Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. L, вып. 1, 1965 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ШАХТ СЕВЕРО-ВОСТОКА

Ю. Д. Дядькин, С. И. Шахов, В. Д. Митенев

Специфические особенности подземной разработки месторождений полезных ископаемых зоны вечной мерзлоты в решающей степени определяются тепловым режимом породного массива и пройденных в нем выработок. Регулирование теплового режима шахт и рудников в этих условиях приобретает особо важное значение для повышения безопасности и эффективности горных работ.

Проблема подогрева и охлаждения рудничного воздуха на горных предприятиях области вечной мерзлоты еще не получила окончательного разрешения. Поэтому наряду с теоретическими исследованиями рудничного тепло- и массообмена и обоснованием общих принципов, пределов и систем регулирования теплового режима [1, 2, 3, 4] целесообразно рассмотреть эти вопросы в конкретных условиях отдельных шахт и рудников.

Аркагалинское шахтоуправление — наиболее крупное угольное предприятие на Северо-Востоке. Входящая в его состав шахта № 10 имеет суточную производительность 2000 *т* и разрабатывает свиту пологих пластов мощностью до 10 *м*, вскрытую наклонными стволами. Схема проветривания шахты фланговая, расчетный расход воздуха 3600 $м^3/мин$. Все выработки расположены в толще многолетнемерзлых пород мощностью 175—190 *м*. Температура породного массива в слое с нулевой амплитудой годовых колебаний — около —6° С. Климат района весьма суров: средняя годовая температура воздуха —12,8° С, абсолютный минимум в январе —56,3° С.

Климатические, мерзлотно-геологические и горнотехнические условия шахты № 10 отнюдь не являются исключительными. Поэтому результаты проведенных исследований имеют значение и для многих других горных предприятий области вечной мерзлоты.

Для изучения закономерностей и прогноза изменений теплового режима при различных пределах подогрева и охлаждения рудничного воздуха на шахте № 10 с мая 1962 г. по октябрь 1963 г. выполнен большой объем специальных температурных измерений. В течение этого периода 2—3 раза в месяц проводились маршрутные тепловые съемки по вентиляционному пути, включавшему следующую цепь выработок: воздухоподающий наклонный ствол (180 *м*), южный откаточный штрек (110 *м*), квершлаг № 12 (575 *м*), наклонный квершлаг (75 *м*), людской ходок (252 *м*), сборная печь, очистные камеры и вентиляционный просек (130 *м*), седьмая вентиляционная сбойка (80 *м*). Температура воздуха t, его относительная влажность φ, скорость воздушного потока v и температура породных стенок выработок $T_{ст}$ измерялись в девяти постоянных замерных пунктах.

Для изучения температурного режима пород вокруг выработок оборудовали три постоянные геотермические станции (рис. 1) в 200, 490 и 1076 *м* от устья воздухоподающего ствола. Для измерения температуры пород T в каждом из 3—5 шпуров длиной до 12 *м* установили по 6—9 изолированных друг от друга снарядов с термисторами ММТ-4. Измерения T на геотермических станциях проводили 2—3 раза в месяц.

Температурный режим цепи выработок шахты иллюстрирует рис. 2, где приведены результаты 12 маршрутных съемок (по одной для каждого месяца года). Характер изменения t по длине вентиляционного пути в разные месяцы оказался резко различным. Зимой происходит интенсивное нагревание воздушного потока при весьма низкой температуре в начале цепи выработок. Общее приращение t в январе достигает 40—42° С. Летом, напротив, воздух охлаждается при движении по выработкам. При фактическом расходе воздуха 2400—2700 *м*³/*мин* зона положительных температур распространяется с июля по сентябрь лишь до начала квершлага № 12 (около 500 *м*). В остальных выработках шахты в течение всего года сохраняются отрицательные температуры.

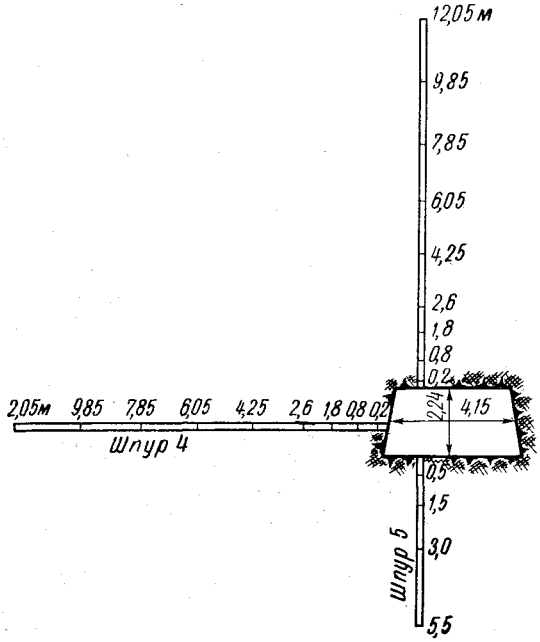


Рис. 1. Схема геотермической станции.

