Министерство угольной промышленности СССР

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
МАКЕЕВСКИЙ ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПО БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТ В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ЕДИНАЯ МЕТОДИКА

ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Макеевка—Донбасс
1979

gost.e-ecolog.ru

Министерство угольной промышленности СССР

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МАКЕЕВСКИЙ ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПО БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТ
В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

УТВЕРЖДЕНО

Министерством угольной
промышленности СССР
29 декабря 1978 г.

ЕДИНАЯ МЕТОДИКА

ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Макеевка-Донбасс

1979

О Г Л А В Л Е Н И Е

Стр.

ВВЕДЕНИЕ 4

ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ 7

I. МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ ГЛУБОКИХ ШАХТ 10

I.1. Выбор исходных данных 10

I.2. Расчет тепловыделений местных источников в горных выработках 20

I.3. Расчет коэффициентов теплопередачи трубопроводов с тепло- и хладоносителем в горных выработках 28

I.4. Расчет коэффициентов нестационарного теплообмена между горным массивом и воздухом в выработках 31

I.5. Тепловой расчет горных выработок 38

I.6. Упрощенный способ тепловых расчетов горных выработок 42

I.7. Пример теплового расчета 46

I.8. Пример теплового расчета по упрощенному способу 71

2. МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ШАХТ В ОСЛОЖНЕННЫХ УСЛОВИЯХ 75

2.I. Выбор исходных данных 75

2.2. Тепловой расчет горных выработок, расположенных в зоне восходящего движения термальных вод 80

2.3. Пример теплового расчета выработки с термальными водами 88

3. МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ ШАХТ СЕВЕРА 92

3.I. Выбор исходных данных 92

3.2. Расчет тепловыделений местных источников в горных выработках 101

3.3. Нестационарный теплообмен воздушного потока с горным массивом 103

3.4. Тепловой расчет горных выработок 110
3.5. Пример теплового расчета угольной шахты Севера 113

4. МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ В ВЫРАБОТКАХ, ПРОВЕТРИВАЕМЫХ С ПОМОЩЬЮ ВЕНТИЛЯТОРОВ МЕСТНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ 127
Основные условные обозначения 127
4.1. Выбор исходных данных 129
4.2. Расчет тепловыделений местных источников 135
4.3. Расчет коэффициентов теплопередачи вентиляционных трубопроводов в тупиковых выработках 135
4.4. Расчет коэффициентов нестационарного теплообмена между горным массивом и воздухом 136
4.5. Расчет температуры в тупиковой выработке без охлаждения воздуха 138
4.6. Расчет температуры в тупиковой выработке при искусственном охлаждении воздуха 141
4.7. Пример расчета ожидаемых значений температуры воздуха и необходимой холодопроизводительности воздухоохладителя для тупиковой выработки 152

ПРИЛОЖЕНИЯ 175

В В Е Д Е Н И Е

Увеличение добычи угля и повышение производительности труда, намеченные XXУ съездом КПСС, связаны с дальнейшим развитием угольных бассейнов страны. В настоящее время в Донецком бассейне более чем на 100 шахтах добыча угля производится с глубины свыше 600 м, а на ряде шахт Донбасса, Грузии и Севера разработки ведутся на глубине 1200 м. Строятся и проектируются новые шахты с глубиной разработки до 1500 м.

В рабочих забоях глубоких шахт, особенно при неудовлетворительном проветривании, больших нагрузках на забои и высоких темпах прохождения горных выработок, температура воздуха превышает нормативную величину. Высокая температура воздуха вызывает снижение производительности труда и повышение производственного травматизма. Задача регулирования теплового режима является актуальной также для шахт Севера и других специфических условий строительства и эксплуатации угольных шахт. Создание нормальных температурных условий на рабочих местах в угольных шахтах как за счет горнотехнических мероприятий, так и применением кондиционирования воздуха, должно базироваться на научно обоснованных методах тепловых расчетов.

Советскими учеными разработаны теоретические основы прогноза и регулирования теплового режима ша т в различных условиях, что послужило научной базой для составления методик теплового расчета. Эти методики до последнего времени использовались проектными, научно-исследовательскими организациями и горными предприятиями.

За последние 10-15 лет выполнен большой объем теоретических и экспериментальных исследований, направленных на совершенствование методов тепловых расчетов шахт. Настоящая методика разработана в соответствии с планами научно-исследовательских работ Государственного Макеевского научно-исследовательского института по безопасности работ в горной промышленности, Института технической теплофизики АН УССР, Ленинградского горного института, Института горной механики АН Гр.ССР, Новочеркасского политехнического инсти-

тута, Донецкого научно-исследовательского угольного института с учетом результатов, полученных в данной области другими организациями.

В методике излагаются указания по выбору исходных данных, способы их определения, зависимости для расчета температуры воздуха и холодоносителя в системах трубопроводов холодильных установок при прямых и обратных тепловых расчетах горных выработок. Методика состоит из четырех разделов. При составлении "Единой методики ..." принята последовательность изложения материала, при которой методы определения расчетных величин, общие для всех разделов методики, изложены в первом разделе, посвященном вопросам прогнозирования температурных условий в выработках глубоких шахт. Методы тепловых расчетов выработок, отражающие специфичность условий разработки, изложены в последующих разделах. Во втором разделе приведена методика прогнозирования теплового режима шахт в осложненных условиях, учитывающая влияние сложного рельефа поверхности, формы залегания пород, наличия в горном массиве восходящих потоков термальных вод. Третий раздел методики содержит расчетные зависимости для прогнозирования температурных условий в выработках шахт Севера, учитывающие сложный характер теплообменных процессов в толще мерзлых пород и закономерности изменения климатических условий на поверхности. В четвертом разделе приведены методы тепловых расчетов выработок, проветриваемых с помощью вентиляторов местного проветривания.

Методика является руководящим материалом для проектных организаций, занимающихся разработкой проектов новых и реконструируемых шахт, подготовки новых горизонтов и участков действующих шахт, а также для специалистов угольных предприятий и научно-исследовательских институтов, занимающихся вопросами прогноза и регулирования теплового режима шахт. С выходом "Единой методики ..." утрачивают силу при проектировании шахт: "Временная инструкция по проверке количества воздуха для проектирования угольных шахт по тепловому фактору", утвержденная Минуглепромом СССР 30 декабря 1966 г.; "Методика теплового расчета лав при повышенных нагрузках на очистные забои" и "Методика по прог-

нозированию температурных условий в тупиковых горных выработках", утвержденные Минуглепромом СССР 8 июля 1976 г.

В разработке методики принимали участие: Кузин В.А., Величко А.Е., Хохотва Н.Н., Яковенко А.К., Бодня С.Ф. (разделы I,4); Фролов М.А., Фандеев М.И., Филимоненко В.Т. (подраздел I.I.8); Криворучко А.М. (подраздел I.2.2.I); Медведев Б.И., Стукало В.А. (подраздел I.2.4.3); Журавленко В.Я.(подраздел I.4); Щербань А.Н., Черняк В.П., Малашенко Э.Н., Зимин Л.Б., Мацьковая А.Г., Брайчева Н.А. (подразделы I.4, I.6, раздел 4); Ониани Ш.И., Ланчава О.А (раздел 2); Дядькин Ю.Д., Шувалов Ю.В., Гендлер С.Г. (раздел 3).

Общая координация работ, обобщение материала и редактирование методики выполнены в МакНИИ под руководством Кузина В.А. и Хохотвы Н.Н.

ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

$A_ф$, $A_н$ – соответственно фактическая и номинальная производительность установки, машины и др., т/ч ;

a – коэффициент температуропроводности, $м^2/ч$;

$a_к, a_п, a_у$ – коэффициенты температуропроводности соответственно пород кровли, почвы и угля, $м^2/ч$;

$a_{ср}$ – средневзвешенное значение коэффициента температуропроводности горных пород, $м^2/ч$;

$в_л$ – ширина конвейера в лаве, м;

$Г_{ср}$ – средняя для геотермического участка величина геотермической ступени, $м/^oC$;

c – удельная теплоемкость, ккал/кг.^oC ;

$c_р$ – теплоемкость воздуха при постоянном давлении, $c_р = 0,24$ ккал/кг.^oC ;

$c_{тр}$ – теплоемкость тепло- или хладоносителя, ккал/кг.^oC ;

$c_к, c_п, c_у$ – соответственно коэффициенты теплоемкости пород кровли, почвы и угля, ккал/кг.^oC ;

$c_{ср}$ – средневзвешенное значение коэффициента теплоемкости, ккал/кг.^oC ;

$d_н$ – наружный диаметр трубопровода, м ;

$d_{вн}$ – внутренний диаметр трубопровода, м ;

$d^н$ – влагосодержание насыщенного воздуха, кг/кг;

G – средний весовой расход воздуха в выработке, кг/ч ;

$G_т$ – весовой дебит термальных вод, кг/ч ;

$G_{сж}$ – расход сжатого воздуха, кг/ч ;

$G_{тр}$ – расход тепло- или хладоносителя, кг/ч ;

q_v – удельное тепловыделение от окисления, ккал/$м^2$.ч;

H – глубина от поверхности расчетного пункта выработки, м;

H_1, H_2 – глубина от поверхности начального и конечного пунктов выработки, м;

ΔH – разность высотных отметок начала и конца расчетного участка выработки, м;

$K_з$ – коэффициент загрузки электродвигателя во времени ;

$K_{утв}$ – коэффициент, учитывающий утечки воздуха через выработанное пространство ;

$K_р$ – коэффициент разрыхления транспортируемого ископаемого;

$K_{эо}$ – расход электроэнергии на один т.км, кВт.ч;

$K_в$ – коэффициент теплопередачи от воды к воздуху, ккал/$м^2$.ч.^oC

$K_{тр}$ – коэффициент теплопередачи неизолированного трубопровода, ккал/$м^2$.ч.^oC ;

$K_{ктр}, K_{ттр}$ – коэффициенты теплопередачи трубопроводов соответственно с хладо- и теплоносителем, ккал/$м^2$.ч.^oC ;

$K_с$ – коэффициент нестационарного теплообмена между горным массивом и воздухом, ккал/$м^2$. ч.^oC;

$K_{т_з}$ – коэффициент нестационарного теплообмена между угольным забоем и воздухом, ккал/$м^2$.ч.^oC ;

$K_{с_л}$ – коэффициент нестационарного теплообмена между углем на конвейере и воздухом в лаве, ккал/$м^2$.ч.^oC ;

$K_{т_{п,к}}$ – коэффициент нестационарного теплообмена соответственно пород почвы и кровли, ккал/$м^2$.ч.^oC ;

$K_{т_в}$ – коэффициент нестационарного теплообмена между породами выработанного пространства и воздухом, ккал/$м^2$.ч.^oC ;

L – длина горной выработки, м ;

$m_э$ – коэффициент электрических потерь ;

N – установленная мощность электродвигателей, кВт ;

$N_{пн}$ - установленная мощность пневмодвигателя, л.с.;
$N_п$ - потребляемая мощность, кВт ;
$N_ч$ - часовая мощность комбайна, кВт ;
P - барометрическое давление воздуха в горной выработке, мм рт.ст. ;
$P^{t_в}_н$ - парциальное давление насыщенных водяных паров в воздухе при температуре шахтной воды, мм рт.ст.;
$P^{t_1}_н$ - парциальное давление насыщенных паров при температуре воздуха в начале выработки, мм рт.ст.;
$P_н$ - парциальное давление насыщенных водяных паров в воздухе при температуре стенки трубопровода, мм рт.ст;
Q - количество воздуха, поступающего на выемочный участок, $м^3$/мин;
$Q_{оч}$ - количество воздуха, проходящего по рабочему пространству лавы, $м^3$/мин;
$\sum Q_{ми}$ - тепловыделения местных источников в выработке, ккал/ч;
R_0 - эквивалентный радиус выработки, м;
$R_в$ - радиус эквивалентного вагонетке шара, м;
r - скрытая теплота испарения воды, r = 0,59 ккал/кг;
r' - скрытая теплота плавления льда, r' = 0,08 ккал/кг;
$F_в$ - поверхность теплоотдачи шахтной воды, $м^2$;
S - сечение горной выработки, $м^2$;
$S_{тр}$ - площадь поперечного сечения транспортируемого ископаемого, $м^2$.
$S_{ваг}$ - площадь поперечного сечения вагонетки, $м^2$;
U - периметр среднего сечения выработки, м;
$U_в$ - периметр вагонетки, м ;
$U_{тр}$ - внешний периметр трубопровода, м;
$U_{хтр}, U_{ттр}$ - соответственно периметры охлаждающего, греющего трубопровода, м;
τ - расчетное время проветривания выработки, ч ;
$\tau_з$ - расчетное время проветривания угольного забоя лавы, ч;
$\tau_п$ - среднее время, затрачиваемое на снятие одной полосы угля по длине лавы в течение цикла с учетом ремонтно-подготовительных операций, ч;
$\tau_{зо}$ - продолжительность работы электровозной откатки, ч/сутки;
t - температура воздуха в выработке, °С ;
$t_{ср}$ - средняя температура воздуха на расчетном участке выработки, °С ;
t_1, t_2 - температура воздуха соответственно в начале и конце выработки, °С ;
$t_{зп}$ - средняя температура земной поверхности геотермического участка, в пределах которого находится шахтное поле, °С ;
$t_п$ - естественная температура горных пород, °С ;
$t_{пср}$ - средняя по длине выработки естественная температура горных пород, °С ;
$t_т$ - температура термальных вод, °С ;
$t_т$ - средняя температура воды в канавке на расчетном участке, °С;
$t_в$ - температура сжатого воздуха в трубопроводе перед пневмодвигателем, °С ;
$t_{а_1}, t_{ст_2}$ - температура поверхности выработки соответственно в начале и конце участка, °С ;
$t_{тр}$ - температура поверхности трубопровода, °С ;
φ - относительная влажность воздуха, в долях единицы ;
$\varphi_{ср}$ - средняя относительная влажность воздуха, в долях единицы;
φ_1, φ_2 - относительная влажность воздуха в начале и конце выработки, в долях единицы;

v – скорость движения воздуха, м/сек ;
$v_{ср}$ – средняя скорость движения воздуха в выработке, м/с;
v_1, v_2, v_3 – скорость движения воздуха соответственно по первой, второй, третьей технологическим дорогам лавы, м/с ;
$v_л$ – скорость движения конвейерной ленты, м/с ;
$v_в$ – скорость движения воды в канавке, м/с ;
$V_в$ – объем вагонетки, м^3 ;
$\delta_{кр}$ – толщина крепи, м ;
$\delta_к$ – толщина покрытия канавки, м;
α – коэффициент теплоотдачи от поверхности выработки к воздуху, ккал/м^2.ч.^{0}С ;
$\alpha_ц$ – среднее значение коэффициента теплоотдачи от поверхности вагонеток с полезным ископаемым за период пребывания их в выработке, ккал/м^2.ч.^{0}С ;
α_1 – коэффициент теплоотдачи от воды к покрытию канавки, ккал/м^2.ч.^{0}С ;
$\alpha_к, \alpha_р, \alpha_м$ – соответственно конвективная, радиационная и массообменная составляющие коэффициента теплоотдачи от трубопровода к воздушному потоку, ккал/м^2.ч.^{0}С ;
α_θ – коэффициент теплоотдачи от подвижного агента в трубопроводе к его стенке, ккал/м^2.ч.^{0}С ;
$\alpha_{тр}$ – коэффициент теплоотдачи от трубопровода к воздушному потоку, ккал/м^2.ч.^{0}С ;
λ – коэффициент теплопроводности горных пород, ккал/м.ч.^{0}С ;
$\lambda_{эф}$ – эффективное значение коэффициента теплопроводности пород, ккал/м.ч.^{0}С ;
$\lambda_к, \lambda_п, \lambda_ц$ – соответственно коэффициенты теплопровдности пород кровли, почвы и угля, ккал/м.ч.^{0}С ;
$\lambda_{тр}$ – коэффициент теплопроводности материала трубопровода, ккал/м.ч.^{0}С ;
$\lambda_{кр}$ – коэффициент теплопроводности крепи, ккал/м.ч.^{0}С ;
γ – плотность рудничного воздуха, кг/м^3 ;
$\gamma_в$ – плотность воды, кг/м^3;
$\eta_р$ – к.п.д. редуктора ;
$\eta_{дв}$ – к.п.д. двигателя;
$\eta_м$ – механический к.п.д. насосов, маслонасосов;
θ_1 – температура подвижного агента в трубопроводе в начале выработки, ^{0}С ;
θ_2 – температура подвижного агента в трубопроводе в конце выработки, ^{0}С ;
$\theta_{тср}, \theta_{хср}$ – среднее значение температуры подвижного агента в трубопроводе на расчетном участке выработки, ^{0}С ;
ξ – коэффициент влаговыпадения ;
φ – угол наклона выработки, град ;
ξ – коэффициент шероховатости ;
δ – геотермический градиент, ^{0}С/м ;
$\Phi_п$ – охлаждающий эффект расширения воздуха в [illegible], ккал/ч.

Критерии теплового подобия:

Fo – Фурье; Ku – Кирпичева;
Bi – Био; Ko – Коссовича.

I. МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ ГЛУБОКИХ ШАХТ

I.I. *Выбор исходных данных*

Тепловому расчету горных выработок должны предшествовать анализ горногеологических и горнотехнических условий разработки (схем вскрытия и подготовки месторождения, схем проветривания, схем транспортирования полезного ископаемого); определение теплово-влажностных параметров воздуха, подаваемого в шахту; установление значений относительной влажности воздуха в горных выработках; определение для каждой выработки геометрических и технических характеристик (длины, угла наклона, площади и периметра сечения, вида крепи); расхода воздуха; наличия местных источников тепла (машины и механизмы, транспорт добытого ископаемого и пород, шахтная вода и др.); естественной температуры горных пород, окружающих выработку, и их теплофизических свойств, а также времени проветривания горных выработок.

I.I.I. Геометрические характеристики выработок принимаются по данным технологических проектов или шахтных замеров.

I.I.I.I. Периметр среднего сечения выработки определяется по формуле

- для трапециевидного крепления

$$U = 4{,}16\sqrt{S}\ ; \qquad (I.I)$$

- для арочного крепления

$$U = 3{,}8\sqrt{S}\ . \qquad (I.2)$$

I.I.I.2. Эквивалентный радиус выработки определяется по формуле

$$R_э = \frac{2S}{U}\ . \qquad (I.3)$$

I.I.2. Расход воздуха по выработкам принимается по результатам шахтных замеров, а при их отсутствии определяется по проекту вентиляции шахты.

Количество воздуха, поступающего на проветривание лав, рассчитывается с учетом воздухораспределения в пределах выемочных участков

$$Q_{оч} = \frac{Q}{K_{утв}} . \qquad (I.4)$$

Значение коэффициента утечек воздуха $K_{утв}$ принимается в зависимости от принятой схемы проветривания выемочного участка, способа управления кровлей, состава вмещающих боковых пород (см. "Инструкция по расчету количества воздуха, необходимого для проветривания действующих угольных шахт", табл. 3I или "Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт", табл. 22).

I.I.3. Скорость движения воздуха по технологическим дорогам лав на пологом падении определяется по формулам:

- для лав, оборудованных механизированными комплексами:

I дорога

$$v_1 = (1{,}10 \div 1{,}15) v_{ср} ; \qquad (I.5)$$

II дорога

$$v_2 = (0{,}60 \div 0{,}65) v_{ср} ; \qquad (I.6)$$

- для лав с индивидуальной крепью:

I дорога

$$v_1 = (1{,}10 \div 1{,}20) v_{ср} ; \qquad (I.7)$$

II дорога

$$v_2 = (0{,}80 \div 0{,}90) v_{ср} ; \qquad (I.8)$$

III дорога

$$v_3 = (0{,}75 \div 0{,}80) v_{ср} , \qquad (I.9)$$

где $v_{ср}$ – средняя скорость воздуха в рабочем пространстве лавы, м/с; вычисляется по формуле

$$v_{ср} = \frac{Q_{оч}}{60 \cdot S_л} , \qquad (I.I0)$$

Таблица I.I

Среднемесячные тепловлажностные параметры атмосферного воздуха для Донецкого бассейна

Тепловлажностные параметры воздуха	ЯНВАРЬ	ФЕВРАЛЬ	МАРТ	АПРЕЛЬ	МАЙ	ИЮНЬ	ИЮЛЬ	АВГУСТ	СЕНТЯБРЬ	ОКТЯБРЬ	НОЯБРЬ	ДЕКАБРЬ	СРЕДНЕГОДОВЫЕ
			Западный район										
Температура воздуха, °С	-5,4	-5,6	-I,4	8,6	I5,9	20,I	2[illegible],8	2I,0	I4,6	7,6	I,I	-3,I	7,9
Относительная влажность, в долях ед.	0,89	0,86	0,82	0,65	0,58	0,57	0,58	0,57	0,63	0,75	0,85	0,90	0,72
			Среднедонецкий район										
Температура воздуха, °С	-6,5	-6,8	-2,8	7,8	I5,2	I9,7	2I,5	20,5	I4,I	7,0	-0,4	-4,I	7,I
Относительная влажность, в долях ед.	0,93	0,9I	0,86	0,67	0,60	0,59	0,59	0,58	0,64	0,77	0,87	0,92	0,74
			Северо-восточный район										
Температура воздуха, °С	-5,6	-6,0	-1,6	9,0	I6,4	20,7	22,4	2I,5	I4,6	7,8	0,4	-3,0	8,I
Относительная влажность, в долях ед.	0,84	0,82	0,79	0,63	0,56	0,55	0,56	0,57	0,62	0,75	0,80	0,85	0,69
			Восточный район										
Температура воздуха, °С	-6,0	-6,I	-1,3	9,4	I6,8	2I,2	23,0	22,I	I5,3	8,I	0,6	-3,0	8,3
Относительная влажность, в долях	0,89	0,86	0,83	0,63	0,57	0,54	0,54	0,54	0,62	0,75	0,80	0,88	0,70

где $S_{\text{п}}$ – площадь поперечного сечения призабойного пространства лавы, м^2.

I.I.4. Скорость движения воздуха по технологическим дорогам в лавах крутопадающих пластов принимается равной средней скорости движения в рабочем пространстве лавы.

I.I.5. Значения температуры и относительной влажности атмосферного воздуха на поверхности шахт принимаются по данным многолетних наблюдений ближайших метеостанций. Эти значения для условий Донбасса приведены в табл. I.I. Район, к которому относится шахта, определяется по схематической карте метеорологического районирования (рис. I.I).

При тепловых расчетах для летнего периода года в найденные по табл. I.I среднемесячные значения параметров атмосферного воздуха вносятся соответствующие поправки из табл. I.2 в зависимости от расположения рассматриваемой шахты на местности.

Таблица I.2

Поправки на изменение параметров воздуха, поступающего в шахту, в зависимости от расположения шахты на местности

Группы шахт	Повышение температуры, °С	Снижение относительной влажности, в долях единицы
I. группа. Шахты расположены в больших промышленных городах не более I км от крупных промышленных объектов	2,0	0,06
2 группа. Шахты расположены в застроенной части города без промышленных объектов, на окраине города и не более I км от него	I,5	0,04
3 группа. Шахты расположены в полевых условиях более I км от города.	I,0	0,02
4 группа. Шахты расположены в вогнутой форме рельефа.	2,0	0,07



Рис. I.I. Схематическая карта метеорологического районирования Донбасса

I.I.6. Барометрическое давление воздуха в горной выработке определяется по формуле

$$P = P_0 + 0{,}09\,H, \qquad (I.II)$$

где P_0 – среднемесячное давление воздуха, поступающего в шахту, мм рт. ст.; рассчитывается по формуле

$$P_0 = P_{см} - \frac{H_0 P_{см}}{8000(1+0{,}004\,t_{см})}, \qquad (I.I2)$$

где H_0 – абсолютная отметка устья воздухоподающего ствола относительно уровня моря, которая определяется по гипсометрической карте шахты, м;

$t_{см}$ – среднемесячная температура атмосферного воздуха, °С; определяется по табл. I.I и I.2;

$P_{см}$ – среднемесячное значение атмосферного давления, приведенного к уровню моря, мм рт.ст.; определяется по табл. I.3.

