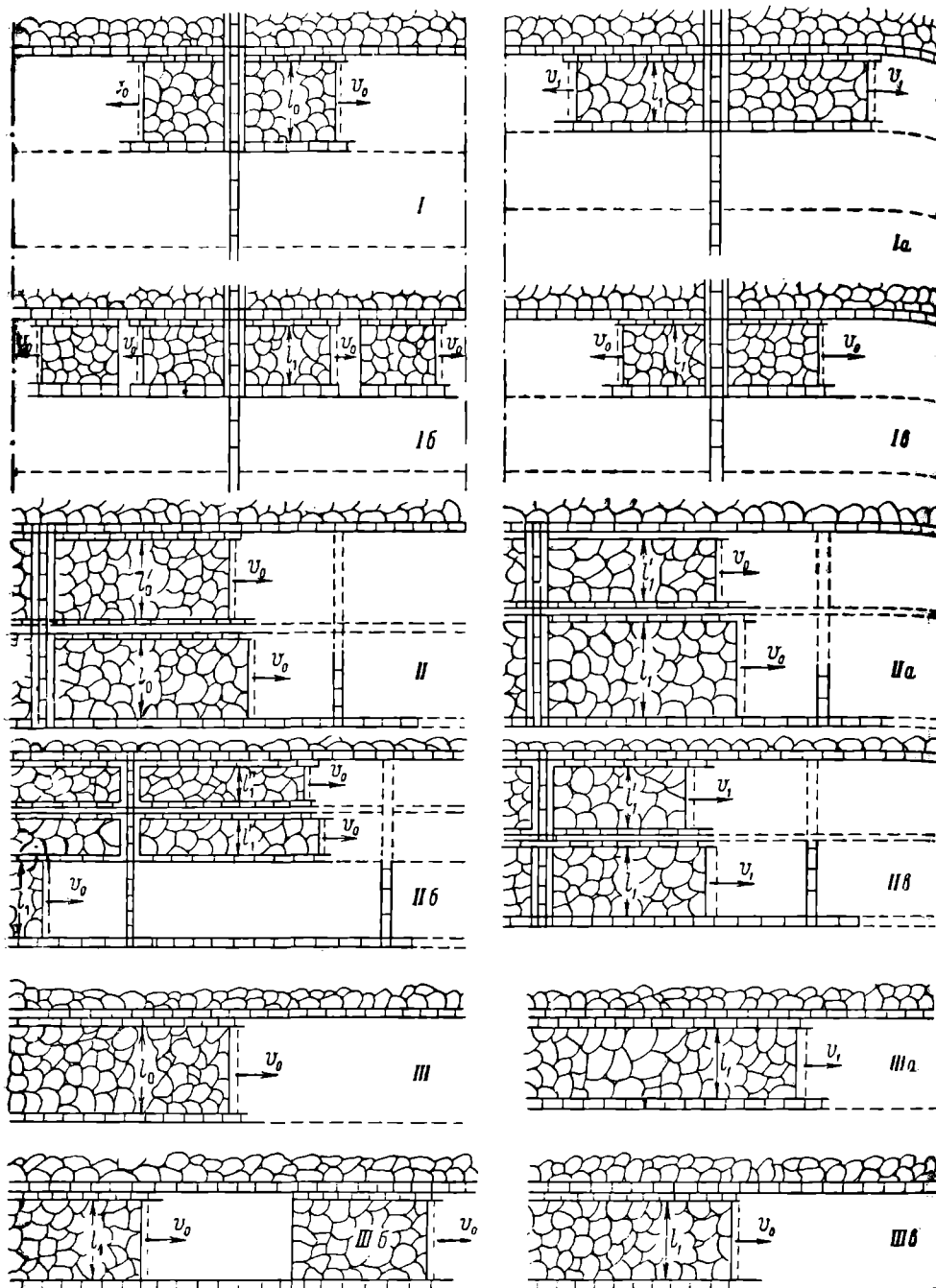


Рис. 7. Схемы вариантов изменения параметров разработки для дополнительного углубления горных работ без охлаждения воздуха за счет сокращения длины лавы: I — при панельной подготовке шахтного поля; II — при этажной подготовке и сплошной системе разработки с двумя подэтажами; III — при системе разработки лава-этаж.