Если в зимние и летние месяцы в шахте наблюдается монотонное повышение или понижение t, то в переходные периоды года, в апреле и октябре, минимальные и максимальные температуры приходятся на среднюю часть вентиляционного пути шахты. В эти месяцы общая величина изменений t в цепи выработок оказывается весьма небольшой.

Характерной особенностью теплового режима шахты являются резкие сезонные колебания температуры рудничного воздуха. Годовая амплитуда этих колебаний в начале вентиляционного пути около 60, а в конце сокращается до 3° С. В соответствии с этим максимальные значения t изменяются от 13,5 в устье наклонного ствола до —2,2° С на исходящей струе очистного участка, а минимальные от —45 до —5° С.

Вычисленная по данным замеров средняя годовая температура рудничного воздуха θ монотонно возрастает по длине цепи выработок от —12,8 до —3,1° С. Рост θ объясняется тем, что $\theta_0 < T$, и указывает на образование в породном массиве вокруг выработок постепенно расширяющейся охлажденной зоны.

Сезонные колебания t несколько запаздывают относительно изменения температуры воздуха на поверхности t_0. Величина фазового отставания температурных колебаний возрастает по длине вентиляционного пути и оказывается наибольшей в переходные периоды года. Температура воздуха на поверхности повышается до 0° С в середине мая, а в начале квершлага № 12 — лишь в середине июля, т. е. через два месяца. Запаздывание во времени наступления максимальных и минимальных температур в конце цепи выработок составляет около месяца.

Относительная влажность воздуха φ значительно колеблется в течение года лишь в наклонном стволе, в остальных выработках постоянно сохраняется $\varphi > 0{,}8$, а на очистном участке равна 0,9—1. Как правило, относительная влажность воздуха монотонно возрастает по длине вентиляционного пути.

Температурный режим окружающих выработки пород формируется в результате их теплообмена с воздушным потоком. В табл. 1 в качестве примера приведены результаты измерений T в различные месяцы года по одному из геотермических шпуров. Всего за период исследований проведено более 1000 замеров температуры пород.

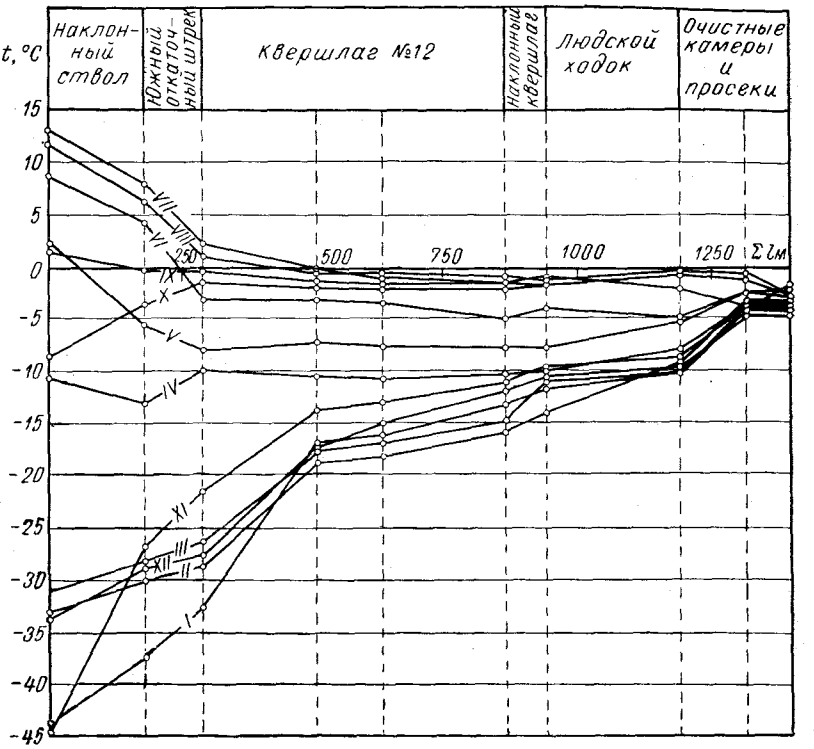


Рис. 2. Тепловой режим шахты № 10.

1962 г.: *XI* — 30 ноября; *XII* — 11 декабря; 1963 г.: *I* — 11 января; *II* — 25 февраля; *III* — 18 марта; *IV* — 20 апреля; *V* — 10 мая; *VI* — 10 июня; *VII* — 20 июля; *VIII* — 26 августа; *IX* — 25 сентября; *X* — 5 октября.

В зимние месяцы температура пород монотонно возрастает с удалением от выработки в глубь массива. Тепловой поток направлен в этот период от пород к рудничному воздуху. Весной и летом, при поступлении в выработки более теплого воздуха, его температура оказывается выше температуры пород. Процесс теплообмена меняет знак: тепловой поток получает направление от воздуха к породному массиву. Породы вблизи выработки прогреваются. Динамика изменений T с удалением в глубь массива в это время усложняется. Минимальное значение T находится на некотором расстоянии от выработки, за которым зона нагревания пород сменяется зоной их охлаждения (см. табл. 1). Со временем это расстояние возрастает, а значение $T_{\min}$ повышается.