Таблица I.3

Среднемесячное атмосферное давление воздуха, приведенное к уровню моря

Месяцы	I	II	III	IУ	У	УI
Атмосферное давление, мм рт.ст.	765,8	765,4	763,8	76I,6	76I,4	759,I

Месяцы	УII	УIII	IX	X	XI	XII
Атмосферное давление, мм рт.ст.	758,4	759,9	763,2	765,5	766,4	766,I

I.I.7. Относительная влажность воздуха в горных выработках принимается по данным шахтных замеров.

При отсутствии последних относительную влажность рекомендуется принимать в зависимости от геологических характеристик вмещающих горных пород и ожидаемого притока шахтной воды. Значения относительной влажности принимаются:

I.I 7.I. В околоствольных дворах: при отсутствии притоков шахтной воды - 0,50 ÷ 0,70; при притоке воды до 5,0 м^3/ч - 0,70 ÷ 0,85; при притоке до 20 м^3/ч - 0,85 ÷ 0,95; при большем водопритоке - 0,95 ÷ I,0.

I.I.7.2. В основных воздухоподающих выработках: сухих - 0,55 ÷ 0,65; с влажной почвой или капежом на отдельных участках - 0,70 ÷ 0,80; обводненных - 0,8 ÷ 0,9.

I.I.7.3. В участковых выработках: сухих - 0,70 ÷ 0,75; с конвейерным транспортом, влажной почвой или капежом на отдельных участках - 0,8 ÷ 0,9; обводненных - 0,90÷0,95.

I.I.7.4. В начале и конце лав, в зависимости от вида выполняемых работ технологического цикла по добыче угля и влажностного состояния горного массива, по табл. I.4.

Таблица I.4

Средние значения относительной влажности воздуха в начале лав и темп ее изменения по длине

Вид работ в лаве	Уровень относительной влажности воздуха на входе в лавы, в долях единицы		Величина изменения относительной влажности на 100 м длины лавы, в долях единицы	
	"сухие"	"влажные" *	"сухие"	"влажные" *
Ремонтная смена	0,735	0,89	-0,018	0,025
Добычная смена	0,705	0,88	0,038	0,033

* К "влажным" относятся лавы с повышенной естественной влажностью угольного пласта (более 5%); лавы, кровля или почва которых представлена породами, насыщенными инфильтрационной водой (капиллярной или свободной) или породами, обладающими большой водоемкостью (мелом или водоудерживающей способностью (например, известняками).

I.I.8. Относительная влажность воздуха при обратных тепловых расчетах и проектировании искусственного охлаждения в пределах выемочного участка принимается в зависимости от доли обрабатываемого воздуха в воздухоохладителе и удаления пункта охлаждения от лавы.

Значения относительной влажности воздуха и темпы ее изменения в воздухоподающих выработках при удалении пункта охлаждения от лавы не более I50 м для наиболее характерных случаев приведены в табл. I.5. При большем удалении значения относительной влажности принимаются согласно п. I.I.7.3.

Таблица I.5

Относительная влажность воздуха и темп ее изменения в участковых воздухоподающих выработках при искусственном охлаждении

Доля воздуха, обрабатываемого в воздухоохладителе от поступающего по выработке, %	Относительная влажность воздуха в воздухоподающей выработке за пунктом охлаждения, в долях единицы	Снижение относительной влажности на I00 м длины воздухоподающей выработки,* в долях единицы	
		"сухие"	"влажные"
95 - I00	0,98 - I,00	0,I2 - 0,I5	0,04 - 0,05
65 - 70	0,9I - 0,94	0,09 - 0,II	0,02 - 0,03

* Нижний предел снижения относительной влажности принимается для выработок на глубине до 900 м, верхний - на глубине более I000 м.

Величина изменения относительной влажности воздуха по длине лавы принимается согласно п.I.I.7.4.

I.I.9. Естественная температура горного массива в начале каждой выработки определяется по формуле

$$t_п = t_{зп} + \frac{H}{\Gamma_{ср}}, \qquad (I.I3)$$

Значения величин $t_{зп}$ и $\Gamma_{ср}$ для отдельных геотермических участков Донецкого бассейна приведены в табл. П.I.I, П.I.2.

I.I.IO. Теплофизические свойства горных пород (теплопроводность λ, температуропроводность a, удельная теплоемкость c) принимаются в соответствии с данными исследований, полученными для соответствующих горнопромышленных районов или шахтных полей. При отсутствии последних можно пользоваться средними значениями. Для Донбасса теплофизические характеристики основных вмещающих пород приведены в табл. I.6.

Таблица I.6

Средние значения теплофизических характеристик горных пород для условий Донбасса

Наименование горной породы	Плотность, кг/м³	Теплофизические свойства		
		$a \cdot 10^4$, м²/ч	λ, ккал/м.ч.°С	c, ккал/кг.°С
Песчаник	2440	43,7	2,20	0,204
Глинистый или песчанистый сланцы	2570	29,3	I,52	0,2I6
Уголь	I225	7,4	0,25I	0,283
Известняк	2478	I6,0	0,846	0,2I2

В случае, когда выработки (кроме лав) окружает неоднородный горный массив, вместо λ, c и a следует использовать их средневзвешенные значения $\lambda_{ср}$, $c_{ср}$, $a_{ср}$

$$\lambda_{ср} = \frac{\lambda_к U_к + \lambda_п U_п + \lambda_у U_у}{U_к + U_п + U_у}; \qquad (I.I4)$$

$$c_{ср} = \frac{c_к U_к + c_п U_п + c_у U_у}{U_к + U_п + U_у}; \qquad (I.I5)$$

$$a_{ср} = \frac{a_к U_к + a_п U_п + a_у U_у}{U_к + U_п + U_у}. \qquad (I.I6)$$

I.I.II. Расчетное время теплообмена между породным массивом и воздухом.

I.I.II.I. Воздухоподающих горных выработок

$$\tau = \frac{\tau_н + \tau_к + 2\sqrt{\tau_н \tau_к}}{4}, \qquad (I.17)$$

где $\tau_н, \tau_к$ – соответственно время проветривания начала и конца расчетного участка выработки, ч.

Под временем проветривания любого пункта выработки подразумевается продолжительность существования этого пункта от момента прохождения до расчетного момента.

I.I.II.2. Лав при пологом падении пласта:

– угольного забоя

$$\tau_з = 0{,}25\,\tau_п; \qquad (I.18)$$

– кровли и почвы пласта:

I дорога

$$\tau_1 = 0{,}25\,n_1\tau_п; \qquad (I.19)$$

II дорога

$$\tau_2 = \frac{\tau_п (n_1 + n_2 + 2\sqrt{n_1 n_2})}{4}; \qquad (I.20)$$

III дорога

$$\tau_3 = \frac{\tau_п (n_2 + n_3 + 2\sqrt{n_2 n_3})}{4}, \qquad (I.21)$$

где n_1 – количество полос, равных ширине выемки или глубине вруба выемочного механизма, вмещающихся по ширине первой дороги;

n_2 – тоже, по ширине первой и второй дорог;

n_3 – тоже, по ширине первой, второй и третьей дорог.

Если по ширине дороги размещается не целое число полос, их количество следует округлять до целого.

Для породного массива со стороны выработанного пространства расчетное время теплообмена принимается равным времени теплообмена последней дороги и определяется в зависимости от количества дорог по формулам (I.20) или (I.2I).

I.I.II.3. Лав при крутом падении пласта:

- угольного забоя

$$\tau_з = 0{,}25\,\tau_п \quad ; \tag{I.22}$$

- кровли и почвы пласта

$$\tau_{к,п} = 0{,}25\,n_{кр}\tau_п \; ; \tag{I.23}$$

- выработанного пространства

$$\tau_в = \frac{\tau_п\left[0{,}5 + n_{кр} + \sqrt{n_{кр}(n_{кр}+1)}\right]}{2} , \tag{I.24}$$

где $n_{кр}$ – количество полос, равных ширине выемки или глубине вруба выемочного механизма, смещающихся по ширине призабойного пространства лавы.

I.2. Расчет тепловыделений местных источников в горных выработках.

I.2.I. Тепловыделения при работе электрических машин, механизмов и оборудования (ккал/ч).

I.2.I.I. Тепловыделения от электрических потерь ($Q_э$). К ним относятся тепловыделения от трансформаторов, освещения, кабелей и др.

$$Q_э = 860\,N_п m_э . \tag{I.25}$$

Коэффициент электрических потерь принимается для трансформаторов $m_э = 0{,}05$, для осветительных приборов $m_э = I{,}0$, для кабелей $m_э = 0{,}0I$ на I000 м длины кабеля.

I.2.I.2. Тепловыделения при работе лебедок:

- при подъеме груза по наклонным и вертикальным выработкам

$$Q_{лп} = 860N\frac{A_ф}{A_н}\xi_д - 2{,}34A_{ф}\Delta H , \tag{I.26}$$

где $A_ф, A_н$ – соответственно фактическая и номинальная нагрузка на лебедку, т/ч;

$\xi_л$ – эмпирический коэффициент, $\xi_л = 0,8$;

– при спуске груза

$$Q_{л0} = 860 N \frac{A_ф}{A_н} \xi_л . \qquad (I.27)$$

I.2.I.3. Тепловыделения при работе насосов

$$Q_н = 860 (1 - \eta_м) N k_з , \qquad (I.28)$$

где

$$\eta_м = \eta_р \cdot \eta_{дв} . \qquad (I.29)$$

I.2.I.4. Тепловыделения при электровозной откатке

$$Q_{эо} = 860 \frac{A_c L_о k_{эо}}{\tau_{эо}} , \qquad (I.30)$$

где A_c – количество груза, проходящего по расчетной выработке в сутки, т/сутки;

$L_о$ – длина участка транспортирования, км.

Расход электроэнергии на I т.км, в среднем принимается $k_{эо} = 0,I5 + 0,2$ кВт.ч.

I.2.I.5. Тепловыделение при работе электродвигателей конвейера:

– в пунктах установки приводных головок конвейера

$$Q_э = 860 N \frac{A_ф}{A_н} (1 - \eta_{дв} \eta_р); \qquad (I.31)$$

– от трения по длине конвейера

$$Q_{тр} = 860 N \frac{A_ф}{A_н} \eta_{дв} \eta_р \pm 2,34 A_ф \Delta H . \qquad (I.32)$$

В формуле (I.62) знак "+" принимается при перемещении ископаемого вниз, а знак "–" при транспортировке его вверх.

I.2.I.6. Тепловыделение при работе маслостанций гидросистем механизированных крепей

$$Q_{мс} = 860 N_м K_{мс} , \qquad (I.33)$$

где $N_м$ – мощность, расходуемая на создание энергии потока жидкости в гидросистеме, кВт;

$K_{мс}$ – коэффициент загрузки одновременно работающих электродвигателей маслостанции во времени; определяется по планограмме работ лавы.

По источникам выделения тепла:

– в пункте размещения маслостанции

$$Q'_{мс} = 860 N_м K_{мс} (1 - \eta_ф \eta_m); \qquad (I.34)$$

– гидросистем механизированных крепей в лаве

$$Q_{гс} = 860 N_м \eta_ф \eta_m K_{мс} , \qquad (I.35)$$

где η_m – механический кпд маслонасоса.

Коэффициенты полезного действия механизмов принимаются по их техническим характеристикам.

I.2.I.7. Тепловыделение при работе комбайна или струговой установки

$$Q_к = 860 N_ч \frac{A_ф}{A_н} \xi_к , \qquad (I.36)$$

где $\xi_к$ – эмпирический коэффициент, принимаемый при работе комбайна равным 0,5 ÷ 0,6, при работе струга 0,8 ÷ 0,85.

I.2.2. Тепловыделения от шахтной воды в канавках.

I.2.2.I. При открытой канавке

$$Q_в = F_в \alpha (t_в - t_1) + \beta \left(\rho_н^{t_в} - \varphi_{ср} \rho_н^{t_1} \right), \qquad (I.37)$$

где β – коэффициент теплоотдачи испарением, ккал/м^2.ч. мм рт.ст.,

определяется по формуле

$$\beta = \alpha \frac{1500 + 2{,}75(t_в + t_1)}{\rho}. \qquad (I.38)$$

Температура шахтной воды принимается по данным замеров. При отсутствии замеров в расчет принимается перепад температуры между шахтной водой и воздухом $\Delta t_в = t_в - t_1$:

- в выработках, расположенных на расстоянии до 500 м от ствола - 4 ÷ 5°С ;
- в выработках, удаленных на расстояние до I500 м от ствола - 3 ÷ 4°С ;
- в выработках, удаленных от ствола на расстояние свыше I500 м - I,5 ÷ 2,5°С ;
- в участковых откаточных выработках - I,0 - I,5°С.

Величина коэффициента теплоотдачи определяется по формуле

$$\alpha = 2\varepsilon(\gamma v)^{0,8}\left(\frac{U}{S}\right)^{0,2}. \qquad (I.39)$$

Коэффициент шероховатости принимается для выработок с монолитной бетонной крепью $\varepsilon = I{,}0$; для выработок с металлической, железобетонной и деревянной крепью со сплошной затяжкой $\varepsilon = I{,}5$; с той же крепью без затяжки $\varepsilon = 2{,}0$; для выработок без крепи $\varepsilon = 2{,}5$; для лав $\varepsilon = 2{,}5 - 3{,}5$.

$$\gamma = 0{,}464\,\frac{\rho - \varphi_{ср} p_н^{ср}}{273 + t}, \qquad (I.40)$$

где $p_н^{ср}$ - среднее парциальное давление насыщенных водяных паров в диапазоне изменения температуры воздуха в выработке, мм рт.ст.;
определяется по табл. I.I0 подраздела I.5.

Значения $p_н^{t_в}$ $p_н^{t_1}$ определяются по табл. П.2 или рассчитываются по формуле

$$p_н^t = \exp\left(\frac{360 + 18{,}7t}{236 + t}\right). \qquad (I.4I)$$

I.2.2.2. При закрытой канавке

$$Q_в = F_в K_в (t_в - t_1), \qquad (I.42)$$

где

$$K_t = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \frac{\delta_к}{\lambda_к} + \frac{1}{\alpha_1}}, \qquad (I.43)$$

α – коэффициент теплоотдачи от поверхности покрытия к воздуху (общий для выработки в целом), ккал/м^2.ч.^{0}С ;

$\lambda_к$ – коэффициент теплопроводности покрытия канавки, ккал/м.ч.^{0}С ;

α_1 – коэффициент теплоотдачи от воды к покрытию канавки, ккал/м^2.ч.^{0}С ; определяется по формуле

$$\alpha_1 = A_{t_t} \frac{(V_t \cdot v_t)^{0,8}}{d_{экв}^{0,2}}, \qquad (I.44)$$

где A_{t_t} – коэффициент, учитывающий теплофизические свойства воды;

$d_{экв}$ – эквивалентный диаметр канавки, принимаемый равным ширине канавки, м.

Коэффициент, учитывающий теплофизические свойства воды A_{t_t}, принимается по табл. I.7.

Таблица I.7.

Значения коэффициента A_{t_t}

Температура воды, ^{0}С	0	20	40	60
A_{t_t}	4,91	6,45	7,98	9,30

I.2.3. Тепловыделения при работе пневматических механизмов

$$Q_п = 632 N_{пн} \frac{A_ф}{A_н} \pm 2,34 A_{ф_i} H - \varphi_п ; \qquad (I.45)$$

$$\varphi_п = G_{см} \left[c_p (t - t_{отр}) + r (\varphi d_t^н - d_{отр}^н) \right], \qquad (I.46)$$

где t – температура окружающего воздуха в пункте размещения пневматической машины, ^{0}С ;

$d_t^н$ – влагосодержание насыщенного воздуха при температуре t, кг/кг;

$d^{н}_{отр}$ – влагосодержание насыщенного отработанного воздуха на выходе из пневмодвигателя при $t_{отр}$, кг/кг.

Температура отработанного воздуха

$$t_{отр} = (t_{сж} + 273)\left(\frac{P_{отр}}{P_{сж}}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 273, \qquad (I.47)$$

$P_{сж}$, $P_{отр}$ – соответственно давление сжатого воздуха перед и после пневмодвигателя, кгс/см^2;

κ – показатель политропы, принимается равным $\kappa \approx 1{,}2$.

Температура сжатого воздуха в трубопроводе перед пневмодвигателем принимается равной температуре воздуха в выработке.

I.2.4. Тепловыделения от транспортируемого ископаемого.

I.2.4.I. При конвейерной транспортировке в лаве

$$Q_л = 1{,}2\, K_{т_л} b_л L_к (t_п - \Delta t' - t_1), \qquad (I.48)$$

где $L_к$ – длина конвейера, м;

$\Delta t'$ – снижение температуры угля в зоне выемки вследствие десорбции метана и предварительного увлажнения угольного массива, ^{0}С; $\Delta t' = 1{,}5 - 3{,}5^0$С для пластов марок ОС, К, К; $\Delta t' = 0{,}5 - 1{,}0^0$С для антрацитов и полуантрацитов.

I.2.4.2. При конвейерной транспортировке по выработкам

$$Q_{кв} = K_{т_т} U_т L_к (t'_п - t_1), \qquad (I.49)$$

где $t'_п$ – температура транспортируемого ископаемого на расчетном участке, ^{0}С;

$U_т$ – периметр поперечного сечения насыпки ископаемого на конвейере, м.

Для всех видов конвейеров $U_т$ рассчитывается по формуле

$$U_т = 0{,}11\sqrt{\frac{A_ф}{v_л}}, \qquad (I.50)$$

где $A_ф$ – фактическая нагрузка на конвейер, т/ч.

В выработке, примыкающей к лаве, температура $t'_п$ определяется

по формуле

$$t'_{п} = t_{п} - \Delta t' - \frac{Q_{\Delta}}{A_{ф} C_{у}} \cdot \qquad (I.51)$$

Значение $t'_{п}$ для следующих по направлению транспортирования расчетных участков находится из выражения

$$t'_{п_{(i+1)}} = t'_{п_i} - \frac{Q_{нбi}}{A_{ф} C_{у}} \cdot \qquad (I.52)$$

где $Q_{нбi}$ – тепловыделение от транспортируемого ископаемого на последующем за расчетным участке, ккал/ч ;

$t'_{п_i}$ – температура транспортируемого ископаемого на последующем за расчетным участке, ^{0}C.

I.2.4.3. При транспортировке полезного ископаемого по выработкам в вагонетках

$$Q_{тб} = A_{ф} C_{у} (\theta_{vн} - \theta_{vк})(t'_{п} - t_{i}), \qquad (I.53)$$

где $A_{ф}$ – фактическое количество транспортируемого ископаемого на расчетном участке, кг/ч ;

$\theta_{vн}, \theta_{vк}$ – средние по объему вагонетки безразмерные температуры ископаемого в начале и конце расчетного участка;

$t'_{п}$ – начальная температура ископаемого, загружаемого в вагонетки, ^{0}C.

На расчетном участке с погрузкой ископаемого у лавы температура $t'_{п}$ определяется по формуле (I.51), у других пунктов – по формуле (I.52).

Расчет величин $\theta_{vн}, \theta_{vк}$ производится в следующем порядке:

– определяется средняя скорость движения воздуха в выработке относительно вагонеток с ископаемым

$$v_{отн} = \frac{v_{ср} \tau_{по} + (v_{ср} \pm v_{тр})(\tau_{тр} - \tau_{по})}{\tau_{тр}} , \qquad (I.54)$$

где $\tau_{по}$ – средняя продолжительность пребывания груженых вагонеток у погрузочного пункта и приемо-отправочной площадки, равная половине продолжительности погрузки состава у погрузочного пункта и стоянки на приемо-отправочной площадке, ч;

– время пребывания груженого состава на участке, ч.

$$\tau_{тр} = \tau_{по} + \frac{L}{3600\, v_{тр}}, \qquad (I.55)$$

где L – протяженность расчетного участка, м ;

$v_{тр}$ – скорость движения вагонетки, м/с; знак "+" принимается при встречном, "–" при попутном движении вагонеток и воздуха в выработке;

– определяется среднее значение коэффициента теплоотдачи от поверхности вагонеток с полезным ископаемым за период пребывания их в выработке:

$$\alpha_ц = 3\left(\gamma v_{отн}\right)^{0,58}\left(\frac{U + U_в}{S - S_в}\right)^{0,42}; \qquad (I.56)$$

– определяются значения критериев Био и Фурье, соответствующие условиям начала и конца движения груженых вагонеток на расчетном участке:

$$Bi_н = Bi_к = \frac{\alpha_ц R_в}{\lambda_у}; \qquad (I.57)$$

$$Fo_н = \frac{a_у \tau_{тр_н}}{R_в^2}; \qquad (I.58)$$

$$Fo_к = \frac{a_у \tau_{тр_к}}{R_в^2}, \qquad (I.59)$$

где $R_в$ – радиус эквивалентного вагонетке шара, м.

$$R_в = 0,62\sqrt[3]{V_в}; \qquad (I.60)$$

$\tau_{тр_н}$, $\tau_{тр_к}$ – соответственно продолжительность охлаждения вагонеток с ископаемым в начальном и конечном пунктах транспортирования ископаемого на расчетном участке, ч.

Значения $a_у$ и $\lambda_у$ принимаются по табл. П. 3.I.

Для расчетного участка, на котором производится загрузка вагонеток ископаемым $\tau_{тр_н} = 0$, а $\tau_{тр_к}$ определяется из выражения (I.55).

Для следующих по направлению транспортирования вагонеток расчетных участков

$$\tau_{тр н_{i+1}} = \overset{o}{\tau}_{тр н_i}; \qquad \tau_{тр к_{i+1}} = \tau_{тр н_{i+1}} + \tau_{тр}; \qquad (I.61)$$

- по табл. П. 3.2 определяется безразмерная средняя по объему вагонетки температура полезного ископаемого в начале θ_{VH} и в конце θ_{VK} расчетного участка.

I.2.5. Тепловыделения окислительных процессов.

Тепловыделения от окислительных процессов учитываются только в выработках шахт (кроме лав), разрабатывающих пласты угля, склонные к самовозгоранию, а также-интенсивному низкотемпературному окислению. Расчетная формула имеет вид

$$Q_o = q_o U L. \qquad (I.62)$$

Удельное тепловыделение от окисления в горных выработках q_o принимается по данным исследований для каждого пласта, склонного к самовозгоранию. При отсутствии таких данных во всех откаточных участковых выработках, пройденных по породе, удельное тепловыделение ориентировочно принимается равным 2-3 ккал/м^2.ч, а в выработках, пройденных по пласту - 4-5 ккал/м^2.ч.

I.2.6. Тепловыделения от работающих людей.

Количество тепла, выделяемого одновременно работающими на расчетном участке рабочими, определяется по формуле

$$Q_p = 250\, n_p, \qquad (I.63)$$

где n_p - количество одновременно работающих чел.

I.3. Расчет коэффициентов теплопередачи трубопроводов с тепло- и хладоносителем в горных выработках.