Таблица 9

Способ подготовки шахтного поля	Схема варианта (рис. 7)	Изменение параметров разработки				Дополнительные расходы, связанные с изменением параметров разработки $\Delta C'$, руб/т	Стоимость охлаждения воздуха C' охл, руб/т	Дополнительное углубление работ без охлаждения воздуха ΔH , м
		добыча с этажа (яруса) A , т/сутки	высота этажа (яруса) h , м	скорость движения очистного забоя v , м/сутки	длина лавы			
Панельный	Ia	$A_1 = A_0$	$h_1 < h_0$	$v_1 = v_0 \frac{l_0}{l_1}$	160	$\Delta C' = C_1 \left(\frac{1}{l_1} - \frac{1}{l_0} \right) = 3$	3	170
	Iб	$A_1 > A_0$	$h_1 < h_0$	$v_1 = v_0$	160	$\Delta C' = \left(C_1 + \frac{C_2 + C_3}{v_0} \right) \left(\frac{1}{l_1} - \frac{1}{l_0} \right) = 3$	3	130
	Iв	$A_1 < A_0$	$h_1 < h_0$	$v_1 = v_0$	160	$\Delta C' = \left(C_1 + \frac{C_2 + C_3 + C_4}{v_0} \right) \left(\frac{1}{l_1} - \frac{1}{l_0} \right) = 3$	3	110
Этажный (2 подэтажа)	IIa	$A_1 = A_0$	$h_1 = h_0$	$v_1 = v_0$	$\frac{160^*}{160}$	$\Delta C' = 0$	3	40
	IIб	$A_1 = A_0$	$h_1 = h_0$	$v_1 = v_0$	$\frac{160}{160}$	$\Delta C' = \frac{k_{np}}{0,98p} \frac{2l_0}{2l_0} + \frac{0,5r_{np} S_{op}}{0,98p} \frac{300v_0 2l_0}{300v_0 2l_0} + \frac{C_2 + C_3}{v_0} \left(\frac{1}{l_1} - \frac{1}{l_0} \right) = 4,2$	3	105
	IIв	$A_1 = A_0$	$h_1 < h_0$	$v_1 = v_0 \frac{l_0}{l_1}$	$\frac{160}{160}$	$\Delta C' = C_1 \left(\frac{1}{l_1} - \frac{1}{l_0} \right) = 3$	3	110
Этажный (лава-этаж)	IIIa	$A_1 = A_0$	$h_1 < h_0$	$v_1 = v_0 \frac{l_0}{l_1}$	160	$\Delta C' = C_1 \left(\frac{1}{l_1} - \frac{1}{l_0} \right) = 3$	3	65(100)
	IIIб	$A_1 > A_0$	$h_1 < h_0$	$v_1 = v_0$	160	$\Delta C' = \left(C_1 + \frac{C_2 + C_3}{v_0} \right) \left(\frac{1}{l_1} - \frac{1}{l_0} \right) = 3$	3	55(85)
	IIIв	$A_1 < A_0$	$h_1 < h_0$	$v_1 = v_0$	160	$\Delta C' = \left(C_1 + \frac{C_2 + C_3 + C_4}{v_0} \right) \left(\frac{1}{l_1} - \frac{1}{l_0} \right) = 3$	3	45(75)

* В числителе длина лавы верхнего, в знаменателе — нижнего полэтажей.

** В скобках для пласта мощностью 1,2 м.

На рис. 7 также показаны схемы изменения параметров разработки при многоциклической работе (*Ia*, *IIa* и *IIIa*) и при сокращении добычи с участка (*Ib* и *IIIb*).

Результаты определения экономически целесообразного углубления горных работ без охлаждения рудничного воздуха за счет сокращения длины лавы для указанных на рис. 7 вариантов приведены в табл. 6. В рассматриваемых условиях сокращение длины очистных забоев от 160 до 140—80 м позволяет увеличить предельную глубину горных работ без охлаждения воздуха на 45—170 м. При угле падения пласта 10° такое углубление рабочего горизонта соответствует 260—980 м по падению шахтного поля. Таким образом, предлагаемое изменение параметров разработки пологопадающих угольных месторождений Донбасса на больших глубинах позволяет обойтись без применения холодильных установок дополнительно в течение 10—30 лет.

Выводы

1. При проектировании новых и реконструкции действующих глубоких шахт выбор способа подготовки, системы разработки и ее элементов должны производиться с учетом их влияния на тепловые условия в выработках. Основное внимание необходимо уделять определению рациональной длины лавы и размеров выемочного участка или панели.

2. Сокращение длины лавы по тепловым условиям может обеспечить увеличение предельной глубины горных работ без охлаждения воздуха на 50—150 м, т. е. на пологопадающих пластах отсрочить необходимость применения рудничных холодильных установок дополнительно на 10—30 лет. При этом удорожание добываемого угля будет меньше стоимости охлаждения воздуха, а организационно-технические и гигиенические условия работы в шахте лучше, чем при использовании охлаждающих установок.

3. С точки зрения тепловых условий в выработках бремсберговую часть шахтного поля выгодно разрабатывать системой лава-этаж, а уклонную — панелями, закладывая стволы на горизонт, до которого горные работы могут вестись без применения холодильных установок.

4. Внедрение многоциклической или поточной организации работ в условиях глубоких шахт, помимо других преимуществ, позволит значительно увеличить предельную глубину работ без охлаждения рудничного воздуха.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Дядькин Ю. Д. О методах тепловых расчетов рудничного воздуха. Научные доклады высшей школы. Горное дело, 1958, № 1
2. Дядькин Ю. Д. Условия теплообмена в очистных забоях глубоких шахт как основание для выбора режима охлаждения рудничного воздуха. Канд. диссертация. Фонды ЛГИ, 1955.
3. Проскурин В. В., Гусев И. П. На статью К. Ф. Сапицкого и Л. В. Землянского «О влиянии длины комбайновой лавы на производительность труда при выемке некоторых пологопадающих пластов мощностью менее 0,8 м». «Уголь», 1955, № 7; 1956, № 1.
4. Сапицкий К. Ф. Определение рациональной длины лавы при выемке комбайном «Донбасс». Углетехиздат, 1957.
5. Щербань А. Н., Кремнев О. А., Чернобыльский И. И. и др. Охлаждение и осушение воздуха в глубоких угольных шахтах, Изд. АН УССР, 1956.
6. Щербань А. Н. Основы теории и методы тепловых расчетов рудничного воздуха. Углетехиздат, 1953.
7. Rennote E. Revue Universelle des Mines, 1955, v. 11, № 1.
8. Bromilow J. G. Iron a. Coal Trade Review, 1955, v. CLXX, № 4531—4533.