Осенью наблюдается монотонное снижение температуры породного массива, сменяющееся в начале зимы появлением зоны охлаждения пород вблизи выработки.

Таблица 1

Изменение температуры породного массива с удалением от выработки в различные месяцы года (шахта № 10, квершлаг № 12, кровля, станция 2, 490 *м* от устья ствола)

Расстояние от стенки выработки, *м*	Температура пород по месяцам, °С							
	22. I	18. III	20. IV	20. V	10. VII	26. VIII	25. IX	20. XII
Воздух	—13,8	—17	—10,9	—7,4	+0,6	—0,6	—1,6	—14,2
Стенка	—11	—14,8	—9,4	—7	—0,5	—1,5	—1,5	—11,4
0,2	—9,5	—12,7	—10,8	—9,2	—3,1	—2	—2,5	—9,9
0,8	—7,5	—9,6	—10	—7,1	—6	—4	—3,5	—7,8
1,6	—4,3	—5,8	—6,7	—7	—6,8	—5	—4,8	—4,8
2,6	—4,3	—4,7	—5,4	—6,7	—7,7	—5,3	—5,3	—4,8
4,25	—3,5	—4,4	—4,8	—6,2	—8,7	—5,2	—5,6	—4,5
5,06	—3,2	—3,8	—4,8	—5,4	—5,2	—7	—5,7	—4,2
7,85	—3,6	—3,7	—4,7	—5,6	—4,6	—5,5	—5,3	—4,5
9,85	—3,6	—4,5	—4,7	—5,7	—5,3	—5	—5,1	—4,4
12,05	—3,6	—3,8	—4,5	—5,2	—5,2	—5	—4,7	—4,4

Сезонные колебания температуры рудничного воздуха обусловили соответствующие изменения T во времени. Годовая амплитуда колебаний температуры пород быстро сокращается с увеличением расстояния от горной выработки. Зона температурных колебаний распространяется на глубину не менее 12—20 *м* и сокращается по длине вентиляционного пути. Средняя годовая температура пород около выработки близка к θ, а с увеличением в глубь массива возрастает, постепенно приближаясь к его естественной температуре.

Характерно запаздывание сезонных колебаний T от соответствующих изменений температуры проходящего по выработке воздуха. Величина фазового отставания температурных колебаний в 1,5 *м* от выработки составляет 3 месяца, а на расстоянии 5 *м* от нее — более полугода (см. табл. 1).

В связи с неравномерной влажностью породного массива вокруг выработок его температурное поле оказывается несимметричным. Это особенно характерно для летнего периода — при оттаивании пород. Например, в районе геотермической станции 3 (200 *м* от устья ствола) глубина оттайки пород к 30 июля в кровле составила 0,9 *м*, а в почве — лишь 0,45 *м*.

Проведенные исследования дают достаточно полное представление о динамике и пределах изменения температуры рудничного воздуха и окружающих выработки пород.

Следствием естественного теплового режима шахты является ряд серьезных осложнений: дискомфортность микроклимата выработок; повышенная запыленность рудничного воздуха в зимний период; рост нагрузок на крепь, ее разрушение и завалы выработок при оттаивании пород летом; образование наледей при проникновении в шахту поверхностных вод и т. д.

Низкая температура рудничного воздуха (при значительной его скорости) и горных пород требует использования теплой, связывающей движения спецодежды и приводит к простудным заболеваниям шахтеров, снижению безопасности и производительности труда. На рис. 3 показано изменение простудной заболеваемости рабочих по месяцам, с января 1961 по март 1963 г., для трех шахт Аркагалинского шахтоуправления. Число заболеваний в месяц $n'_{\text{подз}}$ по этим шахтам закономерно изменяется в течение года, «зеркально» следуя за сезонными колебаниями температуры

воздуха. В январе $n'_{подз}$ достигает 20—28. Летом уровень простудной заболеваемости сокращается примерно в 4 раза: $n'_{подз}$ около 5—7. Частота заболеваний рабочих поверхности в любом месяце остается в 3—6 раз ниже $n'_{подз}$. Это свидетельствует о безусловной необходимости подогрева поступающего в шахту воздуха в зимний период.

На рис. 4 приведены сгруппированные по месяцам данные о запыленности воздуха в различных выработках шахты № 10. Обращает на себя внимание резко выраженная зависимость концентрации пыли в рудничном воздухе от времени года. Специальные исследования показали, что сезонные колебания запыленности шахтной атмосферы объясняются