I.3.I. Коэффициенты теплопередачи неизолированных трубопроводов

$$K_{тр} = \frac{1}{\frac{d_н}{\alpha_в d_в} + \frac{\delta_{тр}}{\lambda_{тр}} + \frac{1}{\alpha_{тр}}}, \qquad (I.64)$$

Коэффициент теплоотдачи от стенки трубопровода к подвижному

агенту в трубе определяется по формуле

$$\alpha_\theta = A_\theta \frac{(\upsilon)^{0,8}}{d_{вн}^{0,2}}, \qquad (I.65)$$

где A_θ – коэффициент, зависящий от физических свойств хладоносителя и его температуры.

Значение коэффициента A_θ для различных хладоносителей определяется по формулам:

для воды

$$A_\theta = 1190 + 21,4\theta_1; \qquad (I.66)$$

для рассола $NaCl$, $CaCl_2$

$$A_\theta = (1190 + 21,4\theta_1)[1 - 1,35(\gamma_x - 1)], \qquad (I.67)$$

где γ_x – плотность хладоносителя, т/м^3.

Коэффициент теплоотдачи от трубопровода к воздушному потоку

$$\alpha_{тр} = \xi \alpha_к + \alpha_р, \qquad (I.68)$$

Конвективная составляющая коэффициента теплоотдачи определяется по формуле

$$\alpha_к = 3,16 \frac{\upsilon^{0,8}}{d_н^{0,2}}, \qquad (I.69)$$

где υ – скорость движения воздуха в месте расположения трубопровода, м/с; определяется по формуле

$$\upsilon = a_т \upsilon_{ср}, \qquad (I.70)$$

где $a_т$ – коэффициент, учитывающий место расположения трубопроводов хладоносителя в выработке принимается из табл.I.2

Таблица I.8

Значения коэффициента, учитывающего расположение трубопровода в выработке

Расстояние трубопровода от стенки выработки, м	Значение коэффициента $\alpha_т$
Более 0,4	I,0
0,25 - 0,4	0,7 - 0,9
0,I - 0,2	0,6

Коэффициент влаговыпадения для условий шахтных выработок рассчитывается по формуле

$$\xi = 1 + \frac{70{,}1}{p}\varphi_{ср}\left(t_{0{,}54} + t_{ср}\right), \qquad (I.7I)$$

где $t_{ср}$ - среднее значение температуры воздуха в выработке, °С.

Если температура подвижного агента в трубопроводе выше температуры воздуха в выработке, то $\xi = I{,}0$.

Радиационная составляющая коэффициента теплоотдачи от трубопровода к воздуху определяется по формуле

$$\alpha_р = \frac{4{,}46\left[\left(\frac{t_{ст}+273}{100}\right)^4 - \left(\frac{t_{тр}+273}{100}\right)^4\right]}{t_1 - \theta_1}, \qquad (I.72)$$

где

$$t_{ст} = t_1 + \frac{K'_т}{\alpha}\left(t_п - t_1\right); \qquad (I.73)$$

$$t_{тр} = t_1 - \frac{K'_{тр}}{\alpha_к}\left(t_1 - \theta_1\right), \qquad (I.74)$$

$K'_{тр}$ - коэффициент теплопередачи от подвижного агента в трубопроводе к воздуху, ккал/м^2.ч.°С.

$$K'_{тр} = \frac{1}{\frac{d_н}{\alpha_в d_в} + \frac{\delta_{тр}}{\lambda_{тр}} + \frac{1}{\alpha_к}}. \qquad (I.75)$$

Коэффициент теплоотдачи от горного массива к воздуху определяется по формуле (I.3°).

I.4. Расчет коэффициентов нестационарного теплообмена между горным массивом и воздухом в выработках

I.4.I. Коэффициент нестационарного теплообмена в выработках, проветриваемых более года

$$K_\tau = \frac{1}{1 + \frac{\lambda}{2\alpha R_0}} \left[\frac{\lambda}{2R_0} + \frac{\lambda}{\sqrt{\pi a \tau}\left(1 + \frac{\lambda}{2\alpha R_0}\right)} \right]. \qquad (I.76)$$

Для выработок, закрепленных вполошную (кирпич, бетон, дерево) коэффициент теплоотдачи α в формулах для коэффициента K_τ следует заменять коэффициентом теплопередачи

$$K' = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \frac{\delta_{кр}}{\lambda_{кр}}}, \qquad (I.77)$$

где K' – коэффициент теплопередачи для выработок, закрепленных вполошную, ккал/м^2.ч.^{0}С.

Значения теплофизических свойств крепежных материалов приведены в табл. П.4.I.

I.4.2. Коэффициент нестационарного теплообмена в выработках, проветриваемых менее года

$$K_\tau = \alpha \left[1 - \frac{Bi}{Bi'} f(z) \right], \qquad (I.78)$$

где

$$Bi = \frac{\alpha R_0}{\lambda} \quad ; \qquad (I.79)$$

$$Bi' = Bi + 0{,}375 \quad ; \qquad (I.80)$$

$$z = 3i\sqrt{Fo} \quad ; \qquad (I.81)$$

$$Fo = \frac{a\tau}{R_0^2} \quad , \qquad (I.82)$$

$f(z)$ – функция обобщенного числа гомохронности.

Значение функции $f(\bar{z})$ определяется по табл. I.9 или рассчитывается по формулам:

$$f(\bar{z}) = \frac{1{,}0774\bar{z} - 0{,}0064}{\bar{z} + 0{,}8773}; \quad \text{при } 0 < \bar{z} \leq 2; \qquad (I.83)$$

$$f(\bar{z}) = \frac{1{,}0011\bar{z} - 0{,}2575}{\bar{z} + 0{,}3406}; \quad \text{при } 2 < \bar{z} \leq 30; \qquad (I.84)$$

$$f(\bar{z}) = 1 - \frac{0{,}56}{\bar{z}}; \quad \text{при } \bar{z} > 30. \qquad (I.85)$$

Таблица I.9

Значения функции $f(\bar{z})$

$\bar{z}$	$f(\bar{z})$	$\bar{z}$	$f(\bar{z})$	$\bar{z}$	$f(\bar{z})$	$\bar{z}$	$f(\bar{z})$
0,0	0,0000	2,5	0,7928	II	0,9487	40	0,9859
0,I	0,0036	3,0	0,8207	I2	0,9530	45	0,9875
0,2	0,I9I0	3,5	0,8454	I3	0,9566	50	0,9887
0,3	0,2654	4,0	0,8634	I4	0,9597	60	0,9906
0,4	0,3202	4,5	0,877	I5	0,9624	70	0,99I9
0,5	0,3843	5,0	0,8872	I6	0,9647	80	0,9929
0,6	0,4823	5,5	0,8974	I7	0,9668	90	0,9937
0,7	0,474I	6,0	0,9060	I8	0,9686	I00	0,9944
0,8	0,5I00	6,5	0,9I32	I9	0,9703	II0	0,9949
0,9	0,5435	7,0	0,9I94	20	0,97I8	I20	0,9953
I,0	0,5724	7,5	0,9248	22	0,9744	I30	0,9957
I,2	0,62I4	8,0	0,9295	24	0,9765	I40	0,9960
I,4	0,66I4	8,5	0,9336	26	0,9783	I50	0,9962
I,6	0,6975	9,0	0,9373	28	0,9799	I60	0,9964
I,8	0,72I7	9,5	0,9406	30	0,98I2	I80	0,9968
2,0	0,7434	I0,0	0,9436	35	0,9839	200	0,997I

I.4.3. Коэффициент нестационарного теплообмена для лав на пластах полого падения

$$K_\tau = K_{\tau_1}\frac{U_1}{U} + \left(K_{\tau_{n_1}} + K_{\tau_{k_1}}\right)\frac{U_1}{U} + \left(K_{\tau_{n_2}} + K_{\tau_{k_2}}\right)\frac{U_2}{U} + \left(K_{\tau_{n_3}} + K_{\tau_{n_4}}\right)\frac{U_3}{U} + K_{\tau_6}\frac{U_6}{U}. \qquad (I.86)$$

В том случае, когда породы кровли и почвы однородны или имеют одинаковые теплофизические константы,

$$K_\tau = K_{\tau_з}\frac{U_з}{U} + K_{\tau_{п_1}}\frac{2U_1}{U} + K_{\tau_{п_2}}\frac{2U_2}{U} + K_{\tau_{п_3}}\frac{2U_3}{U} + K_{\tau_в}\frac{U_в}{U}, \quad (I.87)$$

где $K_{\tau_{п_1}}, K_{\tau_{п_2}}, K_{\tau_{п_3}}, K_{\tau_{к_1}}, K_{\tau_{к_2}}, K_{\tau_{к_3}}$ – коэффициенты нестационарного теплообмена соответственно почвы и кровли пласта для первой, второй и третьей дорог лавы, ккал/м^2.ч.^{0}С;

$U_з, U_1, U_2, U_3, U_в$ – длины участков периметра поперечного сечения призабойного пространства лавы соответственно угольного забоя, первой, второй и третьей дорог, выработанного пространства, м;

U – общий периметр поперечного сечения призабойного пространства лавы, м.

Коэффициенты нестационарного теплообмена $K_{\tau_з}$, $K_{\tau_п}$, ... $K_{\tau_в}$ определяются по формуле (I.78) с учетом формул (I.18) – (I.21) и (I.39).

I.4.4. Коэффициент нестационарного теплообмена для лав на пластах крутого падения

$$K_\tau = K_{\tau_з}\frac{U_з}{U} + K_{\tau_п}\frac{U_п}{U} + K_{\tau_к}\frac{U_к}{U} + K_{\tau_в}\frac{U_в}{U}, \quad (I.88)$$

где $U_з, U_п, U_к, U_в$ – длины участков периметра поперечного сечения призабойного пространства лавы соответственно угольного забоя, почвы, кровли, выработанного пространства, м.

I.4.5. Коэффициент нестационарного теплообмена между транспортируемым в лаве углем и воздухом

$$K_{\tau_л} = \frac{\lambda_у}{1{,}77\sqrt{a_у \tau_л}} + \frac{\lambda_у}{\alpha_л}, \quad (I.89)$$

где $\alpha_л$ – коэффициент теплоотдачи от поверхности транспортируемого по лаве угля, ккал/м^2.ч.^{0}С;

$\tau_л$ – длительность теплообмена отбитого угля, транспортируемого по лаве, с воздушным потоком, ч. Определяется по скорости удаления угля из лавы

$$\tau_л = \frac{L_л}{3600\, v_л}, \qquad (I.90)$$

где $v_л$ – скорость движения скребков конвейера лавы, м/с.

Длительность нахождения угля на конвейере лавы зависит от технологии работ по выемке угля и нагрузки; практически в 3-5 раз больше времени, определяемого по формуле (I.90), что рекомендуется учитывать при расчетах.

Теплофизические свойства угля принимаются по табл. П.3.I в зависимости от выхода летучих и средней влажности ископаемого на конвейере.

Коэффициент теплоотдачи транспортируемого угля $\alpha_л$ определяется по формуле (I.39), в которую подставляется относительная скорость движения воздуха

$$v_{отн\,л} = v_в \pm v_л, \qquad (I.91)$$

где $v_в$ – скорость движения воздуха в лаве по дороге, на которой расположен конвейер, м/с.

В формуле (I.91) знак "+" принимается при встречном, знак "–" при попутном движении воздуха и транспортируемого угля.

I.4.6. Коэффициент нестационарного теплообмена между транспортируемым по выработкам ископаемым и воздухом

$$K_{\tau_т} = \alpha_т \left[1 - f(Z_т)\right], \qquad (I.92)$$

где $\alpha_т$ – коэффициент теплоотдачи от поверхности транспортируемого по выработке ископаемого, ккал/м^2.ч.^{0}С. Значение $\alpha_т$ определяется по формуле (I.39), в которую подставляется относительная скорость движения воздуха

$$v_{отн\,b} = v_{ср} \pm v_{л\,к}, \qquad (I.93)$$

где $v_{ср}, v_{лк}$ - соответственно средняя скорость воздуха в выработке и полотна конвейера, м/с. Знак "+" принимается при встречном, а "-" при попутном движении воздуха и полотна конвейера.

$$z_т = \frac{\alpha_т}{\lambda}\sqrt{a_y \tau_ц}\ , \qquad (I.94)$$

где $\tau_ц$ - длительность теплообмена угля на конвейере с воздушным потоком в выработке, ч; определяется по формуле (I.90).

I.4.7. Коэффициент нестационарного теплообмена в выработках при скачкообразном изменении температуры воздуха. При работе воздухоохладителей, расположенных в участковых горных выработках, а также при периодической их переноске по мере подвигания лав, коэффициент нестационарного теплообмена в выработке между пунктом охлаждения и лавой, при времени работы воздухоохладителя менее 6 месяцев, определяется по формуле

$$K'_\tau = \frac{\lambda}{R_o} K_{u_\tau} + \frac{\alpha}{2}\frac{t_п - t}{t_п - t'}(\vartheta_{ст} - 1)\left[1 - f\left(\frac{z_1}{3}\right)\right], \qquad (I.95)$$

где K_{u_τ} - безразмерный коэффициент нестационарного теплообмена.

Значение коэффициента $K_{u_\tau} = f\,(Fo_1, Bi')$ определяется по номограмме, приведенной на рис. I.2

$$Fo_1 = \frac{a\tau'}{R_o^2}\ , \qquad (I.96)$$

где τ' - расчетное время работы воздухоохладителя в пункте его установки, ч; определяется по формуле (I.17);

t, t' - соответственно температура воздуха в пункте установки воздухоохладителя до и после его включения, °С ;

$\vartheta_{ст}$ - безразмерная температура стенки. Значение $\vartheta_{ст} = f(Fo, Bi)$ определяется по номограмме на рис. I.3.

$$z_1 = Bi'\sqrt{Fo_1}\ . \qquad (I.97)$$

Значения критериев Bi и Bi' определяются по формулам (I.79) и (I.80), а функции $f\ (\ z_1\ )$ - по формулам (I.83)-(I.85) или табл. I.9.

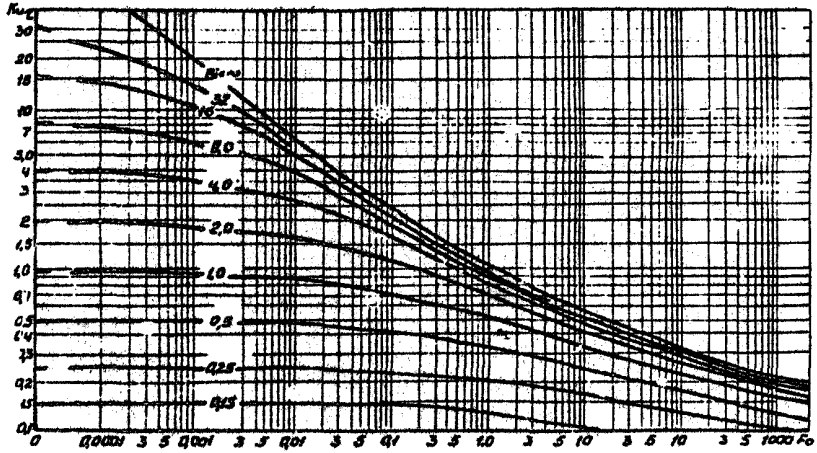

Рис. I.2. Номограмма для определения безразмерного коэффициента нестационарного теплообмена между горным массивом и вентиляционным воздухом

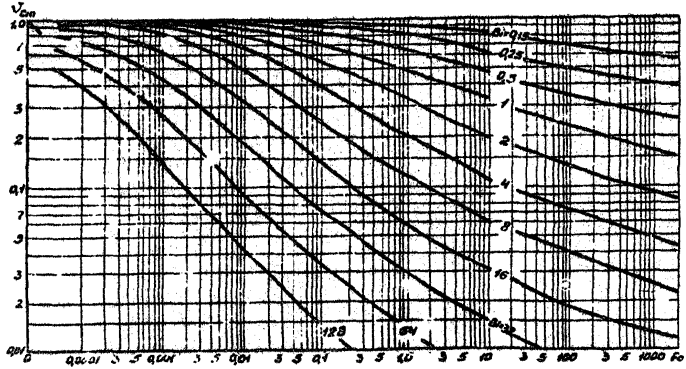

Рис. I.3. Номограмма для определения переменной во времени температуры стен шахтных выработок $\varphi = \frac{t_{ст} - t}{t_п - t}$

При времени работы воздухоохладителя в пункте его установки более 6 месяцев, коэффициент нестационарного теплообмена определяется по формуле (I.78) или (I.76).

I.5. Тепловой расчет горных выработок.

I.5.I. При отсутствии в выработках трубопроводов с тепло- и хладоносителем.

Температура воздуха в вертикальных, наклонных и горизонтальных выработках различного срока службы и назначения рассчитывается по формуле

$$t_2 = t_1 B + \frac{1-B}{A+\Delta\varphi Б}\left[E + \Delta\varphi Б \varepsilon' + \frac{\sum Q_{ми}}{G c_p} \pm L \sin\psi\left(\sigma \overset{\circ}{T} + 9{,}76\cdot 10^{-3}\right)\right], \quad (I.98)$$

где

$$B = \left[\frac{1+Б\varphi_1}{1+Б\varphi_2}\right]^{\left(1+\frac{A}{\Delta\varphi Б}\right)}, \quad (I.99)$$

при $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$; (I.100)

$$B = \exp\left(-\frac{A}{1+\varphi Б}\right), \quad (I.101)$$

при $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$; (I.102)

$$Б = \frac{1542\, n^2}{P - p_н^{\varphi}}; \quad (I.103)$$

$$A = \frac{K_\tau U L}{G c_p} + \frac{K_{\tau_T} U_T L}{G c_p} + \frac{1{,}2 K_{\tau_л} b_л L}{G c_p}; \quad (I.104)$$

$$E = \frac{K_\tau U L}{G c_p} t_п + \frac{K_{\tau_T} U_T L}{G c_p} t'_{п_T} + \frac{1{,}2 K_{\tau_л} b_л L}{G c_p}\left(t_п - \Delta t'\right); \quad (I.105)$$

$$T = \frac{K_\tau U L\left[(A+\Delta\varphi Б) - (1+Б\varphi_1)(1-B)\right]}{G c_p (A + 2\Delta\varphi Б)(1-B)}, \quad (I.106)$$

где n', ε' – коэффициенты уравнения аппроксимации зависимости давления насыщения водяных паров в воздухе от температуры при $\varphi = 1{,}0$, которые принимаются для ожидаемого диапазона изменения температуры воздуха на участке.

Значения коэффициентов n', ε' и величины $p_н^{ср}$ приведены в табл. I.IO.

Таблица I.IO

Значения коэффициентов n', ε' и величины $p_н^{ср}$ для различных диапазонов изменения температуры воздуха

Диапазон изменения температуры, °С	n'	ε'	$p_н^{ср}$, мм рт.ст.
0–I0	0,46I	-9,50	6,7
5–I5	0,622	-5,09	9,4
I0–20	0,830	-0,69	I3,0
I5–25	I,094	3,70	I7,8
20–30	I,425	8,07	24,2
25–35	I,837	I2,43	32,3
30–40	2,345	I6,77	42,7
35–45	2,965	2I,II	55,0
40–50	3,7I0	25,40	72,7

В выражение для $\Sigma Q_{ми}$ не включаются тепловыделения от транспортируемого конвейерами по лаве и конвейерным выработкам полезного. Влияние полезного учитывается в комплексах А и Б.

Температура воздуха в начале выработки при обратном тепловом расчете определяется по формуле

$$t_1 = \frac{t_2}{B} - \frac{1-B}{B(A+\Delta\varphi Б)}\left[E + \Delta\varphi Б\varepsilon' + \frac{\Sigma Q_{ми}}{Gc_p} \pm L\sin\psi\left(\sigma T + 9{,}76\cdot10^{-3}\right)\right]. \quad (I.I07)$$

Из зависимостей (I.98)–(I.I07) могут быть получены формулы для различных частных случаев теплового расчета:

- для горизонтальной выработки ($\sin\varphi = 0$);
- для выработки с постоянной относительной влажностью (при $\Delta\varphi = 0$ комплекс В определяется по формуле (I.101);
- для лавы ($K_{\tau_T} = 0$ в комплексах А и Е);
- для других выработок ($K_{\tau_A} = 0$ в комплексах А и Е);
- при отсутствии в выработках конвейерного транспорта ($K_{\tau_A} = 0$ и $K_{\tau_T} = 0$ в комплексах А и Е).

I.5.2. При наличии в выработках трубопроводов с тепло- и хладоносителем.

Температура воздуха в конце выработки определяется по формуле (I.98), а значения входящих в нее комплексов А и Е по формулам

$$A = \frac{(K_\tau U + 1{,}2\,K_{\tau_A} b_A + K_{\tau_T} U_T + K_{x\,тр} U_{x\,тр} + K_{т\,тр} U_{т\,тр})\,L}{G c_p\,\sigma}; \quad (I.108)$$

$$E = \frac{K_\tau U L}{G c_p} t_{п^т} + \frac{1{,}2 K_{\tau_A} b_A L}{G c_p}\left(t_п - {}_\Delta t'\right) + \frac{K_{\tau_T} U_T L}{G c_p} t'_{п_i} +$$

$$+ \frac{K_{т\,тр} U_{т\,тр} L}{G c_p}\theta_{т\,ср} + \frac{K_{x\,тр} U_{x\,тр} L}{G c_p}\theta_{x\,ср}. \quad (I.109)$$

Значения комплексов В, Б и Т определяются по формулам (I.99)-(I.103) и (I.106), а коэффициентов n', ε', и $\rho_н^{ср}$ - по табл. I.10.

Расчет средних значений температуры тепло- ($\theta_{т\,ср}$) и хладоносителя ($\theta_{x\,ср}$) в трубопроводах на расчетном участке выработки производится по формуле

$$\theta_{ср} = \theta_1 + 0{,}5\,A_{тр} L\left(t_1 - \theta_1\right). \quad (I.110)$$

Значение величины $A_{тр}$ определяется по формуле

$$A_{тр} = \frac{(K_{тр} + \beta_н n'_\theta) U_{тр}}{G_{тр} c_{тр}}, \quad (I.111)$$

где $\beta_н$ – коэффициент массоотдачи от влажного воздуха к поверхности трубопровода, ккал/м^2.ч.мм рт.ст.;

n'_θ – коэффициент аппроксимации зависимости давлений насыщения водяных паров в воздухе при температуре хладоносителя, определяется по табл. I.IO.

$$\beta_н = 2{,}5\,\alpha_к \,, \qquad (I.II2)$$

где $\alpha_к$ – коэффициент теплоотдачи, определяется по формуле (I.69).

Температура воздуха в начале выработки при обратном тепловом расчете определяется по формуле (I.I07).

В качестве средних температур $\theta_{ср}$ при определении комплекса Е по формуле (I.I09) принимаются их значения, вычисленные по результатам прямого теплового расчета.

Знак "+" в формулах (I.98) и (I.I07) относится к случаю нисходящего движения вентиляционной струи, знак "–" – к восходящему проветриванию.

I.5.3. Расчет температуры подвижного агента в конце выработки в трубопроводах с тепло- и хладоносителем.

I.5.3.I. При неизолированных трубопроводах хладоносителя

$$\theta_{2x,т} = \theta_{1x,т}\exp\left(-A_{тр}L\right) + \frac{П}{И}\left[1 - \exp\left(-A_{тр}L\right)\right], \qquad (I.II3)$$

где

$$П = \kappa_{тр}U_{тр}t_{ср} + \beta_н U_{тр}\rho_н^{t_{ср}}\varphi_{ср} + \beta_н U_{тр}n'_\theta\varepsilon'_\theta \,; \qquad (I.II4)$$

$$И = \kappa_{тр}U_{тр} + \beta_н n'_\theta U_{тр} \,; \qquad (I.II5)$$

$$t_{ср} = \frac{t_1 + t_2}{2} \,; \qquad (I.II6)$$

$$\varphi_{ср} = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} \,. \qquad (I.II7)$$

0.2088

Значение величины $A_{тр}$ определяется по формуле (I.III), а $\beta_н$ по формуле (I.II2). После определения значения θ_2 производят сопоставление результатов расчета с принятой величиной $\theta_{ср}$ по формуле (I.II0) и оценивают величину ошибки, которая сравнивается с заданной допустимой погрешностью

$$\left|\theta_{ср} - \frac{\theta_1+\theta_2}{2}\right| \leq \Delta\theta. \qquad (I.II8)$$

При ошибке, большей $\Delta\theta$, задаются новым значением $\theta_{ср}$ и повторяют расчеты, пока не будет удовлетворено условие (I.II8). Затем производят определение t_2 с подстановкой в формулу для комплекса E уточненного значения $\theta_{ср}$.

При теплоизолированных трубопроводах хладоносителя потерями через трубы пренебрегают, т.е. $K_{тр_{x,т}} = 0$.

I.6. Упрощенный способ тепловых расчетов горных выработок.

Для инженерных тепловых расчетов, выполняемых, например, с целью оперативного контроля состояния теплового режима на действующих участках, в т.ч. и с искусственным охлаждением или проверки количества воздуха для проветривания участков глубоких горизонтов по тепловому фактору, рекомендуется изложенная ниже упрощенная методика.

I.6.I. Температура воздуха в подземных горных выработках при наличии в них трубопроводов с хладоносителем (рис. I.4), а также в лавах, при прямых расчетах определяется по формуле

$$t_2 = -N_2 + \sqrt{N_2^2 + \frac{1}{2{,}49\varphi_2' l_y}\left[E_2 + (1-B)t_1 + 2{,}49\varphi_1' d_{t_1}^{н}\right] - \frac{m_y}{l_y}}, \qquad (I.II9)$$

где

$$N_2 = \frac{1+B+2{,}49\varphi_2' m_y}{4{,}98\varphi_2' l_y}; \qquad (I.I20)$$

$$\varphi_1' = \frac{760}{P_1}\varphi_1; \qquad (I.I2I)$$

$$\varphi_2' = \frac{760}{P_2}\varphi_2; \qquad (I.I22)$$

$$E_2 = A_1 t_{п_{ср}} + A_2 t_п' + 2Б_1\theta_{х_1} + 2Б_2\theta_{х_ч} + \frac{\sum Q_{ми}}{Gc_р} \pm 0{,}01\Delta H; \qquad (I.I23)$$

$$B = 0{,}5(A_1+A_2) + Б_1 + Б_2; \qquad (I.I24)$$

$$A_1 = \frac{K_т U L}{G c_p} ; \qquad (I.125)$$

$$A_2 = \frac{K_{тт} U_т L}{G c_p} ; \qquad (I.126)$$

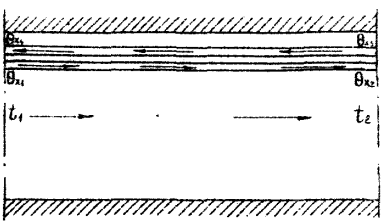

Рис. I.4. Схема горной выработки с трубопроводами хладоносителя

$$Б_1 = \frac{A_3}{2 + A_5} ; \qquad (I.127)$$

$$Б_2 = \frac{A_4}{2 - A_6} ; \qquad (I.128)$$

$$A_3 = \frac{K_к U_т L}{G c_p} ; \qquad (I.129)$$

$$A_4 = \frac{K_т U_т L}{G c_p} ; \qquad (I.130)$$

$$A_5 = \frac{K_к U_т L}{G_{тр} c_{тр}} ; \qquad (I.131)$$

$$A_6 = \frac{K_T U_{TP} l_1}{G_{TP} C_{TP}}, \qquad (I.132)$$

φ_1', φ_2' - относительная влажность воздуха соответственно в начале и конце выработки, приведенная к нормальному барометрическому давлению, в долях единицы;

$d^H_{t_1}, d^H_{t_2}$ - влагосодержание насыщенного воздуха соответственно при температуре t_1 и t_2, г/кг; рассчитывается по формуле

$$d^H_t = \frac{622 p^t_H}{760 - p^t_H}. \qquad (I.133)$$

Значение величины p^t_H определяется по табл. П.2.

Θ_{x_1} - температура хладоносителя в прямой ветви циркуляционного трубопровода холодильной установки в начале выработки, °С;

Θ_{x_4} - температура хладоносителя в обратной (отепленной) ветви циркуляционного трубопровода холодильной установки в начале выработки, °С (рис. I.4);

m_y, n_y, ℓ_y - коэффициенты аппроксимации влагосодержания насыщенного воздуха. Принимаются для ожидаемого интервала изменения температуры воздуха в выработке согласно табл. I.II.

Таблица I.II.

Значения коэффициентов m_y, n_y, ℓ_y для различных диапазонов изменения температуры воздуха

Диапазоны изменения температуры, °С	m_y	n_y	ℓ_y	$\frac{m_y}{\ell_y}$
0-10	3,780	0,267	0,0120	315
5-15	3,966	0,210	0,0158	251
10-20	4,692	0,089	0,0206	228
15-25	6,552	-0,128	0,0268	244
20-30	10,502	-0,484	0,0347	303
25-35	18,257	-1,052	0,0450	406
30-40	32,519	-1,935	0,5860	555

Исходные данные, входящие в зависимости (I.II9)-(I.I33), определяются согласно рекомендаций и формул, приведенных в п.п. I.I - I.4.

Температура хладоносителя в конце расчетного участка выработки в циркуляционных трубопроводах определяется по формулам:

- в прямой ветви

$$\theta_{x_2}=\frac{2\theta_{x_1}+A_5(t_1+t_2-\theta_{x_1})}{2+A_5}\ ; \qquad (I.I34)$$

- в обратной ветви

$$\theta_{x_3}=\frac{2\theta_{x_4}-A_6(t_1+t_2-\theta_{x_4})}{2-A_6}\ . \qquad (I.I35)$$

При отсутствии в выработке трубопроводов с хладоносителем в формулах (I.I23) и (I.I24) значения $B_1=0$ и $B_2=0$.

При тепловых расчетах лав в формулах (I.I23) и (I.I24) вместо значения A_2 (I.I26) подставляется значение

$$A_2'=\frac{1,2\,K_{т.л}\,b\,L}{Gc_p}\ . \qquad (I.I36)$$

I.6.7 При обратных тепловых расчетах температура воздуха в начале выработки определяется по формуле

$$t_1=-N_1+\sqrt{N_1^2+\frac{1}{2,49\varphi_1'l_y}\left[(1+B)t_2-E_1+2,49\varphi_2'd_{t_2}^n\right]-\frac{m_y}{l_y}}, \qquad (I.I37)$$

где

$$N_1=\frac{1-B+2,49\,\varphi_1'n_y}{4,98\varphi_1'l_y}\ ; \qquad (I.I38)$$

$$E_1=A_1t_{n_{ср}}+A_2t_n'+2B_1\theta_{x_2}+2B_2\theta_{x_3}+\frac{\sum Q_{ни}}{Gc_p}\pm 0,01_{\Delta}H. \qquad (I.I39)$$

Остальные обозначения и физические величины в формулах (I.I37)-(I.I39) те же, что и в формуле (I.II9).

Температура хладоносителя в начале выработки определяется по формулам:

$$\theta_{x_1} = \frac{2\theta_{x_2} - A_5(t_1 + t_2 - \theta_{x_2})}{2 - A_5}; \qquad (I.140)$$

$$\theta_{x_4} = \frac{2\theta_{x_3} + A_6(t_1 + t_2 - \theta_{x_3})}{2 + A_6}. \qquad (I.141)$$

В формулах (I.123) и (I.139) перед слагаемым $0{,}01\Delta H$ знак плюс ставится при движении воздуха по наклонной выработке вниз, а знак минус – при восходящем проветривании выработки.

I.7. Пример теплового расчета

I.7.I. Исходные данные.

Шахтное поле расположено в Донецко-Макеевском районе Донбасса и относится к геотермическому участку № 8 (табл. II.I.2). Воздухоподающий ствол шахты находится в застроенной части города без промышленных объектов. Упрощенная схема цепи горных выработок по расчетному маршруту приведена на рис. I.5.

Основные горногеологические и горнотехнические параметры выработок расчетного маршрута приведены в табл. I.I2.

I.7.2. Расчет воздухоподающего ствола (участок I-2).

I.7.2.I. Тепловые параметры воздуха на поверхности. Согласно схематической карте метеорологического районирования Донбасса (рис. I.I) шахта относится к Западному району. Для июля месяца в указанном районе среднемесячная температура воздуха на поверхности составляет $2I{,}8^{0}C$, относительная влажность – 0,58 (табл.I.I) По табл. I.2 определяем поправки к параметрам воздуха, поступающего в шахту. Для шахты, расположенной в застроенной части города за промышленных объектов, температура воздуха, поступающего в шахту, принимается на $I{,}5^{0}C$ выше, а относительная влажность – на 0,04 ниже среднемесячных значений указанных параметров воздуха, тогда

$$t_1 = 2I{,}8 + I{,}5 = 23{,}3^{0}C;$$

$$\varphi_1 = 0{,}58 - 0{,}04 = 0{,}54.$$

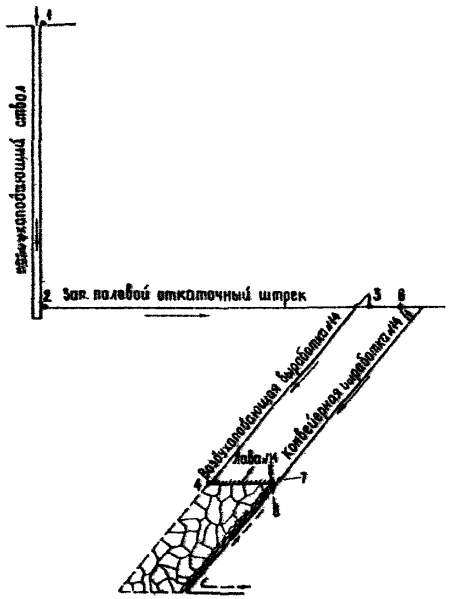

Рис. I.5. Схема цепи горных выработок расчетного маршрута условной шахты

Таблица I.I2.

Горногеологические и горнотехнические данные выработок расчетного маршрута

Наименование участков маршрута	Обозначение участка маршрута на схеме	Глубина выработки, м: Начало	Конец	Длина, м	Сечение, $м^2$	Количество воздуха, $м^3$/мин	Средняя скорость воздуха, м/с	Примечания
Воздухоподающий ствол	I-2	0	IOI2	IOI2	50,2	I8I00	6,0	Ствол сухой, круглого сечения, диаметром 6 м, крепление бетонное
Западный полевой откаточный штрек	2-3	IOI2	IOI2	I060	I3,0	3980	5,I	Штрек закреплен арочной крепью с железобетонными затяжками.
Западный полевой откаточный штрек	3-6	IOI2	IOI2	I60	I3,0	2960	3,8	См. участок 2-3
Воздухоподающая выработка № I4	3-4	I007	I057	600	8,5	I020	2,0	Выработка сухая, закреплена арочной крепью с деревянными затяжками. Угол падения - 6^0
Лава № I4	4-5	I057	I057	200	3,37	680	3,38	Лава оборудована комплексом КМ-87.
Конвейерная выработка № I4	6-7	I007	I057	640	9,2	570	I,05	Выработка закреплена арочной крепью с деревянными затяжками. Угол падения 6^0.

I.7.2.2. Барометрическое давление воздуха, поступающего в шахту. Среднемесячное значение атмосферного давления воздуха, приведенное к уровню моря, для июля месяца составляет $P_{срм}$ = 758,4 мм рт.ст. (табл. I.3). Абсолютная отметка устья воздухоподающего ствола относительно уровня моря, согласно гипсометрической карте шахты, H_0 = +258 м. Барометрическое давление воздуха, поступающего в шахту, определяется по формуле (I.I2)

$$P_0 = 758,4 - \frac{258 \cdot 758,4}{8000\ (I + 0,004 \cdot 23,3)} = 736 \text{ мм рт.ст.}$$

I.7.2.3. Геометрическое характеристики ствола:

- периметр круглого сечения

$$U = 3,I4 \cdot 8 = 25,I2 \text{ м};$$

- эквивалентный радиус R_0 = 4 м.

I.7.2.4. Геотермические показатели шахтного поля. Для геотермического участка № 8, расположенного в донецко Макеевском районе, согласно табл. П.1.1 температура земной поверхности $t_{зп}$=8,4°С, геотермическая ступень $\Gamma_{ср}$ = 34,I м/°С. Естественная температура горного массива в околоствольном дворе согласно формуле (I.I3)

$$t_п = 8,4 + \frac{I012}{34,I} = 38,I^{\circ}C .$$

Геотермический градиент для шахтного поля равен

$$\sigma = \frac{I}{34,I} = 0,0293 \ ^{\circ}C/м .$$

I.7.2.5. Теплофизические свойства окружающих горных пород принимаются из табл. I.6. Суммарные мощности пород, пересекаемых стволом, согласно стратиграфическому разрезу составляют: песчаники - 264 м; глинистые и песчанистые сланцы - 707 м; известняки - 25 м; угли - I6 м. Средневзвешенные по глубине значения теплофизических параметров окружающих горных пород составляют?

коэффициент теплопроводности (I.I4)

$$\lambda_{ср} = \frac{2.2.264+1,52 \cdot 707 + 0,846 \cdot 25 + 0,251 \cdot 16}{264 + 707 + 25 + 16} = 1,661 \frac{ккал}{м.ч.^{0}C},$$

коэффициент температуропроводности (I.I6)

$$a_{ср} = \frac{0.00437 \cdot 264 + 0,00293 \cdot 707 + 0,0016 \cdot 25 + 0,00074 \cdot 16}{264 + 707 + 25 + 16} = 0,0032 \frac{м^2}{ч}$$

I.7.2.6. Барометрическое давление воздуха в околоствольном дворе согласно формуле (I.II) составляет

$$P = 736 + 0,09 \cdot 1012 = 827 \text{ мм рт.ст.}$$

I.7.2.7. Относительная влажность воздуха в околоствольном дворе. Согласно пункту I.I.7 при отсутствии притока шахтной воды в стволе, относительная влажность $\varphi_2 = 0,60$.

I.7.2.8. Расчетное время проветривания ствола. В соответствии с календарным планом строительства и эксплуатации шахты, время проветривания устья ствола $\tau_н = 18 \cdot 8760 = 157680$ ч, время проветривания конца ствола $\tau_к = 16 \cdot 8760 = 140160$ ч. Расчетное время проветривания ствола определяется по формуле (I.I7)

$$\tau = \frac{157680 + 140160 + 2\sqrt{157680 \cdot 140160}}{4} = 148800 \text{ ч}.$$

I.7.2.9. Плотность рудничного воздуха в стволе определяется по формуле (I.40)

$$\gamma = 0,464 \frac{781,5 - 0,57 \cdot 22,78}{273 + 24,3} = 1,2 \text{ кг/м}^3,$$

здесь

$P_{ср} = \frac{736 + 827}{2} = 781,5$ мм рт. ст. – среднее барометрическое давление воздуха в стволе;

$\varphi_{ср} = \frac{0,54 + 0,60}{2} = 0,57$ – средняя относительная влажность воздуха в стволе;

$p_н = 22,78$ мм рт.ст. – парциальное давление водяных паров при средней температуре воздуха в стволе $t_{ср} = 23,3 + 1,0 = 24,3^{\circ}C$, определяемое по табл. П.2.

I.7.2.10. Коэффициент теплоотдачи от поверхности ствола к воздуху при $\varepsilon = 2$ согласно формуле (I.39)

$$\alpha = 2 \cdot 2(1,2 \cdot 6,0)^{0,8} \cdot \left(\frac{25,12}{50,24}\right)^{0,2} = 16,9 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^{\circ}\text{C}.$$

I.7.2.11. Коэффициент теплопередачи от пород ствола к воздуху при толщине бетонной крепи $\delta = 1$ м и коэффициенте теплопроводности $\lambda = 0,9$ ккал/м.ч.$^{\circ}$C согласно формуле (I.77)

$$K' = \frac{1}{\frac{1}{16,9} + \frac{1}{0,9}} = 0,85 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^{\circ}\text{C}.$$

I.7.2.12. Коэффициент нестационарного теплообмена в стволе согласно формуле (I.76)

$$K_\tau = \frac{1}{1 + \frac{1,66}{2 \cdot 0,85 \cdot 4}} \left[\frac{1,66}{2 \cdot 4} + \frac{1,66}{\sqrt{3,14 \cdot 0,0032 \cdot 148800}\left(1 + \frac{1,66}{2 \cdot 0,85 \cdot 4}\right)} \right] =$$

$= 0,194$ ккал/м^2.ч.$^{\circ}$C.

I.7.2.13. Температура воздуха в околоствольном дворе согласно формуле (I.98)

$$t_2 = 23,3 \cdot 0,9309 + \frac{1 - 0,9309}{0,01586 + 0,06 \cdot 2,9} \left[0,1332 + 0,06 \cdot 2,9 \times \right.$$

$$\left. \times 8,07 + 1012 \cdot 1(0,0293 \cdot 0,007916 + 0,00976) \right] = 25,8^{\circ}C.$$

Здесь значения n = 1,425; ε^{1} = 8,07; p_{cp}^{H} = 24,2 мм рт.ст. приняты из табл. 1.10 для предполагаемого диапазона изменения температуры в стволе 20-30°С; величина Б согласно формуле (1.103)

$$Б = \frac{1542 \cdot 1,425}{781,5 - 24,2} = 2,9 ;$$

величина А согласно формуле (1.104)

$$A = \frac{0,194 \cdot 25,12 \cdot 1012}{1303200 \cdot 0,24} = 0,01586 ;$$

весовой расход воздуха

$$G = 18100 \cdot 1,2 \cdot 60 = 1303200 \text{ кг/ч} ;$$

величина Е согласно форчуле (1.105)

$$E = \frac{0,194 \cdot 25,12 \cdot 1012}{1303200 \cdot 0,24} \cdot 8,4 = 0,1332 ;$$

температура пород в начале ствола $t_{зп}$ = 8,4°С ;

приращение относительной влажности согласно формуле (1.100)

$$\Delta\varphi = 0,60 - 0,54 = 0,06 ;$$

величина В согласно формуле (1.99)

$$B = \left(\frac{1 + 2,9 \cdot 0,54}{1 + 2,9 \cdot 0,6}\right)\left(1 + \frac{0,01586}{0,06 \cdot 2,9}\right) = 0,9309 ;$$

Величина Т согласно формуле (1.106)

$$T = \frac{0,01586\left[(0,01586+0,06 \cdot 2,9)-(1 + 2,9 \cdot 0,54)(1-0,9309)\right]}{(0,01586 + 2 \cdot 0,06 \cdot 2,9)(1 - 0,9309)} = 0,007916.$$

1.7.3. Расчет западного полевого откаточного штрека (участок 2-3).

1.7.3.1. Характеристика выработки. Западный полевой откаточный штрек пройден по пустым породам. В кровле выработки залегает

крупнозернистый песчаник, в почве - песчанистый сланец. Песчаник занимает одну треть периметра сечения выработки. По штреку проложены теплоизолированные трубопроводы хладоносителя в связи с чем потерями через трубопроводы пренебрегаем. Шахтная вода в количестве 5 м^3/ч протекает в канавке, в перекрытой деревянным настилом толщиной δ = 0,05 м с коэффициентом теплопроводности λ = 0,3 ккал/м.ч.^{0}С. Ширина канавки - 0,4 м, глубина - 0,3 м. Откатка угля по штреку электровозная в вагонетках ВШ-5Т емкостью 3,3 м^3. По штреку транспортируется 1700 т/сутки угля. Длина участка транспортирования 1060 м. Электровозная откатка производится в три смены на протяжении 18 ч. На расчетном участке одновременно находится 40 вагонеток с углем. На штреке установлена трансформаторная подстанция ТКШВП-320 мощностью 320 кВА. В штреке работает 6 человек по перекреплению выработки.

I.7.3.2. Геометрические характеристики штрека:

- периметр среднего сечения согласно формуле (I.2)

$$U = 3{,}8\sqrt{13} = 13{,}7 \text{ м};$$

- эквивалентный радиус согласно формуле (I.3)

$$R_0 = \frac{2 \cdot 13}{13{,}7} = 1{,}9 \text{ м}.$$

I.7.3.3. Естественная температура горных пород и геотермический градиент определяются согласно пункту I.7.2.4.

$$t_n = 38{,}1^0\text{С}; \qquad \sigma = 0{,}0293^0\text{С/м}.$$

I.7.3.4. Теплофизические свойства окружающих горных пород принимаются из табл. I.6. При длине периметра поперечного сечения выработки, занимаемого песчаником, $\frac{1}{3} \cdot 13{,}7 = 4{,}57$ м и песчанистым сланцем $\frac{2}{3} \cdot 13{,}7 = 9{,}13$ м средневзвешенные по периметру значения теплофизических параметров окружающих горных пород составляют:

коэффициент теплопроводности по формуле (I.I4)

$$\lambda_{ср} = \frac{4{,}57 \cdot 2{,}2 + 9{,}13 \cdot 1{,}52}{13{,}7} = 1{,}75 \text{ ккал/м.ч.}^{0}\text{С};$$

коэффициент температуропроводности по формуле (I.I6)

$$a_{ср} = \frac{4{,}57 \cdot 0{,}00437 + 9{,}13 \cdot 0{,}00293}{13{,}7} \approx 0{,}0033 \text{ м}^2/\text{ч}.$$

I.7.3.5. Барометрическое давление воздуха в штреке согласно формуле (I.II)

$$P = 736 + 0{,}09 \cdot 1013 = 827 \text{ мм рт.ст.}$$

I.7.3.6. Относительная влажность воздуха. Согласно пункту I.I.7 принимаем $\varphi_1 = 0{,}60$, $\varphi_2 = 0{,}75$.

I.7.3.7. Расчетное время проветривания штрека. По плану горных работ время проветривания начала штрека $\tau_н$ = I0 лет I0 мес = 94800 ч, конца штрека $\tau_к$ = 5 лет I0 мес = 5I000 ч. Расчетное время проветривания штрека согласно формуле (I.I7)

$$\tau = \frac{94800 + 5I000 + 2\sqrt{94800 \cdot 5I000}}{4} = 7I200 \text{ ч}.$$

I.7.3.8. Плотность воздуха в штреке при средней температуре $t_{ср} = 25^{0}$С и $\varphi_{ср} = 0{,}67$ согласно формуле (I.40) к табл. П.2

$$\gamma = 0{,}464 \frac{827 - 0{,}67 \cdot 23{,}76}{273 + 25} = 1{,}26 \text{ кг/м}^3.$$

I.7.3.9. Тепловыделения от электрических потерь в трансформаторной подстанции согласно формуле (I.25)

$$Q_э = 860 \cdot 32 \cdot 0{,}05 = I3760 \text{ ккал/ч}.$$

I.7.3.I0. Тепловыделения при электровозной откатке согласно формуле (I.30)

$$Q_{эо} = 860 \cdot \frac{I700 \cdot I{,}06 \cdot 0{,}2}{I8} = I7200 \text{ ккал/ч}.$$

I.7.3.II. Тепловыделения от шахтной воды в канавках согласно формуле (I.42)

$$Q_{в} = 1060 \cdot 0,4 \cdot 3,88\ (29,8-25,8) = 6580 \text{ ккал/ч},$$

здесь коэффициент теплопередачи согласно формуле (I,43)

$$K_{в} = \frac{1}{\frac{1}{13,42} + \frac{0,05}{0,3} + \frac{1}{60,84}} = 3,88 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^0\text{C};$$

коэффициент теплоотдачи в выработке при $\varepsilon = 1,5$ согласно формуле (I.39)

$$\alpha = 2 \cdot 1,5\ (1,26 \cdot 5,1)^{0,8} \left(\frac{13,7}{13,0}\right)^{0,2} = 13,42 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^0\text{C};$$

коэффициент теплоотдачи от воды к покрытию канавки согласно формуле (I.44)

$$\alpha_1 = 7,13\ \frac{(1000 \cdot 0,0116)^{0,8}}{0,4^{0,2}} = 60,84 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^0\text{C};$$

скорость движения в канавке

$$v_{в} = \frac{5}{0,4 \cdot 0,3 \cdot 3600} = 0,0116 \text{ м/с};$$

коэффициент, учитывающий теплофизические свойства воды, принят из таблицы I.7 методом интерполирования для температуры 25°C $A_{tв} = 7,13$.