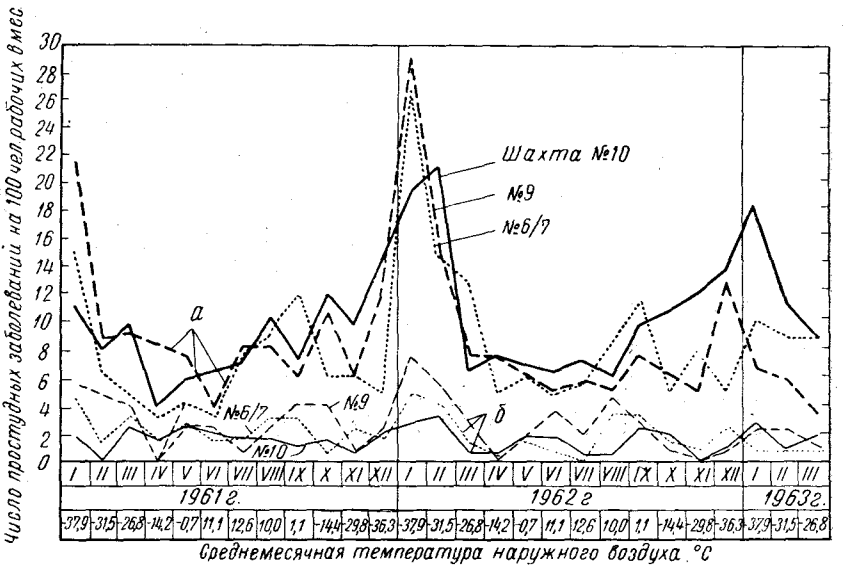


Рис. 3. Динамика простудной заболеваемости рабочих на угольных шахтах Аркагалинского шахтоуправления.
а — подземные работы; *б* — работы на поверхности.

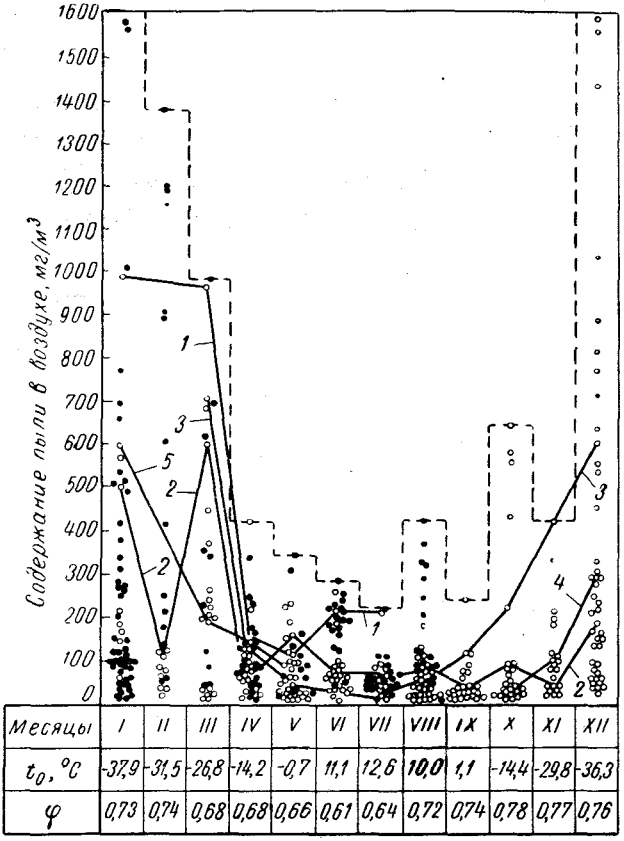
в основном изменением направления тепломассообменных процессов в горных выработках. При охлаждении воздуха в выработках происходит конденсация или кристаллизация водяных паров на пылинках и интенсивное естественное пылеподавление. С октября по апрель рудничный воздух нагревается и увлажняется за счет испарения льда и инея. Запыленность его резко возрастает, поскольку «конденсационное» пылеподавление прекращается, а часть аккумулированной в выработках пыли вновь попадает в рудничную атмосферу.

Для снижения концентрации пыли в атмосфере выработок зимой следует подогревать, а летом охлаждать поступающий в шахту воздух, сокращая до минимума амплитуду температурных колебаний, а следовательно, и интенсивность испарительных процессов.

Как отмечалось, в условиях шахты № 10 мерзлые породы оттаивают летом лишь в воздухоподающих стволах, околоствольном дворе и примыкающих к ним выработках. Глубина зоны талых пород даже в стволах не превосходит 2—2,5 *м*. Однако и при этом нагрузки на крепь выработок значительно увеличиваются, а их эксплуатация в летние месяцы становится небезопасной.

Как следует из табл. 2, максимальный объем работ по перекреплению выработок приходится обычно на третий или второй кварталы года, т. е. на теплый период. В наклонных стволах и уклонах, подверженных

вредному влиянию оттайки, крепь деформируется наиболее часто, в участквоых выработках перекрепления вообще не требуется.



Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
t_0, °C	-37,9	-31,5	-26,8	-14,2	-0,7	11,1	12,6	10,0	1,1	-14,4	-29,8	-36,3
φ	0,73	0,74	0,68	0,68	0,66	0,61	0,64	0,72	0,74	0,78	0,77	0,76

Рис. 4. Изменение запыленности воздуха в выработках шахты № 10 с I. 1961 г. по VIII. 1962 г.

1 — под дозатором главного ствола; *2* — опрокид; *3* — квершлаг № 11, сопряжение; *4* — погрузочный пункт участка № 2; *5* — транспортный штрек горизонта 756 *м*.

Сезонное оттаивание пород нередко является причиной внезапных обрушений и завалов выработок с раздавливанием крепи. В августе 1958 г. в конвейерном уклоне 12 породы обрушились в пределах ореола оттайки (1,5—2 *м*), захватив участок длиной 8 *м* [4].