I.7.3.I2. Тепловыделение от угля при транспортировке в вагонетках согласно формуле (I.53)

$$Q_{тб} = 94400 \cdot 0,33\ (1-0,9483)\ (35,04-25,8) = 14820 \text{ ккал/ч}.$$

Здесь количество транспортируемого ископаемого

$$A_{ф} = \frac{1700000}{18} = 94400 \text{ кг/ч};$$

теплоемкость угля определяем по табл. П.3.I (принимаем уголь марки Ж , влажность которого в результате орошения на конвейерном штреке повысилась до 5%)

$$C_у = 0,33 \text{ ккал/кг.}^0\text{C}.$$

Температура угля, загружаемого в вагонетки, составляет

$$t'_{п_{2-6}} = t'_{л_{4-7}} - \frac{Q_{кв_{6-7}}}{A_{ф_{6-7}} C_{у_{6-7}}} = 36,I - \frac{29,30}{85000 \cdot 0,33} = 35,04^0\text{C}.$$

Температура горного массива на глубине выемки угля в лаве в соответствии с (I.I3)

$$t_г = 8,4 + \frac{I057}{34,I} = 39,4^0\text{C}.$$

Тепловыделение от транспортируемого угля в лаве определяется по формуле (I.48)

$$Q_л = I,2 \cdot 4,87 \cdot 0,63 \cdot 200 \,(39,4-3,0-26,0) = 7660 \text{ ккал/ч},$$

где согласно П. I.2.4 принимаем $\Delta t' = 3,0$.

Коэффициент $K_т$ согласно (I.89) при значениях теплофизических свойств угля с влажностью до 3% (табл. П.3.I).

$$K_т = \frac{0,093}{I,77\sqrt{0,000369 \cdot 0,I8} + \frac{0,093}{I9,8}} = 4,87 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^0\text{C}.$$

Коэффициент теплоотдачи $\alpha_л$ определяется по (I.39) при $\varepsilon = 3,0$, количестве воздуха в лаве 680 м^3/мин (формула I.4), скорости движения воздуха по I технологической дороге $v_1 = I,I2 \cdot 3,38 = 3,78$ м/с (формула I.5) с учетом относительной скорости движения воздуха $v_{отн} = 3,78 - 0,92 = 2,86$ м/с (формула I.9I);

$$\alpha_л = 2 \cdot 3,0 \,(I,26 \cdot 2,86)^{0,8} \left(\frac{9,48}{3,37}\right)^{0,2} = I9,8 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^0\text{C}.$$

Расчетное время охлаждения отбитого угля в лаве определяем согласно (I.90) с учетом технологии работ (остановок комбайна и конвейера)

$$\tau_{л} = \frac{200}{3600 \cdot 0,92} \cdot 3 = 0,18 \text{ ч.}$$

Температура угля на конвейере в конце лавы при $A_{ф} = \frac{1700000}{20} =$

$= 85000$ кг/ч и теплоемкости угля при влажности 3% (табл.П.3.I) согласно (I.5I), составит

$$t'_{п_{4-7}} = 39,4 - 3,0 - \frac{7660}{85000 \cdot 0,315} = 36,1^{0}C.$$

Тепловыделения от транспортируемого угля в конвейерном штреке

$$Q_{кб_{6-7}} = 5,75 \cdot 0,8 \cdot 640 \,(36,1-26,0) = 29730 \text{ ккал/ч.}$$

Условно принимаем температуру воздуха в конвейерном штреке равной предельно-допустимой по ПБ ($26^{0}C$). При существенном отличии ее от расчетной, определенной для участка 6-7, расчет необходимо уточнить, что не представляет трудностей при использовании ЭВМ.

Коэффициент $K_{\tau_{т}}$ рассчитывается по формуле (I.92)

$$K_{\tau_{т}} = 10,52 \left[1 - 0,4529 \right] = 5,75 \text{ ккал/м}^2.$$

Коэффициент теплоотдачи $\alpha_{т}$ от поверхности транспортируемого угля определяется по (I.39) при $\epsilon = 1,5$, относительной скорости воздуха $v_{отн\delta} = 1,05 + 1,6 = 2,65$ м/с (формула I.93)

$$\alpha_{т} = 2 \cdot 1,5 \,(1,26 \cdot 2,65)^{0,8} \left(\frac{11,51}{9,2} \right)^{0,2} = 10,52 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^{0}C;$$

значение $z_{т}$ при теплофизических свойствах транспортируемого угля с влажностью 5% (табл. П.3.1) определяется по (I.94)

$$z_{т} = \frac{10,52}{0,109} \sqrt{0,00042 \cdot 0,11} = 0,6466 ;$$

длительность теплообмена угля на конвейере с воздухом согласно (I.90)

$$\tau_{\text{в}} = \frac{640}{3600 \cdot I,6} = 0,II \text{ ч};$$

функция $f(\tilde{z}_T)$ о рассчитывается по формуле (I.83)

$$f(\tilde{z}_T) = \frac{I,0774 \cdot 0,6466 - 0,0064}{0,6466 + 0,8773} = 0,4529;$$

периметр поперечного сечения насыпки угля на конвейере

$$U_T = 0,II \sqrt{\frac{I700}{20}} = 0,8 \text{ м}.$$

Средняя скорость движения воздуха в выработке относительно вагонеток определяется по формуле (I.54)

$$v_{\text{отн}} = \frac{5,I \cdot I,0 + (5,I + 4,I6)(I,I - I,0)}{I,I} = 5,4 \text{ м/с},$$

где скорость движения воздуха в выработке $v_{\text{ср}} = 5,I$ м/с (табл. I.I2)

скорость движения вагонеток с углем по выработке

$$v_{\text{тр}} = I5 \text{ км/ч} = \frac{I5000}{3600} = 4,I6 \text{ м/с};$$

продолжительность пребывания вагонеток с углем ориентировочно принимаем $\tau_{\text{по}} = I,0$ ч;
время общего пребывания вагонеток в выработке рассчитывается по формуле (I.55)

$$\tau_{\text{тр}_{\text{в-б}}} = I + \frac{I220}{3600 \cdot 4,I6} = I,08 \text{ ч}.$$

Коэффициент теплоотдачи от поверхности вагонеток по формуле (I.56)

$$\alpha_{\text{ц}} = 3(I,26 \cdot 5,4)^{0,58} \left(\frac{I3,7 + 4,62}{I3 - I,32}\right)^{0,47} = II \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^0\text{C},$$

где I3,7 и 4,62 – периметры соответственно выработки и вагонетки, м;
I3 и I,32 – сечения соответственно выработки и вагонетки, $м^2$.

Критерии Био и Фурье для начала и конца движения груженных вагонеток по формулам (I.57)-(I.59)

$$Bi_н = Bi_к = \frac{11 \cdot 0{,}924}{0{,}109} = 93{,}25 ;$$

$$Fo_н = 0, Fo_к = \frac{6{,}00042 \cdot 1{,}08}{0{,}924^2} = 0{,}00052,$$

здесь радиус вагонетки $R_в = 0{,}62 \sqrt[3]{3{,}3} = 0{,}924$ м ; продолжительности охлаждения вагонеток с углем соответственно

$$\tau_н = 0 \quad \text{и} \quad \tau_к = 1{,}08$$

По табл. П.3.2 находим $\Theta_{vн} = 1{,}0$; $\Theta_{vк} = 0{,}9483$.

I.7.3.I3. Тепловыделения от работающих людей при $n = 6$ чел. согласно формуле (I.62)

$$Q_р = 250 \cdot 6 = 1500 \text{ ккал/ч}.$$

I.7.3.I4. Суммарные тепловыделения от местных источников в западном полевом штреке (участок 2-3) составляют

$$\Sigma Q_{мн} = 13760 + 17200 + 6580 + 14820 + 1500 = 53860 \text{ ккал/ч}.$$

I.7.3.I5. Коэффициент нестационарного теплообмена для штрека рассчитывается по формуле (I.76)

$$K_\tau = \frac{1}{1 + \frac{1{,}75}{2 \cdot 13{,}33 \cdot 1{,}89}} \left[\frac{1{,}75}{2 \cdot 1{,}89} + \frac{1{,}75}{\sqrt{3{,}14 \cdot 0{,}0033 \cdot 71200}\, x} \rightarrow \right.$$

$$\left. \rightarrow \frac{}{x \left(1 + \frac{1{,}75}{2 \cdot 13{,}33 \cdot 1{,}89} \right)} \right] = 0{,}507 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^0\text{C},$$

здесь коэффициент теплоотдачи от поверхности выработки к воздуху при $\varepsilon = 1{,}5$ и $\gamma = 1{,}26$ кг/м^3 определен по формуле (I.39)

$$\alpha = 2 \cdot 1{,}5 \, (1{,}26 \cdot 5{,}1)^{0{,}8} \left(\frac{13{,}7}{13{,}0} \right)^{0{,}2} = 13{,}33 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^0\text{C}.$$

I.7.3.I6. Температура воздуха в конце расчетного участка штрека 2-3 согласно формуле (I.98)

$$t_2 = 25{,}8 \cdot 0{,}8358 + \frac{I - 0{,}8358}{0{,}I02+0{,}I5\cdot 2{,}737}\left[3{,}886+0{,}I5\cdot 2{,}737 \cdot 8{,}07 + \right.$$

$$\left. + \frac{53860}{300900 \cdot 0{,}24}\right] = 24{,}I0^{\circ}C.$$

Здесь комплекс В согласно формуле (I.99)

$$B = \left(\frac{I + 2{,}737 \cdot 0{,}6}{I + 2{,}737 \cdot 0{,}75}\right)^{\left(I + \frac{0{,}I02}{0{,}I5 \cdot 2{,}737}\right)} = 0{,}8358.$$

Комплекс Б в диапазоне изменения температуры воздуха 20-30°С и соответствующих ему значениях коэффициентов $\varepsilon' = 8{,}07$; $n = I{,}425$; $\rho^{H}_{cp} = 24{,}2$ мм рт.ст. (табл. I.I0) определяется по формуле (I.I03)

$$Б = \frac{I542 \cdot I{,}425}{827 - 24{,}2} = 2{,}737.$$

Комплекс А определяется по формуле (I.I04), т.к. $K_{x_{тр}} = 0$ и $K_{T_{тр}} = 0$

$$A = \frac{0{,}507 \cdot I3{,}7 \cdot I060}{300900 \cdot 0{,}24} = 0{,}I02,$$

где весовой расход воздуха составляет

$$G = 3980 \cdot 60 \cdot I{,}26 = 300900 \text{ кг/ч}.$$

Комплекс Е по формуле (I.I05), т.к. $K_{x_{тр}} = 0$ и $K_{T_{тр}} = 0$

$$E = \frac{0{,}507 \cdot I3{,}7 \cdot I060}{300900 \cdot 0{,}24} \cdot 35{,}I = 3{,}886.$$

I.7.4. Расчет воздухоподающей выработки № I4 (участок 3-4).

I.7.4.I. Характеристика выработки. Воздухоподающая выработка пройдена по пласту с верхней подрывкой. Угол наклона пласта 6°. Породы кровли - глинистые сланцы, почвы - песчанистые сланцы. Мощность пласта - I,57 м. Глубина расположения выработки: у устья - I007 м, у лавы - I057 м. Воздух по выработке движется

верху вниз. В выработке установлена маслостанция СНУ-5, мощность электродвигателя маслостанции 39,5 кВт.

I.7.4.2. Геометрические характеристики выработки:

- периметр среднего сечения согласно формуле (I.2)

$$U = 3{,}8\sqrt{8{,}5} = 11{,}1 \text{ м};$$

- эквивалентный радиус согласно формуле (I.3)

$$R_0 = \frac{2 \cdot 8{,}5}{11{,}1} = 1{,}53 \text{ м}.$$

I.7.4.3. Естественная температура горных пород согласно формуле (I.13) составляет:

в начале выработки $t_{n_1} = 8{,}4 + \frac{1007}{34{,}1} = 37{,}9^{\circ}C$;

под лавой $t_{n_2} = 8{,}4 + \frac{1057}{34{,}1} = 39{,}4^{\circ}C$.

I.7.4.4. Теплофизические свойства окружающих горных пород. На расчетном участке часть периметра поперечного сечения выработки, занимаемого пластом угля, равна $1{,}57 \cdot 2 = 3{,}14$ м, глинистыми и песчанистыми сланцами – $11{,}1 - 3{,}14 = 7{,}96$ м.

Средневзвешенные по периметру значения теплофизических параметров составляют:

коэффициент теплопроводности согласно формуле (I.14)

$$\lambda_{ср} = \frac{0{,}251 \cdot 3{,}14 + 1{,}52 \cdot 7{,}96}{11{,}1} = 1{,}161 \text{ ккал/м.ч.}^{\circ}C;$$

коэффициент температуропроводности согласно формуле (I.16)

$$a_{ср} = \frac{0{,}00074 \cdot 3{,}14 + 0{,}00293 \cdot 7{,}96}{11{,}1} = 0{,}0023 \text{ м}^2/\text{ч}.$$

I.7.4.5. Барометрическое давление воздуха в выработке согласно формуле (I.11)

в устье выработки $P_1 = 736 + 0{,}09 \cdot 1007 = 827$ мм рт.ст.

под лавой $P_2 = 736 + 0{,}09 \cdot 1057 = 831$ мм рт.ст.

I.7.4.6. Относительная влажность воздуха. Согласно пункту I.I.7 принимаем $\varphi_1 = 0,75$, $\varphi_2 = 0,705$.

I.7.4.7. Расчетное время проветривания выработки. По плану горных работ время проветривания начала выработки составляет $\tau_н = 9,5$ мес = 6978 ч ; $\tau_к = 5,5$ мес = 4026 ч. Расчетное время проветривания согласно формуле (I.I7)

$$\tau = \frac{6978 + 4026 + 2\sqrt{6978 \cdot 4026}}{4} = 5400 \text{ ч.}$$

I.7.4.8. Плотность воздуха в выработке при $P_{ср} = 829$ мм рт.ст., $t_{ср} = 25^0C$ и $\varphi_c = 0,72$ согласно формуле (I.40) и табл. П.2.I

$$\gamma = 0,464 \; \frac{829 - 0,72 \cdot 23,96}{273 + 25} = I,26 \text{ кг/м}^3.$$

I.7.4.9. Тепловыделения в пункте размещения маслостанции при $K_{мс} = I,0$, $\eta_{дв} = 0,9$ и $\eta_m = 0,55$ согласно формуле (I.34)

$$Q'_{мс} = 860 \cdot 39,5 \cdot I,0 \; (I - 0,9 \cdot 0,55) = I7I50 \text{ ккал/ч.}$$

I.7.4.I0. Коэффициент нестационарного теплообмена согласно формуле (I.78)

$$K_\tau = 6,62 \cdot \left[I - \frac{8,724}{9,099} \cdot 0,973 \right] = 0,444 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^0\text{C},$$

здесь коэффициент теплоотдачи от поверхности выработки к воздуху согласно формуле (I.39)

$$\alpha = 2 \cdot I,5 \; (I,26 \cdot 2,0)^{0,8} \left(\frac{II,I}{8,5}\right)^{0,2} = 6,62 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^0\text{C} ;$$

критерий Био согласно формулам (I.79) и (I.80)

$$Bi = \frac{6,62 \cdot I,53}{I,I6I} = 8,724 ; \quad Bi' = 8,724 + 0,375 = 9,099 ;$$

критерий Фурье согласно формуле (I.82)

$$F_0 = \frac{0,0023 \cdot 5400}{I,53^2} = 5,3 ;$$

величина $\bar{z}$ согласно формуле (I.8I)

$$\bar{z} = 9{,}099\sqrt{5{,}3} = 20{,}93;$$

функция $f(\bar{z})$ согласно формуле (I.84)

$$f(\bar{z}) = \frac{I{,}00II \cdot 20{,}93 - 0{,}2575}{20{,}93 + 0{,}3406} = 0{,}973.$$

I.7.4.II. Температура воздуха в конце выработки согласно формуле (I.98)

$$t_{\text{к}} = 24{,}I \cdot 0{,}9877 + \frac{I - 0{,}9877}{0{,}I60 + (-0{,}045)\cdot 2{,}730} \cdot \Big[6{,}253 + (-0{,}045) \times$$

$$\times\, 2{,}730 \cdot 8{,}07 + \frac{I7I50}{I020\cdot 60\cdot I{,}26\cdot 0{,}24} + 600\cdot 0{,}I045\,(0{,}0293\cdot 0{,}049\ldots +$$

$$+ 0{,}00976)\Big] = 26{,}0^{0}\text{C}.$$

Здесь комплекс В согласно формуле (I.99)

$$B = \left(\frac{I + 2{,}730 \cdot 0{,}75}{I + 2{,}730 \cdot 0{,}705}\right)\left(I + \frac{0{,}I60}{(-0{,}045)\cdot 2{,}730}\right) = 0{,}9877,$$

а изменение относительной влажности согласно формуле (I.I00)

$$\Delta\varphi = 0{,}705 - 0{,}75 = -0{,}045.$$

Комплекс Б для диапазона температур 20 ÷ 30° и соответствующих ему значениях коэффициентов по табл. I.I0 $n = I{,}425$; $\varepsilon' = 8{,}07$; $p''_{\text{в}} = 24{,}2$ мм рт.ст. согласно формуле (I.I03)

$$B = \frac{I542 \cdot I{,}425}{829 - 24{,}2} = 2{,}730;$$

Комплекс А согласно формуле (I.I04)

$$A = \frac{0{,}444 \cdot II{,}I \cdot 600}{I020 \cdot 60 \cdot I{,}26 \cdot 0{,}24} = 0{,}I60;$$

Комплекс Е согласно формуле (I.I05)

$$E = \frac{0{,}444 \cdot II{,}I \cdot 600}{I020\cdot 60\cdot I{,}26 \cdot 0{,}24} \cdot 37{,}9 = 6{,}06,$$

Комплекс Т согласно формуле (I.106)

$$T = \frac{0,160\{[0,160+(-0,045)\cdot 2,730] - (1+2,730\cdot 0,75)\cdot(1-0,77)\}}{[0,160 + 2\cdot(-0,045)\cdot 2,730]\cdot(1-0,9877)} =$$

$= 0,0493.$

I.7.5. Расчет лавы (участок 4-5).

I.7.5.I. Характеристика лавы:

мощность пласта - I,57 м;

пласт марки Ж , естественная влажность до 3%;

вмещающие пласт породы: почва-песчанистый сланец, кровля-глинистый сланец;

влажностное состояние окружающего горного массива - почва и кровля пласта сухие, капежа в лаве не наблюдается;

глубина ведения очистных работ - I057 м ;

систем разработки-столбовая, (длинные столбы по восстанию);

схема проветривания - прямоточная;

примыкание выработок выемочного участка с вентиляционными струями: свежей и подсвежающей - к целику ;

исходящей - к выработанному пространству;

длина лавы - 200 м ; суточная добыча из лавы - I700 т ;

транспортировка ископаемого - конвейерная по выработке с подсвежающей струей;

способ управления кровлей - полное обрушение;

способ выемки угля - комбайном 2К-52Ш ;

глубина вруба - 0,63 м ;

мощность электродвигателя комбайна (установленная) - - I05 кВт ;

способ доставки угля в лаве - конвейером СПМ-87 ;

количество электродвигателей конвейера - 3 ;

мощность электродвигателей конвейера N = Iх45 кВт - в начале лавы, N =2х45 кВт-в конце лавы;

режим работы лавы - 3 часов в сутки по добыче и 4 часа ремонт.

I.7.5.2. Температура горного массива согласно I.7.3.I2.

$$t_n = 39,4^{\circ}C.$$

I.7.5.3. Геометрические характеристики лавы согласно данным замеров поперечного сечения призабойного пространства (шахтным или конструктивным):

общее сечение призабойного пространства лавы - 3,37 м^2 ;
периметр сечения призабойного пространства лавы - 9,48 м ;
сечение I технологической дороги лавы - 2,6 м^2 ;
периметр сечения I технологической дороги - 7,34 м ;
сечение II технологической дороги лавы - 0,77 м^2;
периметр II технологической дороги - 4,8 м ;
ширина I технологической дороги лавы - 2,37 м ;
ширина II технологической дороги лавы - I,I м.

Эквивалентный радиус поперечного сечения согласно формуле (I.3) для I технологической дороги:

$$R_{o_1} = \frac{2 \cdot 2,6}{7,34} = 0,7I \text{ м} ;$$

для II технологической дороги

$$R_{o_2} = \frac{2 \cdot 0,77}{4,8} = 0,32 \text{ м}.$$

I.7.5.4. Количество воздуха, проходящего по рабочему пространству лавы, при $K_{ут\ell} = I,5$ согласно формуле (I.4)

$$Q_з = \frac{I020}{I,5} = 680 \text{ м}^3/\text{мин} ;$$

весовой расход воздуха по рабочему пространству лавы при $\gamma = I,26$ кг/м^3

$$G = 680 \cdot 60 \cdot I,26 = 5I4I0 \text{ кг/ч}.$$

I.7.5.5. Скорость воздуха по технологическим дорогам призабойного пространства лавы при $v_{ср} = 3,38$ м/с (см.табл.I.I2) в соответствии с формулами (I.5) и (I.6) составляет:

I дорога $v_1 = I,I2 \cdot 3,38 = 3,78$ м/с ;

II дорога $v_2 = 0,62 \cdot 3,38 = 2,I$ м/с.

I.7.5.6. Теплофизические параметры горного массива принимаются в соответствии с данными табл. I.6:

коэффициенты теплопроводности $\lambda_у$ = 0,251 ккал/м.ч.°С ;

$\lambda_п = \lambda_к$ = 1,52 ккал/м.ч.°С:

коэффициенты температуропроводности $a_у$ = 0,00074 м²/ч ;

$a_п = a_к$ = 0,00293 м²/ч.

I.7.5.7. Относительная влажность воздуха. Согласно данным табл. I.4 для "сухих" лав на период добычной смены относительная влажность воздуха принимается:

на входе в лаву φ_1 = 0,705 ;

на выходе из лавы $\varphi_2 = 0{,}705 + \frac{200}{100} \cdot 0{,}038 = 0{,}78.$

I.7.5.8. Расчетное время проветривания. Средняя продолжительность выемки комбайном одной полосы угля шириной 0,63 м при суточной добыче 1700 т, добыче за один цикл 200 · 1,57 ·0,63 х х 1,275 = 252,2 т и количестве снимаемых за сутки полос $\frac{1700}{252{,}2} = 7$, составляет $\tau_п = \frac{24}{7} = 3{,}43$ ч. С учетом геометрических размеров призабойного пространства лавы количество полос по ширине технологических дорог лавы составляет

I дорога $n_1 = \frac{2{,}37}{0{,}63} = 3{,}76,$

принимаем для расчета по I дороге 4 полосы;

II дорога $n_2 = \frac{1{,}1}{0{,}63} = 1{,}75,$

принимаем к расчету по II дороге 2 полосы.