Таблица 2

Зависимость объема работ по перекреплению различных выработок шахты № 10 от времени года

Год	Квартал	Объем работ на 1000 *пог. м*	
		Наклонные стволы и уклоны (520 *м*)	Квершлаги и штреки (4885 — 4210 *м*)
1960	I	—	—
	II	347	—
	III	—	18
	IV	—	—
1961	I	13	19
	II	—	28
	III	83	20
	IV	29	13
1962	I	—	31
	II	162	9
	III	49	71
	IV	29	63

В летние периоды 1960—1961 гг. многочисленные обрушения оттаивающих пород (песчаников) в новом наклонном стволе и околоствольном дворе шахты поставили под угрозу безопасность их эксплуатации. Потребовалось заменять сплошную деревянную крепь бетонной или устанавливать в качестве верхняков металлические балки из швеллера № 30. На отдельных участках выработок околоствольного двора обрушения пород при оттаивании повторялись по 2—3 раза. В результате над крепью образовались полости высотой до 3 *м*, в которых пришлось возводить деревян-

ные костры. Летом 1962 г. эти опасные явления удалось предотвратить за счет проветривания околоствольного двора вентиляционной струей с $t < 0$, охлажденной в старых выработках отработанной части шахтного поля.

Летом 1963 г., в период исследований, зафиксировано 5 обрушений оттаявших пород с раздавливанием крепи. 14 июня произошел завал южного откаточного штрека вблизи геотермической станции 3. На участке длиной 6 *м* крепление выработки (рамы из деревянных стоек и двутавровых балок № 30, установленные через 0,7 *м*) было полностью разрушено. Объем обрушенных пород составил около 60 $м^3$. Вблизи этого пункта 4 августа породы вновь обрушились и раздавили крепь на участке длиной 10 *м*. По измерениям в геотермических шпурах глубина оттаивания пород в кровле штрека не превышала в это время 1 *м*.

Обрушения окружающих выработки пород при сезонном оттаивании наблюдаются и на многих других шахтах и рудниках области вечной мерзлоты [3, 4]. Очевидно, для предотвращения этих явлений целесообразно в течение всего года поддерживать в выработках $t < 0$, что возможно лишь при охлаждении поступающего в шахту воздуха в летний период.

Заметим, что размеры ореолов оттаивания пород вокруг выработок определяются не только летними, но и зимними температурами проходящего по ним воздуха. При естественном тепловом режиме шахты глубокое охлаждение пород зимой препятствует их интенсивному оттаиванию летом. При подогреве поступающего в шахту воздуха зимой даже до $t_{нагр} \approx T < 0$ годовой тепловой баланс пород вокруг выработок окажется положительным, будет происходить непрерывное накопление в них тепла и прогрессирующее оттаивание в летний период. Поэтому при подогреве рудничного воздуха зимой его охлаждение летом становится особенно важным [1].

Рациональные пределы подогрева $t_{нагр}$ и охлаждения $t_{охл}$ рудничного воздуха в условиях шахты № 10 определены нами в соответствии с основными принципами и методикой, разработанными Ленинградским горным институтом для горных предприятий области вечной мерзлоты. По этой методике значение $t_{нагр}$ выбирается из гигиенических требований, а $t_{охл}$ — по минимуму суммарных затрат на охлаждение рудничного воздуха и поддержание горных выработок.

Для обеспечения нормальной терморегуляции работающих в выработках людей температура проходящего по ним воздуха должна быть не ниже

$$t_{пр} \geqslant (2v - 15)^\circ \text{ C},$$

где v — скорость воздуха, *м/сек*.

Воздухоподающий наклонный ствол шахты № 10 не используется для передвижения людей. Их спуск и подъем осуществляются по людскому ходку с весьма малой скоростью воздуха. Максимальное значение $v = 4{,}3$ *м/сек* в южном откаточном штреке — на участке между обходной выработкой околоствольного двора и квершлагом № 12. Предельно допустимая температура воздуха на этом участке

$$t_{пр} = 2 \cdot 4{,}3 - 15 = -6{,}4^\circ \text{ C}.$$

Тепловые расчеты, выполненные по специальной методике [2], позволили установить, что для обеспечения $t_{пр} = -6{,}4^\circ$ С в южном откаточном штреке необходимо подогревать поступающий в шахту воздух до $-8{,}3^\circ$ С. При этом условие $t_{пр} \geqslant (2v - 15)^\circ$ С будет соблюдено во всех выработках шахты. На основании этого анализа принимаем $t_{нагр} = -8^\circ$ С.

Для установления экономической целесообразности охлаждения рудничного воздуха и выбора рационального значения $t_{охл}$ выполнен следующий анализ.

1. При различных значениях $t_{охл}$ определен необходимый расход холода в летние месяцы. Рассчитаны режимы работы и выбрано стандартное оборудование аммиачных холодильных установок. Подсчитаны капитальные затраты и эксплуатационные расходы на охлаждение воздуха этим наиболее дорогим способом.

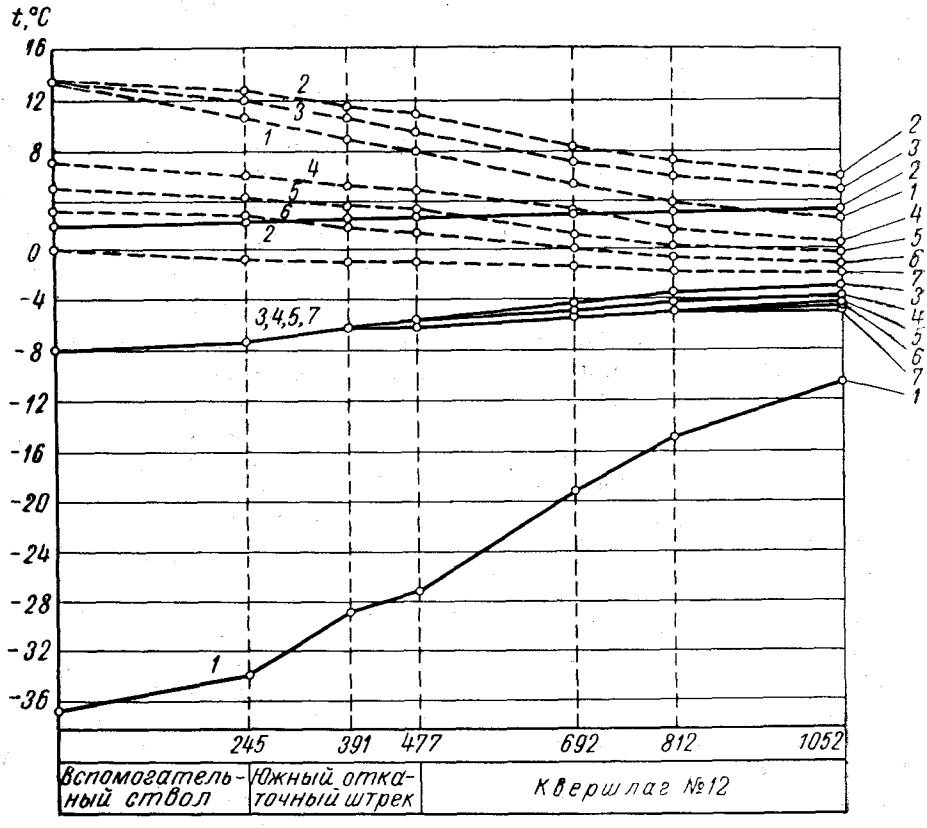


Рис. 5. Изменение температуры воздуха в цепи выработок шахты № 10 в январе (сплошные линии) и июле (пунктирные линии) при различных пределах регулирования ее теплового режима:

1 — естественный тепловой режим при увеличении расхода воздуха до 3600 *м³/сек*; *2* — $t_{нагр}$ = = 2° С без охлаждения летом; *3* — $t_{нагр}$ = —8° С без охлаждения летом; *4* — $t_{нагр}$ = —8° С, $t_{охл}$ = 7° С; *5* — $t_{нагр}$ = —8° С, $t_{охл}$ = 5° С; *6* — $t_{нагр}$ = —8° С, $t_{охл}$ = 3° С; *7* — $t_{нагр}$ = = —8° С, $t_{охл}$ = 0° С.

2. По формулам Ленинградского горного института [2] выполнен расчетный анализ теплового режима цепи горных выработок при различных пределах подогрева и охлаждения рудничного воздуха (рис. 5), определены размеры ореолов оттаивания пород вокруг выработок (табл. 3), максимальные нагрузки на крепь и ее необходимая плотность.

Из сопоставления расчетных данных и принятых на шахте видов и плотности крепи определен объем работ по дополнительному креплению выработок и их поддержанию.

Как следует из табл. 4, в условиях рассматриваемой шахты охлаждение воздуха летом безусловно целесообразно. При этом минимальные капитальные и эксплуатационные затраты будут обеспечены при $t_{охл} \approx$ $\approx$ 5° С.

Таблица 3

Максимальная толщина зоны талых пород вокруг выработок шахты № 10 при регулировании ее теплового режима (на второй год)

Выработка	Расстояние от устья ствола, *м*	Толщина зоны протаивания $\Delta R_т$, *м*					
		$t_{нагр}$ = −8° С, $t_{охл}$ = 0° С	$t_{нагр}$ = −8° С, $t_{охл}$ = 3° С	$t_{нагр}$ = −8° С, $t_{охл}$ = 5° С	$t_{нагр}$ = −8° С, $t_{охл}$ = 7° С	$t'_{нагр}$ = −8° С; без охлаждения	$t_{нагр}$ = 2° С; без охлаждения
Наклонный ствол	50	0	1,28	1,67	2	2,5	3,7
То же	245	0	1,2	1,5	1,8	2,3	3,5
Южный откаточный штрек	391	0	0,7	1	1,45	1,95	3
То же	477	0	0,6	0,9	1,2	1,8	2,75
Квершлаг № 12	692	0	0,2	0,5	0,85	1,4	2,35
То же	812	0	0	0,1	0,5	1,05	2,2
То же	1052	0	0	0	0,2	0,85	2