Тогда для угольного забоя согласно формуле (I.18)

$\tau_з = 0{,}25 \cdot 3{,}43 = 0{,}86$ ч ;

для пород кровли и почвы I дороги согласно формуле (I.19)

$\tau_1 = 0{,}25 \cdot 4 \cdot 3{,}43 = 3{,}43$ ч ;

для пород кровли и почвы II дороги и выработанного пространства согласно формуле (I.20)

$$\tau_2 = \frac{3{,}43\,(4 + 6 + 2\sqrt{4 \cdot 6})}{4} = 16{,}98 \text{ ч.}$$

I.7.5.9. Тепловыделения, связанные с конвейерной транспортировкой угля в лаве,

$$Q_л = 2700 + 36700 = 39400 \text{ ккал/ч.}$$

I.7.5.I0. Тепловыделение при работе комбайна производительностью $A_ф$ = 85 т/ч, $A_н$ = I68 т/ч, ξ = 0,5 согласно формуле (I.36)

$$Q_к = 860 \cdot I05 \cdot \frac{85}{I68} \cdot 0,5 = 22900 \text{ ккал/ч.}$$

I.7.5.II. Тепловыделение гидросистем механизированной крепи в лаве при коэффициенте загрузки электродвигателей $K_{мс}$ = I,0, к.п.д. электродвигателя маслонасоса $\eta_э$ = 0,9, механическом к.п.д. маслонасоса $\eta_м$ = 0,55 согласно формуле (I.35)

$$Q_{гс} = 860 \cdot 39,5 \cdot I,0 \cdot 0,9 \cdot 0,55 = I6800 \text{ ккал/ч.}$$

I.7.5.I2. Тепловыделения одновременно работающих в лаве людей (n = 6 чел) согласно формуле (I.63)

$$Q_р = 250 \cdot 6 = I500 \text{ ккал/ч.}$$

I.7.5.I3. Суммарные тепловыделения местных источников

$$\Sigma Q_{ми} = 39400 + 22900 + I6800 + I500 = 80600 \text{ ккал/ч.}$$

I.7.5.I4. Коэффициент нестационарного теплообмена (средневзвешенный) призабойного пространства лавы согласно формуле (I.86)

$$K_т = 5,293 \cdot \frac{I,3}{9,48} + 7,86 \cdot \frac{4,74}{9,48} + 4,68 \cdot \frac{2,2}{9,48} + 4,68 \cdot \frac{I,24}{9,48} = 6,3 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot {}^0\text{C}}.$$

Здесь коэффициент нестационарного теплообмена угольного забоя определен по формуле (I.78)

$$K_{т_з} = 25,3 \left(I - \frac{7I,57}{7I,945} \cdot 0,795\right) = 5,293 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}{}^0\text{C};$$

коэффициент теплоотдачи поверхностей окружающего горного массива для I технологической дороги по формуле (I.39)

$$\alpha_1 = 2 \cdot (I,26 \cdot 3,78)^{0,8} \left(\frac{7,34}{2,6}\right)^{0,2} = 25,3 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}{}^0\text{C};$$

критерий Био по формулам (I.79) и (I.80)

$$Bi = \frac{25,3 \cdot 0,7I_0}{0,25I} = 7I,57 ; \qquad Bi' = 7I,57 + 0,375 = 7I,945 ;$$

критерий Фурье по формуле (I.82)

$$F_0 = \frac{0,00074 \cdot 0,86}{0,7I^2} = 0,00I260 ;$$

значение числа z по формуле (I.8I)

$$z = 7I,945 \sqrt{0,00I260} = 2,554;$$

функция $f(z)$ по формуле (I.84)

$$f(z) = \frac{I,00II \cdot 2,554 - 0,2575}{2,554 + 0,3406} = 0,795.$$

Коэффициент нестационарного теплообмена для пород почвы и кровли I технологической дороги лавы согласно формуле (I.78)

$$\psi_{\tau_{n_1,n_2}} = 25,3 \left(I - \frac{II,82}{I2,I95} \cdot 0,7II\right) = 7,86 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^0\text{C} ;$$

критерий Био по формулам (I.79) и (I.80)

$$Bi = \frac{25,3 \cdot 0,7I}{I,52} = II,82 ; \qquad Bi' = II,82 + 0,375 = I2,I95 ;$$

критерий Фурье по формуле (I.82)

$$F_0 = \frac{0,00293 \cdot 3,43}{0,7I^2} = 0,0I993;$$

число z по формуле (I.8I)

$$z = I2,I95 \sqrt{0,0I993} = I,7I9 ;$$

функция $f(\bar{z})$ по формуле (I.83)

$$f(\bar{z}) = \frac{1,0011 \cdot 1,719 - 0,0064}{1,719 + 0,8773} = 0,711.$$

Коэффициент нестационарного теплообмена для пород и кровли II технологической дороги согласно формуле (I.78)

$$K_{\tau_{n_2,k_2}} = 18,86 \left(1 - \frac{3,971}{4,346} \cdot 0,823\right) = 4,68 ;$$

коэффициент теплоотдачи поверхностей окружающего горного массива для II технологической дороги определяется по формуле (I.39)

$$\alpha_2 = 2 \cdot 3(1,26 \cdot 2,1)^{0,8} \left(\frac{4,8}{0,77}\right)^{0,2} = 18,86 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^0\text{C} ;$$

критерий Био по формулам (I.79) и (I.80)

$$Bi = \frac{18,86 \cdot 0,32}{1,52} = 3,971 ; \quad Bi' = 3,971 + 0,375 = 4,346 ;$$

критерий Фурье по формуле (I.82)

$$F_0 = \frac{0,00293 \cdot 16,98}{0,32^2} = 0,4858 ;$$

число $\bar{z}$ по формуле (I.81)

$$\bar{z} = 4,346 \sqrt{0,4858} = 3,029 ;$$

функция $f(\bar{z})$ по формуле (I.84)

$$f(\bar{z}) = \frac{1,0011 \cdot 3,029 - 0,2575}{3,029 + 0,3406} = 0,823.$$

Коэффициент нестационарного теплообмена для выработанного пространства лавы принимается равным коэффициенту нестационарного теплообмена пород II технологической дороги

$$K_{\tau_2} = 4,68 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^0\text{C}.$$

I.7.5.I5. Температура воздуха в конце лавы в соответствии с формулой (I.98) равна

$$t_2 = 26{,}0 - 0{,}665 + \frac{I - 0{,}665}{I{,}028 + 0{,}075 \cdot 2{,}724}\left[40{,}32 + 0{,}075 \cdot 2{,}724 \cdot 8{,}07 + \right.$$

$$\left. + \frac{80600}{5I4I0 \quad 0{,}24}\right] = 30{,}5^{0}C.$$

Здесь комплекс В согласно формуле (I.99)

$$B = \left(\frac{I \cdot 2{,}724 \cdot 0{,}705}{I + 2{,}724 \cdot 0{,}78}\right)^{\left(I + \frac{I{,}028}{0{,}075 \cdot 2{,}724}\right)} = 0{,}665 ;$$

изменение относительной влажности в лаве согласно формуле (I.I00)

$$\Delta\varphi = 0{,}78 - 0{,}705 = 0{,}075 ;$$

комплекс Б для диапазона изменения температуры 20–30^{0}С и соответствующих ему коэффициентов $n = I{,}425$; $\varepsilon' = 8{,}07$ и $p^{н}_{ср} = 24{,}2$ мм рт.ст. (табл. I.I0) согласно формуле (I.I03)

$$Б = \frac{I542 \cdot I{,}425}{83I - 24{,}2} = 2{,}724 ;$$

комплекс А согласно формуле (I.I04) и п. I.7.3.I2

$$A = \frac{6{,}3 \cdot 9{,}48 \cdot 200}{5I4I0 \cdot 0{,}24} + \frac{I{,}2 \cdot 4{,}87 \cdot 0{,}63 \cdot 200}{5I4I0 \cdot 0{,}24} = I{,}028 ;$$

комплекс Е согласно формуле (I.I05)

$$E = \frac{6{,}3 \cdot 9{,}48 \cdot 200}{5I4I0 \cdot 0{,}24} \cdot 39{,}4 + \frac{I{,}2 \cdot 4{,}87 \cdot 0{,}63 \cdot 200}{5I4I0 \cdot 0{,}24}(39{,}4 - 3{,}0) = 40{,}32.$$

Из приведенных расчетов видно, что температура вентиляционной струи на выходе из лавы превышает допустимые ПБ нормы. Для создания нормальных температурных условий в штреке и лаве необходимо применять искусственное охлаждение воздуха на участке 3–4. Определение необходимой холодопроизводительности воздухоохладителя производится в следующем порядке. Обратным тепловым расчетом по формуле (I.107) вычисляется температура воздуха в начале лавы при заданном нормативном значении ее в конце лавы. При этом все исходные данные в формуле (I.107) принимаются те же, что и при прямом расчете.

С учетом полученного значения температуры воздуха в начале лавы по формуле (I.107) производится обратный тепловой расчет выработки 3–4 до предполагаемого места установки воздухоохладителя. При этом относительная влажность воздуха принимается согласно рекомендаций, приведенных в п. I.7.8, коэффициент нестационарного теплообмена рассчитывается по формулам, приведенным в п. I.4.7, а остальные исходные данные принимаются те же, что и при прямом расчете. Затем по данным прямого и обратного расчетов рассчитывается потребная холодопроизводительность воздухоохладителя.

I.8. Пример теплового расчета по упрощенному способу.

I.8.I. В процессе эксплуатации глубоких горизонтов может возникнуть необходимость в определении ожидаемых температур воздуха в участковых выработках и лавах при известных температурах на групповых воздухоподающих выработках. В этом случае ИТР шахты может воспользоваться упрощенным методом теплового расчета изложенным в разделе I.6. Для его оценки произведем тепловые расчеты по шахте с исходными горногеологическими и горнотехническими данными, приведенными в п. I.7, для воздухоподающей выработки (участок 3–4) и лавы № I4 (участок 4–5) рис. I.5. Все исходные данные по упрощенной методике определяются по тем же зависимостям, что и для основной методики.

I.8.2. Расчет воздухоподающей выработки № I4 (участок 3–4).

I.8.2.I. Тепловые параметры воздуха в начале штрека принимаем по результатам расчетов, выполненных в п. I.7

$$t_1 = 24{,}I^{\circ}C, \qquad \varphi_1 = 0{,}75, \qquad \varphi_2 = 0{,}705.$$

Вычисление комплексов, входящих в основную расчетную зависимость (I.II9), производится по формулам (I.I20)–(I.I25) и (I.I33) с учетом данных табл. I.II, I.I2 и П.2.I.

$$A_I = \frac{0,444 \cdot 11,1 \cdot 600}{1020 \cdot 60 \cdot 1,26 \cdot 0,24} = 0,160 ;$$

$$\varphi_1' = \frac{760}{827_0} \cdot 0,75 = 0,689 ;$$

$$\varphi_2 = \frac{760}{831} \cdot 0,705 = 0,645 ;$$

$$B = 0,5 \quad 0,160 = 0,08 ;$$

$A_2 = 0$ (по выработке не производится транспортировка угля); комплексы A_3, A_4, A_5, A_6, B_1 и B_2 равны нулю, так как в выработке нет трубопроводов с хладоносителем

$$d_{t_1}^{н} = \frac{622 \cdot 22,51}{760 - 22,51} = 18,98 \text{ г/кг}$$

Средняя температура горных пород на участке (3-4) определяется согласно данных п. I.7.4.3

$$t_{n_{ср}} = \frac{37,9 + 39,4}{2} = 38,65^0C ;$$

$\sum Q_{ми} = 1771$ ккал/ч (см. п. I.7.4.9);

$$E_2 = 0,160 \cdot 38,65 + \frac{1770}{5140 \cdot 0,24} + 0,01 \cdot (1057 - 1007) = 7,611.$$

Коэффициенты аппроксимации влагосодержания насыщенного воздуха принимаются для ожидаемого интервала изменения температуры воздуха в выработке (20-30°С) по табл. I.II

$$n_y = -0,484 ; \quad l_y = 0,0347 ; \quad \frac{m_y}{l_y} = 303 ;$$

$$N_2 = \frac{I + 0{,}08 + 2{,}49 \cdot 0{,}645\,(-0{,}484)}{4{,}98 \cdot 0{,}645 \cdot 0{,}0347} = 2{,}72.$$

I.8.2.2. Температура воздуха в конце воздухоподающей выработки № I4 определяется по (I.II9)

$$t_2 = -2{,}72 + \sqrt{(2{,}72)^2 + \frac{I}{2{,}49 \cdot 0{,}645 \cdot 0{,}0347}\left[7{,}6II + (I-0{,}08)\times\right.}$$

$$\left.\times 24{,}I + 2{,}49 \cdot 0{,}689 \cdot I8{,}98\right] - 303 = 26{,}0^{0}C .$$

I.8.3. Расчет лавы № I4 (участок 4-5)

I.8.3.I. Температура и относительная влажность воздуха на входе в лаву составляют

$$t_1 = 26{,}0 ; \qquad \varphi_1 = 0{,}705.$$

Остальные исходные данные принимаем из п.I.7.5.I, табл. I.I2 и I.4

$$\varphi_2 = 0{,}78 ; \quad t_п = 39{,}4^{0}C ; \quad \Delta t' = 3^{0}C.$$

I.8.3.2. Вычисление комплексов, входящих в основную формулу (I.II9), производится по формулам (I.I20)-(I.I26) и (I.I33) с учетом данных табл. I.II, I.I2 и П.2.I и п. I.7.3.I2

$$A_I = \frac{6{,}3 \cdot 9{,}48 \cdot 200}{5I4I0 \cdot 0{,}24} = 0{,}968I ;$$

$$A_2 = \frac{I{,}2 \cdot 4{,}87 \cdot 0{,}63 \cdot 200}{5I4I0 \cdot 0{,}24} = 0{,}0597 ;$$

$$\varphi_1' = \frac{760}{89I} \cdot 0{,}705 = 0{,}645 ;$$

$$\varphi_2' = \frac{760}{831} \cdot 0,78 = 0,713 ;$$

$$B = 0,5\ (0,9681 + 0,0597) = 0,5139 ;$$

$$N_2 = \frac{1 + 0,5139 + 2,49 \cdot 0,713\ (-0,484)}{4,98 \cdot 0,773 \cdot 0,0347} = 5,31.$$

Тепловыделения местных источников в лаве принимаются согласно п.п. I.7.5.9 - I.7.5.I2

$$\Sigma Q_{ми} = 80600 \text{ ккал/ч},$$

тогда согласно (I.I23)

$$E_2 = 0,9681 \cdot 39,4 + 0,0597 \cdot 36,4 + \frac{80600}{5I4I0 \cdot 0,24} = 46,85 ;$$

$$d_{t_1}^{H} = \frac{622 \cdot 25,22}{760 - 25,22} = 2I,35.$$

I.8.3.3. Температура воздуха в конце лавы определяется по формуле (I.II9)

$$t_2 = -5,3I + \sqrt{(5,3I)^2 + \frac{I}{2,49 \cdot 0,713 \cdot 0,0347}\left[46,85 + (I - 0,5139)26,0 + \right.}$$

$$\left. + 2,49 \cdot 0,645 \cdot 2I,35 \right] - 303 = 30,0^{\circ}C.$$

Отклонение температуры воздуха в конце лавы по упрощенному способу расчета в сравнении с основным составило - $0,5^{\circ}C$, что вполне допустимо для практических расчетов.

2. МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ШАХТ В ОСЛОЖНЕННЫХ УСЛОВИЯХ

2.I. Выбор исходных данных

Под осложненными условиями понимают сложный (сильнопересеченный, гористый) рельеф поверхности, складчатое и нарушенное залегание горных пород, наличие в горном массиве источников тепла постоянной во времени температуры в виде восходящих потоков термальных вод. Перечисленными условиями характеризуются Ткибули-Шаорское (сложный рельеф поверхности, складчатое и нарушенное залегание горных пород) и Ткварчельское (сложный рельеф поверхности, складчатое и нарушенное залегание горных пород, восходящие потоки термальных вод) каменноугольные месторождения. Поэтому особенности методики теплового расчета выработок в осложненных условиях излагаются на примере этих месторождений.

При сложном рельефе поверхности и складчатом залегании пород естественная температура горного массива не является однозначной функцией глубины от поверхности. Кроме этого важнейшего фактора она зависит и от относительной неровности рельефа поверхности, теплофизических свойств и формы залегания литологических отложений. В отличие от ровного рельефа поверхности геотермограмма поверхностного слоя земной коры не прямая линия, а кривая, тангенс угла наклона которой к оси ординат (геотермический градиент) с увеличением глубины от поверхности неуклонно повышается (рис. 2.I). В разных точках месторождения эта кривая различна, т.е. геотермический градиент претерпевает изменение не только по глубине, но и по площади. Поэтому искомую температуру пород нельзя определить при помощи осредненного значения геотермической ступени, а необходимо иметь предварительно построенное температурное поле месторождения в целом или его характерных стратиграфических разрезов, охватывающих все воздухоподающие выработки вентиляционной сети.

2.I.I. При отсутствии подобных данных искомая температура пород приближенно определяется по приведенной геотермической ступени, которая для рассматриваемой точки приближенно дает

реальную естественную температуру пород с учетом неровности рельефа поверхности и геологического строения месторождения

$$\Gamma_{пр} = \Gamma_o + a' \Delta h_1 , \qquad (2.I)$$

где $\Gamma_{пр}$ – приведенная геотермическая ступень для данной точки, м/°С ;

Γ_o – геотермическая ступень низменности, примыкающей к рассматриваемому месторождению со сложным рельефом поверхности, м/°С ;

Δh_1 – превышение отметки поверхности над данной точкой (по вертикали) относительно плоскости сравнения (отметки взятой низменности Но), м ;

a' – эмпирический коэффициент, учитывающий приращение геотермической ступени при повышении высоты местности на I м, I/°С.

При сложном рельефе поверхности и спокойном залегании пород в среднем значение коэффициента $a' = 0{,}012$.

При сложном рельефе поверхности и складчатом залегании пород:

– с противоположными изгибами по сравнению с рельефом поверхности, когда возвышенностям рельефа соответствуют погружения пород, среднее значение коэффициента $a' = 0{,}02$;

– при согласованных изгибах пород и рельефа $a' = 0{,}006$.

Для Ткибули-Шаорского и Ткварчельского каменноугольных месторождений $\Gamma_o = 27$ м/°С, а отметка, при которой она определена $H_o = 500$ м.

2.I.2. При сложном рельефе поверхности непостоянны и параметры нейтрального температурного слоя (температура и глубина залегания). Температура нейтрального слоя определяется по формуле

$$t_н = t_o - a'' \Delta h_1 , \qquad (2.2)$$

а глубина его залегания

$$h_н = h_o + a''' \Delta h_1 , \qquad (2.3)$$

где t_o, h_o – соответственно температура и глубина залегания нейтрального температурного слоя низменности, примыкающей к месторождению со сложным рельефом поверхности, ^0C и м ;

a'' – коэффициент, учитывающий снижение температуры этого слоя при повышении высоты местности на Iм, ^0C/ м ;

a''' – коэффициент, учитывающий увеличение глубины залегания слоя с увеличением высоты местности на I м.

Значения коэффициентов a'' и a''' зависят от климатических условий местности, наличия и вида поверхностного покрова и от свойств почвы или пород, слагающих зону выше нейтрального слоя. Для Ткибули-Шаорского и Ткварчельского месторождений $a'' = 0{,}008^0C/м$, а $a''' = 0{,}02I8$

Температура и глубина залегания нейтрального температурного слоя в низменности принимаются: для Ткибули $t_o = I3{,}7^0C$, $h_o = 24{,}0$ м; для Ткварчели $t_o = I0{,}7^0C$, $h_o = 25{,}0$ м.

2.I.3. При наличии в горном массиве термальных вод в зоне их восходящего движения температура горных пород практически не отличается от температуры термальных вод. Геотермическая ступень в этой зоне определяется по результатам измерения температуры вод на разных отметках

$$\Gamma_T = \frac{H_{T_o} - H'}{t_{T_1} - t_{T_o}}, \qquad (2.4)$$

где Γ_T – геотермическая ступень в зоне движения термальных вод, м/^0C ;

H_{T_o} – отметка выхода термальных вод на поверхности, м ;

H' – наинизшая отметка точки термических наблюдений, м;

t_{T_o} – температура термальных вод у выхода на дневную поверхность, ^0C ;

t_{T_1} – температура термальных вод на глубине H_1, ^0C.

Для Ткварчельского месторождения $t_{T_o} = 32{,}0^0C$, $H_{T_o} = I200$ м. При отсутствии результатов термических наблюдений при расчетах можно принимать $\Gamma_T = 70$ м/^0C.

Таблица 2.I

Средние значения теплофизических характеристик горных пород и закладочных материалов каменноугольных месторождений Грузии

№	Наименование горной породы	Плотность γ, кг/м³		Теплофизические свойства					
				$a \cdot 10^4$, м²/ч		С, ккал/кг.°С		λ, ккал/м.ч °С	
		Ткибули	Ткварчели	Ткибули	Ткварчели	Ткибули	Ткварчели	Ткибули	Ткварчели
I.	Песчаники угленосной свиты	2600	2720	37,2	44,4	0,2I0	0,203	2,00	2,46
2.	Угольная толща	I400	I300	I2,4	6,I2	0,26C	0,250	0,45	0,I98
3.	Листоватые сланцы	2400	-	20,9	-	0,209	-	0,99	-
4.	Песчаники порфиритовой свиты байоса	2530	2700	24,5	35,7	0,2I0	0,200	I,35	I,926
5.	Дробленные закладочные материалы:								
	сухие	I800	-	8,2	-	0,I93	-	0,28	-
	влажные (с влажн.4%)	2000	-	24,3	-	0,224	-	I,I0	-

2.1.4. При сложном рельефе поверхности и складчатом залегании пород естественная температура горного массива в заданном месте выработки определяется по температурному полю или термогипсометрической карте месторождения. При отсутствии этих данных она рассчитывается по формуле

$$t_п = t_н - \frac{H - h_н}{\Gamma_{пр}}. \qquad (2.5)$$

2.1.5. В зоне восходящего движения термальных вод (рис. 2.2) температура пород принимается равной температуре термальных вод и определяется по формуле

$$t_{пт} = t_т = t_{т_0} + \frac{H}{\Gamma_т}. \qquad (2.6)$$

Внутри области теплового влияния термальных вод (рис. 2.2) температура горных пород определяется методом линейной интерполяции по значениям $t_п$ (зона III) и $t_{пт}$ (зона I).

2.1.6. Средние значения теплофизических свойств основных горных пород (теплопроводность, температуропроводность, удельная теплоемкость) даны в таблице 2.I.

При необходимости, средневзвешенные значения теплофизических свойств пород определяются по формулам (I.I4)–(I.I6).

2.1.7. Значения температуры и относительной влажности атмосферного воздуха принимаются по данным табл. 2.2.

Таблица 2.2.

Среднемесячные тепловлажностные параметры атмосферного воздуха Ткибули-Шаорского и Ткварчельского каменноугольных месторождений

Месяцы	Температура, °С			Относительная влаж., доли ед.		
	Ткибули, H= 540 м	Шаорск., плато H=II3Iм	Ткварч. H=480м	Ткибули, H=540 м	Шаорск., плато H=II3Iм	Ткварчел., H=480 м
I	2	3	4	5	6	7
Январь	3,0	-4,2	I,5	0,73	0,8I	0,76
Февраль	3,3	-3,8	I,5	0,74	0.79	0,74
Март	5,I	-0,5	3,0	0,73	0,76	0,74
Апрель	I0,9	5,7	7,4	0,66	0,74	0,73
Май	I6,2	I2,I	II,3	0,69	0,73	0,77
Июнь	I9,3	I5,4	I4,8	0,72	0,75	0,80

I	2	3	4	5	6	7
Июль	20,9	I7,7	I7,2	0,76	0,77	0,84
Август	2I,4	I7,5	I7,I	0,76	0,77	0,82
Сентябрь	I8,I	I3,2	I4,6	0,74	0,80	0,80
Октябрь	I3,3	7,6	9,4	0,72	0,8I	0,77
Ноябрь	9,2	2,9	6,I	0,67	0,79	0,73
Декабрь	5,0	-2,3	6,I	,60	0,79	0,72
Средне-год.	I2,I	6,8	9,I	0,72	0,78	0,77

2.I.8. Относительная влажность рудничного воздуха принимается по данным шахтных наблюдений. При отсутствии последних рекомендуется принимать следующие значения:

2.I.8.I. Для Ткибули – в околоствольном дворе горизонта штольни – 0,77 – 0,80; в околоствольном дворе откаточного горизонта – 0,87–0,90 ; в конце капитального квершлага – 0,92–0,93; в начале очистного забоя – 0,96–0,97.

2.I.8.2. Для Ткварчели – в околоствольном дворе горизонта штольни – 0,88 – 0,90; в околоствольном дворе откаточного горизонта – 0,97 – 0,98; на входе в очистную выработку – 0,98 (при отработке горизонта выше штольни); в конце капитального квершлага – 0,94–0,95 ; в конце уклона – 0,96 и в начале лавы 0,98 (при отработке уклонных полей).

2.I.9. Все остальные исходные данные – тепловыделение местных источников тепла, коэффициенты теплопередачи трубопроводов с тепло- и хладоносителем, коэффициенты нестационарного теплообмена между горным массивом и рудничным воздухом и др. определяются по формулам, приведенным в разделе I.

2.2. Тепловой расчет горных выработок, расположенных в зоне восходящего движения термальных вод.

2.2.I. При наличии в горном массиве термальных вод тепловой расчет всех выработок, находящихся вне зоны их восходящего движения (зона I, рис. 2.2), производится обычным способом с учетом влияния рельефа поверхности, формы залегания пород и температурных возмущений, вызванных рассеиванием тепла термальных вод (см. п.2.I).

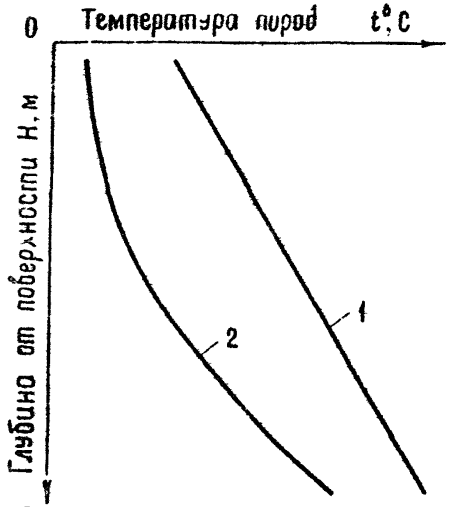

Рис. 2.1. Общий вид изменения температуры верхнего слоя земной коры с увеличением глубины от поверхности: I-при ровном рельефе поверхности (низменном районе); 2 -при сложном рельефе поверхности (под высоким хребтом).

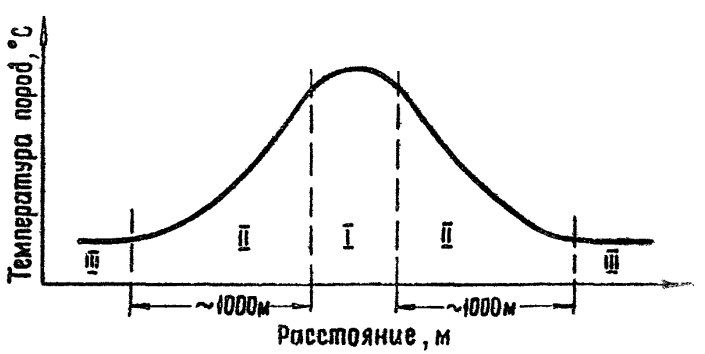

Рис. 2.2. Общий вид распределения температуры на горизонте при наличии термальных вод: I-зона восходящего движения вод; II-область их теплового влияния; III-невозмущенная термами область.

2.2.2. Рассчитывается относительный дебит термальных вод в выработке

$$G_T' = \frac{G_T}{G} \cdot \qquad (2.7)$$

Весовой дебит термальных вод (G_T) определяется по гидрогеологическим данным месторождения, а весовой расход рудничного воздуха (G) берется по проектным данным вентиляции шахты.

2.2.3. Средняя температура термальных вод на расчетном участке определяется по формуле

$$t_{T\,ср} = 0{,}25\, t_T (1+\sqrt{G_T'})^2, \qquad (2.8)$$

где t_T – естественная температура термальных вод в конце расчетного участка, определяется по формуле (2.6);

G_T' – экспериментальный коэффициент, значение которого определяется из рис. 2.3 в зависимости от предполагаемого приращения температуры рудничного воздуха ($\Delta t_в$) в пределах расчетного участка и естественной температуры термальных вод на данной глубине. Для других температур термальных вод, не приведенных на рис. 2.3, он определяется методом линейной интерполяции.

2.2.4. Выбор способа отвода термальных вод из горных выработок.

Способ отвода термальных вод выбирается в зависимости от горнотехнических условий разработки месторождения. В качестве наиболее целесообразных предлагается два способа: отвод термальных вод канавой с простым стандартным железобетонным перекрытием и отвод с помощью канавы с теплоизоляционным перекрытием (толщина изоляционного слоя 0,1 м, теплопроводность не более 0,1 ккал/м.ч.°С)

2.2.5. Определение значения относительной температуры стенок горной выработки.

Относительная температура поверхности теплоотдачи ϑ , в зависимости от выбранного способа водоотвода, по значениям критериев Fo и Bi определяется из рис. 2.4, 2.5 или рассчитывается по эмпирической зависимости

$$\vartheta = \kappa_T' \left[a_T + (1-a_T) \exp\left(-\frac{c_T Fo}{Bi}\right)\right], \qquad (2.9)$$

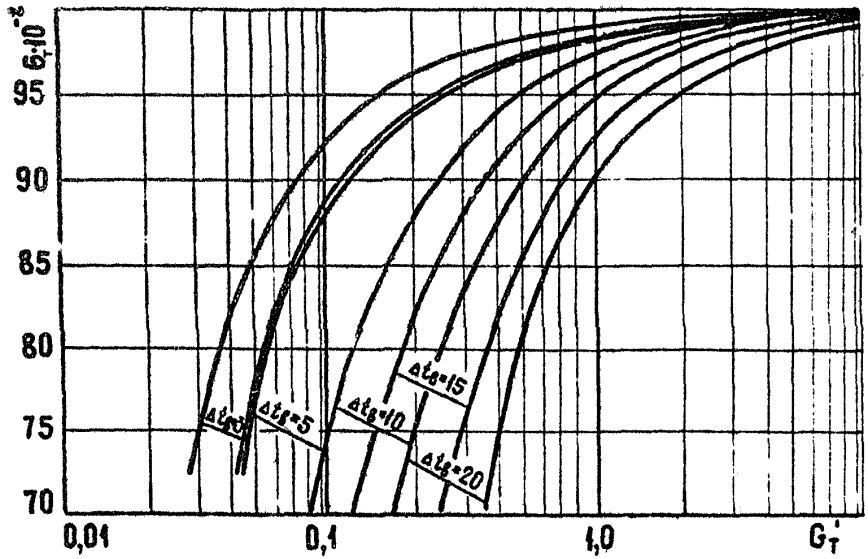

Рис. 2.3. Зависимость коэффициента σ_T от относительного дебита термальных вод при разном приращении температуры воздуха в выработке ($\Delta t_\delta = 3 \div 20^0C$). Для каждого приращения левая кривая соответствует температуре термальных вод 100^0C, а правая - 50^0C.

где K_T' - коэффициент, учитывающий способ водоотвода; при отводе термальных вод канавой с простым бетонным перекрытием $K_T' = I_0$, а при теплоизоляционном перекрытии - $K_T' = 0{,}952$;

a_T, C_T - эмпирические коэффициенты, значения которых приведены соответственно в таблицах 2.3 и 2.4.

При высоких значениях Bi, превышающих 50 ($Bi > 50$), относительная температура становится практически независящей от этого критерия. Поэтому для любого значения Bi, превышающего 50, в формуле (2.9) следует подставлять $Bi = 50$.

Таблица 2.3.

Значения коэффициента a_T, в зависимости от Bi

Bi	3	6	8	20	40	50 и более
a_T	0,40	0,28	0,20	0,15	0,12	0,10

2.2.6. Температура рудничного воздуха в вертикальных, наклонных и в горизонтальных выработках различного срока службы и назначения при наличии термальных вод рассчитывается по формуле

$$t_2 = t_1 B + \frac{1-B}{A+\Delta\varphi\beta}\left[E + \Delta\varphi\beta\varepsilon' + \frac{\sum Q_{мн}}{Gc_p} \pm L\sin\psi\left(\frac{T}{\Gamma_T} + 9{,}76\cdot10^{-3}\right)\right]. \quad (2.10)$$

В формуле (2.10):

- при отсутствии на расчетном участке трубопроводов с тепло- и хладоносителем :

$$A = \frac{\alpha\vartheta U L}{Gc_p} + \frac{K_{\tau_T} U_T L_T}{Gc_p}; \quad (2.11)$$

$$E = \frac{\alpha\vartheta U L}{Gc_p} t_{\tau_{ср}} + \frac{K_{\tau_T} U_T L}{Gc_p} t_{n_L}; \quad (2.12)$$

- при наличии на расчетном участке трубопроводов с тепло- и хладоносителем ;

Таблица 2.4.

Значения коэффициента C_T в зависимости от критериев Bi и Fo

Fo \ Bi	3	6	8	20	40	50 и более
0,02	I0,5	3I	68	268	340	I275
0,03	8,5	40	85	353	900	I365
0,04	8,5	40	90	377	920	I275
0,05	9,0	4I	99	298	856	II70
0,06	9,5	40	97	336	787	I068
0,07	9,5	38	94	3I7	737	993
0,08	9,5	38	9I	297	680	912
0,09	9,5	36	87	286	650	878
0,I	9,0	35	82	266	596	830
0,2	8,7	28	59	I92	428	575
0,3	7,8	24	48	I56	358	465
0,4	6,9	2I	4I	I32	304	390
0,5	6,3	I9	37	II7	228	3[illegible]
0,6	6,0	I8	3I	III	202	298
0,7	5,6	I7	29	99	216	272
0,8	5,2	I6	28	88	205	256
0,9	4,8	I5	26	79	I95	250
I,0	4,6	I3	25	72	I84	255
2,0	3,6	I0	I7	42	I04	I55
3,0	2,8	8	I3	34	8I	II5
4,0 и более	2,8	6,5	I3	30	75	92

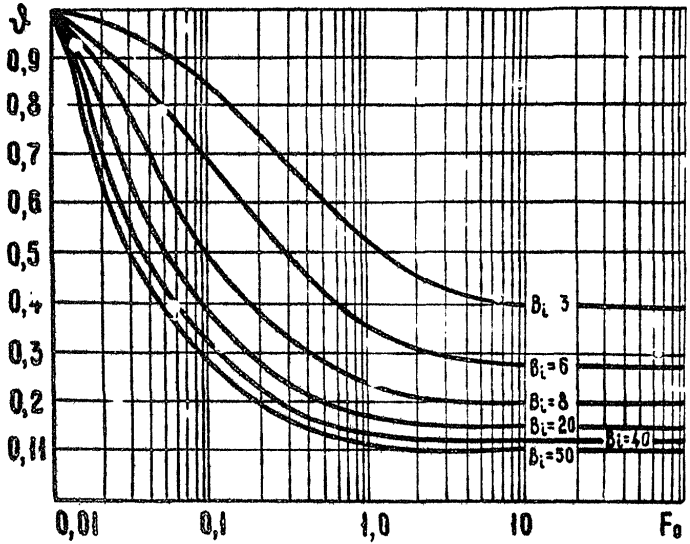

Рис. 2.4. Критериальные кривые для определения безразмерной температуры при отводе термальных вод канавой с простым перекрытием

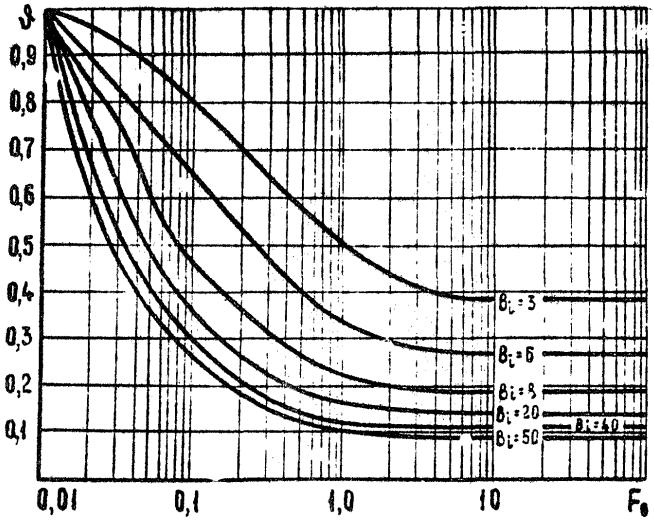

Рис. 2.5. Кривые для определения безразмерной температуры при отводе термальных вод канавой с теплоизоляционным перекрытием

$$A=\frac{L}{Gc_p}\left(\alpha\vartheta U+K_{хтр}U_{хтр}+K_{ттр}U_{ттр}+K_{тт}U_{т}\right), \qquad (2.13)$$

$$E=\frac{L}{Gc_p}\left(\alpha\vartheta U t_{тср}+K_{хтр}U_{хтр}\theta_{хтр}+K_{ттр}U_{ттр}\theta_{тср}+K_{тт}U_{т}t_{пл}\right). \qquad (2.14)$$

Температура воздуха в начале выработки при обратном тепловом расчете определяется по формуле

$$t_1=\frac{t_2}{B}-\frac{1-B}{B(A+\Delta\varphi\Gamma)}\left[E+\Delta\varphi\Gamma\varepsilon'+\frac{\sum Q_{мн}}{Gc_p}\pm L\sin\varphi\left(\frac{T}{\Gamma_т}+9{,}76\cdot10^{-3}\right)\right]. \qquad (2.15)$$

Значения комплексов Γ, B^0 и T в формулах (2.10)-(2.15), коэффициентов и величин $\theta_{хср}$, θ_1 и ϑ_2 определяются по формулам подраздела I.5.

2.3. Пример теплового расчета выработки с термальными водами.

2.3.I. Исходные данные. Расчет проводится на примере шахты "Ткварчельская" им. Ленина для откаточной штольни гор. 504 м в которой имеется приток термальных вод. Исходные данные взяты по материалам шахтных наблюдений.

Температура рудничного воздуха в начале и в конце расчетного участка $t_1=18^0C$, $t_2=27{,}2^0C$; длина расчетного участка штольни $L=1400$ м; относительная влажность воздуха в начале и в конце участка $\varphi_1=0{,}97$, $\varphi_2=0{,}99$; количество воздуха $Q=900$ м^3/мин, $P=722{,}5$ мм рт.ст.,; $S=12{,}6$ м^2; дебит термальных вод $G_т=370000$ кг/ч.

2.3.I.I. Расчетный участок расположен в порфиритовой свите байоса; согласно табл. 2.I теплофизические свойства горных пород $c=0{,}2$ ккал/кг.^{0}С; $\alpha=0{,}00357$ м^2/ч; $\lambda=1{,}926$ ккал/м.ч.^{0}С и плотность горных пород $\gamma=2700$ кг/м^3; время проветривания начала и конца расчетного участка согласно плану горных работ $\tau_1=36000$ ч, $\tau_2=19200$ ч; естественная температура термальных вод согласно шахтным замерам $t_т=42^0C$.

2.3.I.2. Геометрические характеристики выработки: периметр вычисляется по формуле (I.2)

$$U=3{,}8\sqrt{12{,}6}=13{,}5\text{ м},$$

эквивалентный радиус сечения горной выработки по формуле (I.3)

$$R_o = \frac{2 \cdot 12{,}6}{13{,}5} = 1{,}87 \text{ м}.$$

2.3.I.3. Плотность воздуха на расчетном участке определяется по формуле (I.10)

$$\gamma = 0{,}464 \cdot \frac{722{,}5 - 0{,}98 \cdot 20{,}56}{273 + 22{,}6} = 1{,}102 \text{ кг/м}^3.$$

2.3.I.4. Весовой расход воздуха на расчетном участке

$$G = 900 \cdot 1{,}102 \cdot 60 = 59508 \text{ кг/ч}.$$

2.3.I.5. Естественная температура термальных вод на гор. +504м определяется по формуле (2.6)

$$t_T = 32 + \frac{700}{70} = 42^0\text{C}.$$

2.3.I.6. По формуле (2.7) рассчитывается относительный дебит термальных вод

$$G_T' = \frac{370\,000}{59\,508} = 6{,}2.$$

По значению G_T' из рис. 2.3 находим, что $G_T = 0{,}99$.

2.3.I.7. Средняя температура термальных вод на расчетном участке определяется по формуле (2.8)

$$t_{T_{ср}} = 0{,}25 \cdot 42 \,(1 + \sqrt{0{,}99})^2 = 41{,}83^0\text{C}.$$

2.3.I.8. Расчетное время проветривания участка определяется по формуле (I.I7)

$$\tau = \frac{36000 + 19200 + 2\sqrt{36000 \cdot 19200}}{4} = 26950 \text{ ч}.$$

2.3.I.9. Средняя скорость воздуха на расчетном участке определяется по формуле (I.I0)

$$\upsilon_{ср} = \frac{0900}{60 \cdot I2,6} = I,2 \text{ м/с.}$$

2.3.2. Коэффициент теплоотдачи рассчитывается по формуле (I.39)

$$\lambda = 2.I,5\ (I,I02 \cdot I,2)^{0,8} \cdot \left(\frac{I3,5}{I2,6}\right)^{0,2} = 3,80 \text{ккал/м}^2\text{.ч.}^0\text{C},$$

где коэффициент шероховатости принят $\varepsilon = I,5$ согласно п.I.2.2.I

2.3.3. Тепловыделение от местных источников тепла. Местные источники тепла, кроме окислительных процессов, отсутствуют. По формуле (I.62)

$$\Sigma Q_{ми} = Q_o = 3.\ I3,5 \cdot I400 = 56700 \text{ ккал/ч}$$

принято, что $q_o = 3$ ккал/м^2.ч.

2.3.4. Значение критериев Био и Фурье определяется по формулам (I.79) и (I.82)

$$Bi = \frac{3,80 \cdot I,87}{I,926} = 3,7\ ;$$

$$Fo = \frac{0,00357 \cdot 26950}{I,87^2} = 27,5.$$

2.3.5. На расчетном участке термальные воды отводятся с помощью канавы с простым перекрытием. По значениям Fo и Bi на рис. 2.4 определяем среднее значение относительной температуры в пределах расчетного участка - $\vartheta = 0,365$.

По эмпирической зависимости (2.9)

$$\vartheta = I,0\left[0,37 + (I - 0,37)e^{-\frac{3,663 \cdot 27,5}{3,7}}\right] = 0,37,$$

где значения коэффициентов $a_т = 0,37$ и $c_т = 3,663$ соответственно найдены по таблицам 2.3 и 2.4 методом интерполяции.

2.3.6. На расчетном участке не происходит полезного ископаемого, следовательно, в комплексах А и Е определяемых по формулам (2.II) и (2.I2) $R_{\tau_T} = 0$, тогда

$$A = \frac{3{,}80 \cdot 2{,}365 \cdot 13{,}5 \cdot 1400}{59508 \cdot 0{,}24} = 1{,}82;$$

$$E = 1{,}82 \cdot 41{,}83 = 76{,}172.$$

2.3.7. По формуле (I.I03) определяется значение комплекса Б.

$$Б = \frac{1542 \cdot 1{,}425}{722{,}5 - 24{,}2} = 3{,}147.$$

2.3.8. Приращение относительной влажности на расчетном участке согласно (I.I00) составляет

$$\Delta\varphi = 0{,}99 - 0{,}97 = 0{,}02.$$

2.3.9. Так как $\Delta\varphi \neq 0$, то комплекс В вычисляется по формуле (I.99)

$$B = \left(\frac{1 + 3{,}147 \cdot 0{,}97}{1 + 3{,}147 \cdot 0{,}99}\right)\left(1 + \frac{1{,}82}{0{,}02 \cdot 3{,}147}\right) = 0{,}636.$$

2.3.I0. Расчетный участок горизонтальный, поэтому значение величины Т не вычисляется. По формуле (2.I0) определяется температура воздуха в конце расчетного участка.

$$t_2 = 18.0{,}636 + \frac{1 - 0{,}636}{1{,}82 + 0{,}02.3{,}147}\left[76{,}172 + 0{,}02 \cdot 3{,}147 \times \right.$$

$$\left. \times 8{,}07 + \frac{56200}{59508 \cdot 0{,}24}\right] = 27{,}0^0C.$$

3. МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ ШАХТ СЕВЕРА

3.1. Выбор исходных данных

Тепловому расчету горных выработок должны предшествовать анализ горногеологических и горнотехнических условий разработки (схем вскрытия и подготовки месторождения, схем проветривания, схем транспортирования полезного ископаемого); определение тепловлажностных параметров воздуха на поверхности перед подачей в стволы шахт и законов их изменения; нахождение значений относительной влажности рудничного воздуха по длине вентиляционного пути; определение для каждой выработки геометрических и технических характеристик; расхода воздуха; наличия местных источников тепла; естественной температуры горных пород, окружающих выработку; их теплофизических свойств, влажности (льдистости), а также времени проветривания горных выработок.

3.1.1. Значения тепловлажностных параметров воздуха на поверхности (температура относительная влажность, барометрическое давление) могут быть получены на основе многолетних наблюдений на метеостанциях. Значения среднегодовой, среднеянварской и среднеиюльской температур и относительных влажностей воздуха для различных районов приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1.