Таблица 4

Примерные затраты, связанные с регулированием теплового режима шахты № 10

Вид затрат	$t_{нагр}$ = −8° С				Без охлаждения	Без охлаждения; $t_{нагр}$ = 2° С
	$t_{охл}$ = 1° С	$t_{охл}$ = 3° С	$t_{охл}$ = 5° С	$t_{охл}$ = 7° С		
	Капитальные, тыс. руб.					
Усиление крепи выработок	—	8,4	13,9	23,9	205,3	470
Сооружение холодильной установки	58,8	38,4	28,3	23,8	—	—
Итого	58,8	46,8	42,2	47,7	205,3	470
	Эксплуатационные, тыс. руб.					
Поддержание выработок	—	0,7	2,8	4,8	23,7	47,6
Охлаждение воздуха	39,6	23,4	12,8	9,6	—	—
Итого	39,6	24,1	15,6	14,4	23,7	47,6

Рекомендуемые пределы регулирования теплового режима шахты № 10 $t_{нагр} = -8°$ С и $t_{охл} = 5°$ С согласованы с Госгортехнадзором РСФСР и утверждены Северо-Восточным совнархозом.

В проекте реконструкции шахты предусмотрено строительство калориферной установки для подогрева воздуха зимой до +2° С с использованием в качестве теплоносителя перегретого пара от шахтной котельной, сооружение которой заканчивается в ближайшее время. В климатических условиях Аркагалы переход к $t_{нагр} = -8°$ С позволит сократить необходимый расход тепла с 11,87 до 7,06 *млрд. ккал* в год, т. е. более чем на 40%.

В природных условиях области вечной мерзлоты, наряду с обычными калориферами и холодильными установками, возможен ряд других способов подогрева и охлаждения рудничного воздуха [1]. В табл. 5 указаны основные результаты технико-экономического сравнения для конкурентноспособных вариантов систем регулирования теплового режима шахты.

Таблица 5

Сравнение систем регулирования теплового режима шахты № 10 по капитальным затратам ΣK, эксплуатационным расходам $\Sigma Э$ и удорожанию угля $\Delta C'$

Тепловой режим		ΣK, тыс. руб.	$\Sigma Э$, тыс. руб./год	$\Delta C'$, руб./т
Подогрев воздуха	Охлаждение воздуха			
Калориферная установка	Холодильная установка	173,9	67,2	0,120
То же	Орошение водой, охлажденной на подмерзлотных горизонтах	212,7	66,3	0,118
Теплоаккумулирующие выработки и калориферная установка	Теплоаккумулирующие выработки	187,7	62,6	0,112
Намораживание льда в траншее и калориферная установка	Оттаивание льда в траншее	216,2	54,6	0,109
Гидрокалорифер и намораживание льда в траншее	Оттаивание льда в траншее	153,7	39,5	0,076
Конденсация пара и намораживание льда в траншее	Оттаивание льда в траншее	102,4	40,7	0,078

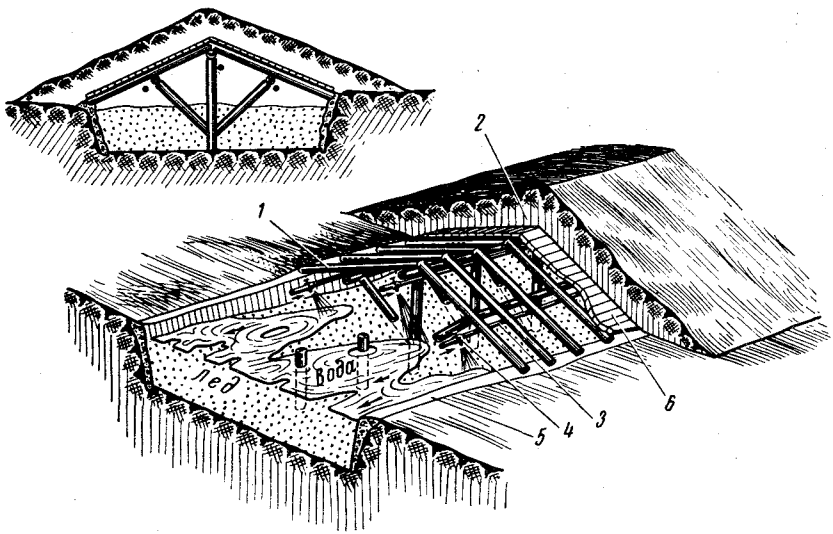


Рис. 6. Воздухоподающая траншея для регулирования теплового режима шахты:

1 — перекрытие траншеи; *2* — теплоизоляция; *3* — паропровод; *4* — сливной кран; *5* — бетонная облицовка; *6* — обшивка перекрытия.

Наиболее рациональным признан вариант с конденсацией пара и намораживанием льда в траншее. Для его осуществления по склону сопки над лесным складом необходимо пройти воздухоподающую траншею длиной 400 *м*, при сечении 22 $м^2$ и сбить ее коротким каналом с наклонным стволом шахты. Перекрытие траншеи оборудуют тремя паропроводами (рис. 6), по которым зимой поступает пар от шахтной котельной. В результате теплообмена со встречным воздушным потоком перегретый пар охлаждается и конденсируется в трубах. Образующийся конденсат выпускается через сливные краны, стекает по наклонной почве траншеи, охлаждается и замерзает, отдавая тепло поступающему в шахту воз-

духу. Заданное значение $t_{нагр} = -8°$ С поддерживается за счет регулирования расхода пара. За период подогрева воздуха в траншее намораживается 8700 $м^3$ льда. При его оттаивании летом воздух охлаждается в среднем до 5° С.

Дополнительные капиталовложения на проходку и оборудование траншеи (без учета отнесенной на подогрев воздуха доли затрат по сооружению котельной) составят около 70 тыс. руб., что значительно меньше проектной стоимости калориферной установки (102,1 тыс. руб.).

Регулирование теплового режима шахты по предлагаемой системе значительно экономичнее запроектированного ранее подогрева воздуха в калориферах до +2° С: даже без учета затрат на крепление и поддержание выработок эксплуатационные расходы сокращаются вдвое, капиталовложения уменьшаются на одну треть (табл. 6).

Таблица 6

Сравнительная эффективность рекомендуемой системы регулирования теплового режима шахты № 10

Показатели	Проект калориферной установки при $t_{нагр}=2°$ С	Рекомендуемая система подогрева и охлаждения воздуха
Среднемесячная температура воздуха в основных выработках, °С:		
зимой (январь)	От 2 до 2,9	От —3 до —4
летом (июль)	От 13,5 до 6	От 5 до —0,4
Глубина оттаивания пород вокруг основных выработок, *м*:		
на второй год	3,7—2	1,6—0
на десятый год	7,3—4	1,8—0
Расход тепла за год, млн. *ккал*	11 870	7060
Расход холода за год, млн. *ккал*	—	740
Капитальные затраты, тыс. руб.:		
регулирование теплового режима	102,1	63,9
дополнительное крепление выработок	470	13,9
Эксплуатационные расходы, тыс. руб./год:		
регулирование теплового режима	82,7	40,7
поддержание выработок	47,6	2,8
Удорожание добываемого угля по учитываемым затратам, *руб./т*	0,294	0,085

В 1964 г. Дальстройпроект (г. Магадан) приступил к разработке рабочего проекта рекомендуемой системы регулирования теплового режима шахты № 10.

ВЫВОДЫ

1. Тепловой режим шахт, работающих в зоне вечной мерзлоты, характеризуется весьма низкими температурами рудничного воздуха в зимний период, резкими сезонными колебаниями температуры при постоянном сохранении $t < 0$ в подавляющем большинстве выработок, отрицательным годовым тепловым балансом и постепенным охлаждением породного массива при ограниченном летнем оттаивании пород вокруг выработок. В условиях шахты № 10 оттаивание пород происходит лишь на первых 300—400 *м* вентиляционного пути.

2. Естественный тепловой режим шахт оказывает существенное влияние на безопасность и эффективность горных работ и приводит к ряду осложнений: высокому уровню простудной заболеваемости подземных рабочих, резкому увеличению запыленности рудничного воздуха в зимний период, росту нагрузок на крепь, ее деформированию и завалам выработок при оттаивании мерзлых пород летом.

3. Для полного или частичного устранения отмеченных осложнений необходимо регулирование теплового режима шахт с постоянным обеспечением в большей части выработок умеренных отрицательных температур и сокращением до минимума амплитуды их сезонных колебаний.

4. Исходя в основном из гигиенических требований, поступающий в шахту воздух рекомендуется подогревать в холодный период года до умеренных отрицательных температур. Для шахты № 10 такая температура подогрева —8° С.

5. Целесообразность охлаждения поступающего в шахту воздуха летом устанавливается на основе технико-экономического анализа. В качестве рациональной температуры охлажденного воздуха для шахты № 10 рекомендуется +5° С.

6. В результате проектной проработки и технико-экономического сравнения возможных систем регулирования теплового режима шахты № 10 рекомендуется подогревать поступающий в нее воздух зимой за счет конденсации пара и намораживания льда в воздухоподающей траншее при охлаждении летом за счет таяния накопленного льда. С учетом разницы в затратах на крепление и поддержание выработок предлагаемая система оказывается в 3,5 раза экономичнее запроектированного ранее подогрева воздуха до +2° С в калориферной установке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дядькин Ю. Д. Регулирование теплового режима выработок, пройденных в вечномерзлых породах. «Колыма», 1963, № 3.

2. Дядькин Ю. Д. Метод теплового расчета подземных выработок в толще многолетнемерзлых горных пород. Сб. «Тепловые процессы в мерзлых горных породах». Изд-во «Наука», 1964.

3. Зильберборд А. Ф. Тепловой режим шахт в области распространения многолетнемерзлых горных пород. Изд-во АН СССР, 1963.

4. Чабан П. Д. О параметрах подогрева воздуха для проветривания горных выработок в вечномерзлых породах. «Колыма», 1963, № 1.