Значения среднегодовой, среднеянварской и среднеиюльской температур и относительных влажностей воздуха

Районы	Средняя относительная влажность воздуха, доли единиц			Средняя температура воздуха, °С		
	за год	январь	июль	за год	январь	июль
Воркута	0,78	0,70	0,90	-5,7	-28,0	10,9
Анадырь, Магаданская область	0,82	0,75	0,90	-7,7	-22,7	10,5
Норильск	0,70	0,63	0,84	-8,4	-32,0	22,0
Талнах	0,76	0,71	0,80	-10,5	-30,5	14,6
Сангары (ЯАССР)	0,70	0,60	0,80	-10,1	-39,8	18,1
Джебарики-Хая (ЯАССР)	0,71	0,60	0,80	-12,0	-43,3	19,1
Аркагала (Магаданская область)	0,65	0,60	0,78	-12,8	-39,5	13,3
Тикси (ЯАССР)	0,82	0,80	0,85	-13,6	-33,7	6,7
Чульман (ЯАССР)	0,73	0,66	0,85	- 9,5	-36,6	15,7

3.1.2. Закон изменения параметров атмосферного воздуха находится на основании обработки данных метеорологических наблюдений и выражается синусоидальной функцией

$$t = t_{ср\,год} + A_t \sin \frac{2\pi\tau'}{\omega'} ; \qquad (3.1)$$

$$\varphi = \varphi_{ср\,год} + A_\varphi \sin \frac{2\pi\tau'}{\omega'} , \qquad (3.2)$$

где $t_{ср\,год}, \varphi_{ср\,год}$ – среднегодовые значения соответственно температуры и относительной влажности атмосферного воздуха, °С, доли ед.;

A_t, A_φ – амплитуды изменения соответственно температуры и влажности атмосферного воздуха относительно их среднегодовых значений, °С, доли ед.;

ω' – период колебаний (8760 ч);

τ' – время от начала отсчета, ч.

Изменение параметров воздуха, подаваемого в стволы, в результате его подогрева (охлаждения), осушения (увлажнения) учитывается введением поправок в синусоидальный закон изменения параметров атмосферного воздуха. Например, в случае подогрева воздуха перед подачей в стволы до +2°С в течение зимнего периода времени имеет место сочетание гармонического и линейного законов изменения температуры (рис. 3.1).

При небольшом изменении температуры в зимний период, когда среднемесячные температуры наружного воздуха не превышают – 10°С и подогрев происходит в течение двух-трех месяцев, может быть также использован гармонический закон изменения температуры, но подобранный в соответствии с новыми данными.

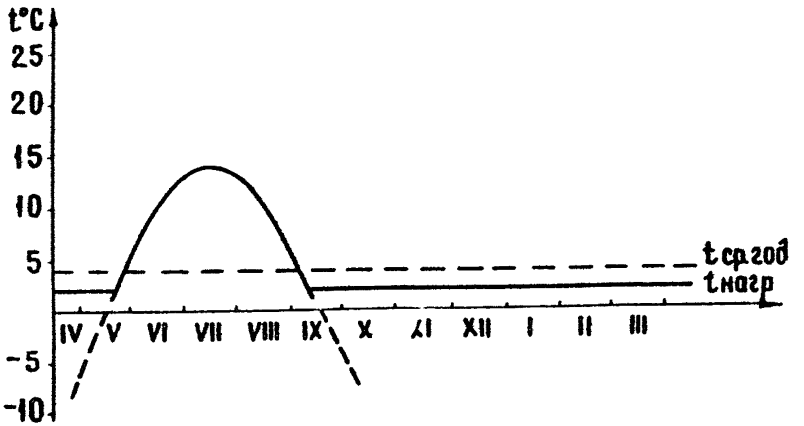

Рис. 3.I. Сочетание гармонического и линейного законов изменения температуры воздуха

3.I.3. Закон изменения относительной влажности воздуха вдоль вентиляционного пути принимается по данным шахтных замеров. При отсутствии последних рекомендуется принимать для шахт с естественным тепловым режимом (атмосферный воздух подается в горные выработки без изменения его параметров) следующие значения относительной влажности воздуха.

в околоствольных дворах - 0,80; на остальных участках вентиляционного пути - 0,85 - 0,90; в очистных забоях - 0,95.

Для шахт с искусственным подогревом воздуха в зимний период до температуры +2°С относительная влажность смеси воздуха, подаваемого в ствол, 0,35-0,45, при движении по выработкам она постепенно повышается и достигает 0,9 - 1,0 на расстоянии 1500-2000 м от начала вентиляционного пути.

3.I.4. Геометрические характеристики выработок принимаются по данным технологических проектов или шахтных замеров.

3.I.5. Значения расходов воздуха в выработках принимаются по данным проекта вентиляции или шахтных замеров.

3.I.6. Естественная температура горных пород в начале каждой выработки (отсчет следует вести по направлению движения свежей струи) определяется по формуле

$$t_n = t_o + G(H - h_o), \qquad (3.3)$$

где t_o – температура горных пород на глубине залегания нейтрального слоя (зоны постоянной температуры), принимается близкой к среднегодовой температуре атмосферного воздуха для данной местности, °С ;

h_o – глубина залегания пород нейтрального слоя, для условий вечной мерзлоты составляет в среднем 20-30 м.

Средние значения температуры пород на глубине залегания нейтрального слоя, мощности многолетней мерзлоты и геотермический градиент по отдельным районам области многолетней мерзлоты приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Геотермические условия месторождений области многолетней мерзлоты

Месторождение	Температура на глубине нейтрального слоя, °С	Мощность многолетней мерзлоты, м	Геотермический градиент, °С/м
1	2	3	4
Согинское (Тикси)	-10,5	600-700	0,020
Наталкинское (рудник им. Матросова)	- 4,0	500	0,022
Джебарики-Хая	-5,0-6,0	350-450	0,027
Кангаласское	-6,0	200-300	0,030
Эге-Хая	-7,0-5,0	200-400	0,024
Иультинское	-8,0-3,5	210-420	0,022
Валькумей	-6,0-4,0	240-250	0,027
Норильское	до -5,0	до 250	0,020
Аркагалинское	-7,0-4,0	30-250	0,031
Аллах-Юнь	-4,0	200	0,026
Им. Лазо	-9,0-3,0	150-410	0,022
Сангарское	-2,5-3,5	130-150	0,028

I	I	2	I	3	I	4
Печерский угольный бассейн (Воркута)		до -I,5		до I20		0,020
Чульманское		до -I,0		до I50		0,030
Анадырское		-6,0-5,0		90-I50		0,028

3.I.7. Теплофизические свойства горных пород - теплопроводность, температуропроводность, удельная теплоемкость, их плотность и влажность (льдистость) - принимаются в соответствии с данными исследований, полученными для соответствующих горнопромышленных районов или шахтных полей. При отсутствии данных для определения теплофизических свойств основных горных пород можно использовать средние значения из табл. 3.3.

В случае, когда выработку окружает неоднородный горный массив, вместо удельной объемной теплоемкости $(c\gamma)$, λ и a следует использовать их эффективные значения $(c\gamma)_{эф}$, $\lambda_{эф}$ и $a_{эф}$.

3.I.7.I. Эффективная удельная объемная теплоемкость $(c\gamma)_{эф}$ определяется как средневзвешенная величина для пород в зоне активного влияния выработки, приблизительно равного 6 м (срок службы более года), по формуле

$$(c\gamma)_{эф} = \frac{\sum_{i}^{n} c_i \gamma_i V_i}{\sum_{i}^{n} V_i}, \qquad (3.4)$$

где V_i - объемы различных пород в зоне влияния выработки, $м^3$.

3.I.7.2. Коэффициент теплопроводности $\lambda_{эф}$ определяется в зависимости от типа неоднородностей и места расположения относительно выработки (рис. 3.2).

Таблица 3.3

Теплофизические характеристики горных пород

Наименование горной породы	Влажность W, %	Плотность γ, кг/м^3	Теплофизические свойства в состоянии талом/мерзлом		
			$a \cdot 10^3$, м^2/ч	λ, ккал/м.ч.$^\circ$С	c, ккал/кг.$^\circ$С
Песок	5	1200	1,4/2,0	0,40/0,52	0,24/0,22
	10	1200	1,9/2,9	0,62/0,79	0,27/0,22
	5	1400	1,7/2,3	0,57/0,69	0,24/0,21
	10	1400	2,4/3,3	0,87/1,68	0,26/0,22
	15	1400	2,5/3,8	1,00/1,35	0,29/0,24
	15	1600	2,7/4,3	1,25/1,60	0,29/0,26
	15	1800	3,0/4,5	1,55/1,90	0,29/0,23
	15	2000	3,0/4,7	1,76/2,20	0,29/0,23
Супесь	10	1200	1,2/1,7	0,38/0,45	0,27/0,22
	10	1400	1,4/2,2	0,72/0,69	0,26/0,22
	15	1600	2,0/3,0	0,93/1,10	0,29/0,23
	15	1800	2,3/3,1	1,19/1,31	0,29/0,23
	15	2000	2,4/3,2	1,40/1,50	0,29/0,23
Суглинки и глины	10	1400	1,2/2,2	0,44/0,68	0,26/0,22
	15	1400	1,4/2,5	0,56/0,84	0,29/0,24
	20	1400	1,5/2,7	0,65/0,94	0,32/0,25
	20	1600	1,7/2,8	0,88/1,12	0,32/0,25
	20	1800	1,7/2,9	0,95/1,20	0,32/0,25
	20	2000	2,0/3,1	1,24/1,50	0,32/0,24
Уголь	3	1400	0,7/0,7	0,25/0,26	0,25
	10	1450	0,7/0,9	0,29/0,35	0,30/0,27
Песчаник плотный	3	2500	4,4/4,4	2,2/2,2	0,2/0,2
	6	2500	4,2/4,6	2,3/2,4	0,22/0,21
Глинистый и песчаный сланцы	2	2500	3,0/3,0	1,5/1,5	0,2
	6	2500	2,9/3,1	1,6/1,7	0,22

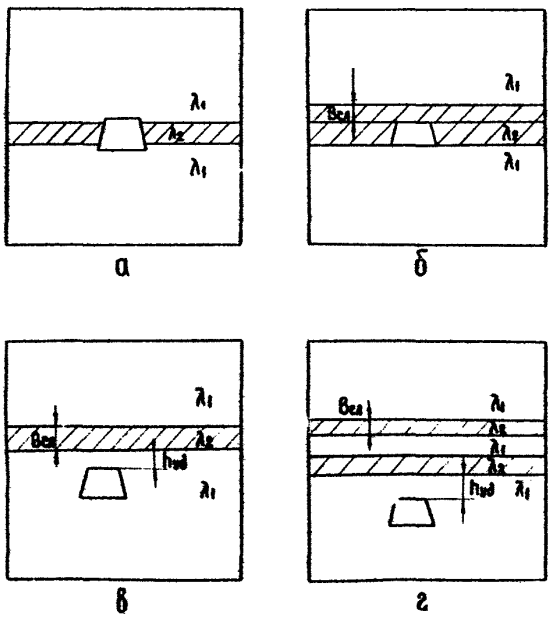

Рис. 3.2. Схемы к расчету эффективной теплопроводности неоднородного массива

Выработка пройдена по тонкому слою (рис. 3.2,а)

- при $\lambda_1 \leq 3\lambda_2$

$$\lambda_{эф} = \frac{\lambda_1 U_п + \lambda_2 U_у}{U_п + U_у}, \qquad (3.5)$$

- при $\lambda_1 > 3\lambda_2$

$$\lambda_{эф} = \frac{\lambda_1 (U - U_у) + \lambda_2 U_у}{U - 0{,}5 U_у}, \qquad (3.6)$$

где λ_1, λ_2 - соответственно коэффициенты теплопроводности пород и угля, ккал/м.ч.^{0}С ;

$U_п, U_у$ - части периметра выработки, занятые соответственно породой и углем, м.

Выработка пройдена по мощному пласту низкой теплопроводности с оставлением пачки в кровле (почве) (рис. 3.2, б)

$$\lambda_{эф} = K_{стр} \frac{\lambda_{эфк}(U - U_у + \lambda_2 U_у)}{U}, \qquad (3.7)$$

где $K_{стр}$ - структурный коэффициент, учитывающий неоднородность теплофизических характеристик

$$K_{стр} = 0{,}7 + 0{,}5 \frac{\lambda_2}{\lambda_1}, \qquad (3.8)$$

где $\lambda_{эфк}$ - эффективный коэффициент теплопроводности пород кровли (почвы)

$$\lambda_{эфк} = \frac{6\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 b_{сл} + \lambda_2 (6 - b_{сл})}, \qquad (3.9)$$

где $b_{сл}$ - мощность слоя (пачки) пород в кровле (почве) выработки, м.

В кровле (почве) выработки залегает тонкий слой с низкой теплопроводностью (рис. 3.2, в)

$$\lambda_{эф} = K_{стр}\frac{\lambda_{эфк} U_к + \lambda_1 (U - U_к)}{U}, \qquad (3.10)$$

где $U_к$ – ширина кровли выработки, м

– при $h_{уд} < 4$ м

$$K_{стр} = 0{,}8 + 0{,}07\, h_{уд}, \qquad (3.11)$$

– при $h_{уд} \geqslant 4$ м

$$K_{стр} = 1{,}08, \qquad (3.12)$$

где $h_{уд}$ – расстояние от слоя до кровли (почвы) выработки, м.

$\lambda_{эфк}$ определяется по формуле (3.9).

В кровле (почве) выработки равномерно перемежаются породные прослойки с λ_1 и λ_2 (рис. 3.2, г)

$$\lambda_{эф} = K_{стр}\frac{\lambda_{эфк} U_к + \lambda_1 (U - U_к)}{U - 0{,}5\, U_к}, \qquad (3.13)$$

$$K_{стр} = 0{,}51 + 0{,}07\, h_{уд} - 0{,}2\frac{b_{сл}}{\sum b_{сл}}, \qquad (3.14)$$

где $\sum b_{сл}$ – суммарная мощность прослоек угля, залегающих в кровле (почве) выработки, м.

3.1.7.3. Эффективный коэффициент температуропроводности определяется по формуле

$$a_{эф} = \frac{\lambda_{эф}}{(c\gamma)_{эф}}. \qquad (3.15)$$

3.I.8. Расчетное время проветривания.

Расчетное время проветривания горных выработок определяется по формулам, приведенным в п.I.I.II.

3.2. Расчет тепловыделений местных источников в горных выработках.

3.2.I. Тепловыделения при работе электрических машин, механизмов и оборудования определяются по формулам, приведенным в разделе I.2. В последующих пунктах настоящего раздела приведены зависимости по определению тепловыделений, характерных для условий разработки шахт Севера.

3.2.2. Тепловыделение при работе погрузочных машин

$$Q_{пг} = 860 K_з N - 2{,}34\, A_ф h_г \,, \qquad (3.16)$$

где $K_з$ – коэффициент загрузки машины во времени, принимается равным $K_з = 0{,}3 - 0{,}$;

$A_ф$ – фактическая производительность погрузочной машины, т/ч;

$h_г$ – высота погрузки, м.

3.2.3. Тепловыделения от работы машины с дизельным приводом

$$Q_{диз} = K_з\, G_{диз}\, Ч_{диз} \,, \qquad (3.17)$$

где $G_{диз}$ – средний расход дизельного топлива, кг/ч;

$Q_{диз}$ – теплота сгорания I кг дизельного топлива, ккал/кг.

3.2.4. Тепловыделения от адиабатического сжатия воздуха

$$Q_{ад} = \frac{G(H_2 - H_1)}{427} \,, \qquad (3.18)$$

где

$$G = 36\,\gamma v S \,. \qquad (3.19)$$

Плотность воздуха γ определяется по формуле (I.40).

3.2.5. Теплообмен воздушного потока с подземными трубопроводами.

Теплопотери от трубопровода определяются по формуле

$$Q_{тр} = K_{тр и} U_{тр} (t - \Theta_{ср}) L, \qquad (3.20)$$

где $\Theta_{ср}$ – средняя температура подвижного агента в трубопроводе, ^0C;

$$U_{тр и} = 3{,}14 \left(d_{вн} + 2\delta_{тр} + 2\delta_{из} \right), \qquad (3.21)$$

где $\delta_{тр}, \delta_{из}$ – толщины соответственно стенки трубопроводв и теплоизоляции, м;

$K_{тр и}$ – коэффициент теплопередачи от подвижного агента в теплоизолированном трубопроводе к воздуху, ккал/м^2.ч.^{0}C:

$$K_{тр и} = \frac{1}{\frac{d_н}{\alpha_\Theta d_{вн}} + \frac{\delta_{тр}}{\lambda_{тр}} + \frac{\delta_{из}}{\lambda_{из}} + \frac{1}{\alpha_{тр}}}, \qquad (3.22)$$

где $\lambda_{из}$ – коэффициент теплопроводности материала изоляции, ккал/м.ч.^{0}C;

$$\alpha_\Theta = 0{,}023 \frac{\lambda_a}{d_{вн}} \left(\frac{\omega d_н}{\nu_a} \right)^{0{,}8} \left(\frac{\nu_a}{a_a} \right)^{0{,}2}, \qquad (3.23)$$

где ν_a – кинематическая вязкость подвижного агента, м^2/ч ;

λ_a, a_a – коэффициенты теплопроводности, температуропроводности подвижного агента, ккал/м.ч.^{0}C, м^2/ч ;

ω – скорость подвижного агента в трубопроводе, м/с.

Коэффициент теплоотдачи от трубопровода к воздушному потоку определяется по формуле

$$\alpha_{тр} = \alpha_к + \alpha_р + \alpha_м . \qquad (3.24)$$

Значение конвективной составляющей коэффициента теплоотдачи определяется по формуле (I.69), а радиационной составляющей - по формуле (I.72), в которой

$$t_{ст}=t_1+\frac{K_\tau}{\alpha}\left(t_п-t_1\right); \qquad (3.25)$$

$$t_{тр}=t_1-\frac{K'_{тр.и}}{\alpha_к}\left(t_1-\theta_1\right); \qquad (3.26)$$

$$K'_{тр.и}=\frac{1}{\frac{d_н}{\alpha_\theta d_{в.н}}+\frac{\delta_{тр}}{\lambda_{тр}}+\frac{\delta_{из}}{\lambda_{из}}+\frac{1}{\alpha_к}}. \qquad (3.27)$$

Коэффициент нестационарного теплообмена K_τ в выражении (3.25) определяется по формулам (I.71), (3.36) или (3.37) в зависимости от времени проветривания выработки.

Массообменная составляющая коэффициента теплоотдачи определяется по формуле

$$\alpha_м=2{,}5\,\alpha_н\frac{\varphi_1 p_н^{t_1}-p_н^{t_{тр}}}{t_1-\theta_1}, \qquad (3.28)$$

где $p_н^{t_1}$, $p_н^{t_{тр}}$ - парциальное давление водяного пара соответственно при температуре воздуха и стенки трубопровода, мм рт.ст; определяется по табл. П.2 или рассчитывается по формуле (I.4I).

3.3. Нестационарный теплообмен воздушного потока с горным массивом.

3.3.I. Тепловой поток от горного массива к воздушному потоку в общем виде можно записать

$$Q_п=K_\varphi K_\tau K_{агр}\left[t_п-t(\tau)\right]Ul, \qquad (3.29)$$

где K_φ - коэффициент, учитывающий разницу между расчетным параметром и действительной теплообменной поверхностью выработки. Для выработок без крепи $K_\varphi = I{,}5$; при дере-

вянной крепи вразбежку K_{φ} = 1,3, всплошную – K_{φ} =1,2;

$K_{агр}$ – коэффициент, учитывающий интенсификацию теплообмена в период оттаивания (промерзания) окружающих выработку мерзлых (талых) пород. При одинаковом знаке температур воздуха и окружающих пород следует принимать $K_{агр}$=1.

При постоянной температуре воздуха $K_{агр}$ определяется по формуле

$$K_{агр} = 1 + \frac{1 - K_{\varepsilon} K_{\beta}(1+K_{т})}{K_{\varepsilon} K_{\beta}(1+K_{т})(1+0{,}5\sqrt{F_{O_т}})}, \qquad (3.30)$$

где K_{ε} – коэффициент тепловой активности талого грунта по отношению к его промерзшей части;

$$K_{\varepsilon} = \sqrt{\frac{\lambda_{т} c_{т} \gamma_{т}}{\lambda_{м} c_{м} \gamma_{м}}}, \qquad (3.31)$$

$F_{O_т}$ – критерий Фурье;

$$F_{O_т} = \frac{a_{м} \tau_{т}}{R_{a}^{2}}, \qquad (3.32)$$

$\lambda_{м}, c_{м}, \gamma_{м}, a_{м}, \lambda_{т}, c_{т}, \gamma_{т}, a_{т}$ – теплофизические характеристики соответственно мерзлой и талой породы;

$\tau_{т}$ – время оттаивания (замерзания), ч;

$K_{т}$ – температурный симплекс;

$$K_{т} = \frac{t_{п} - t_{a}}{t_{a} - t}, \qquad (3.33)$$

t_{a} – температура агрегатных переходов (таяния, замерзания воды, рассола), °С

При переменной температуре воздуха в горной выработке за период оттаивания (замерзания) $\tau_{т}$ за t принимается средняя температура воздуха.

K_{β} – коэффициент, являющийся функцией значения $K_{т}$ и критерия Коссовича

$$K_{O}^{*} = \frac{r' W \gamma_{т}}{c_{м} \gamma_{м} (t_{a} - t)}, \qquad (3.34)$$

где W – влажность породы (доли единицы);

Значение коэффициента K_β определяется по табл. П.5. Для ориентировочных расчетов K_β в диапазоне изменения K_τ =0,5÷16 можно использовать формулу

$$K_\beta = \left[6{,}43\,K_\tau^{1{,}36} + \left(0{,}133\,K_\tau + 1{,}77\right)K_0\right]^{-0{,}5}. \qquad (3.35)$$

3.3.2. Коэффициент нестационарного теплообмена рассчитывается в зависимости от закона изменения температуры поступающего в выработки воздуха.

3.3.2.I. При постоянной температуре поступающего воздуха в течение всего срока существования выработок, проветриваемых до года, и расчете среднегодовых температур коэффициент K_τ определяется по формуле (I.78).

В выработках, проветриваемых более года, коэффициент K_τ определяется по формулам:

$$K_\tau = 0{,}75\,\frac{\alpha_{кр}^{0{,}06}\,\lambda_{эр}^{0{,}71}}{\left(R_0 + \delta_{кр}\right)^{0{,}48}}\left(\frac{c\gamma_{эр}}{\tau}\right)^{0{,}23}; \quad \tau = 1 \div 10 \text{ лет}; \qquad (3.36)$$

$$K_\tau = 0{,}63\,\frac{\alpha_{кр}^{0{,}05}\,\lambda_{эр}^{0{,}71}}{\left(R_0 + \delta_{кр}\right)^{0{,}59}}\left(\frac{c\gamma_{эр}}{\tau}\right)^{0{,}18}; \quad \tau > 10 \text{ лет}, \qquad (3.37)$$

где $\alpha_{кр}$ – коэффициент теплоотдачи от поверхности выработки к воздуху с учетом термического сопротивления крепи, затяжки и забутовки, ккал/м^2.ч.^{0}С.

$$\alpha_{кр} = \frac{1}{U}\left[\left(U - U_{кр}\right)\alpha + \frac{\frac{d_{кр}}{\ell_{кр}}U_{кр}}{\frac{1}{\alpha} + \frac{\delta_{кр}}{\lambda_{кр}} + \frac{\delta_{зат}}{\lambda_{зат}} + \frac{\delta_{заб}}{\lambda_{заб}}} + \frac{U_{кр} - \frac{d_{кр}}{\ell_{кр}}U_{кр}}{\frac{1}{\alpha} + \frac{\delta_{зат}}{\lambda_{зат}} + \frac{\delta_{заб}}{\lambda_{заб}}}\right], \qquad (3.38)$$

где $U_{кр}$ – часть периметра выработки, занятая крепью, м;

$d_{кр}$ - диаметр крепи, м;

$l_{кр}$ - шаг крепи, м;

$\delta_{зат}$, $\delta_{заб}$ - соответственно толщина затяжки и забутовки, м;

$\lambda_{зат}$, $\lambda_{заб}$ - коэффициенты теплопроводности соответственно материала затяжки и забутовки, ккал/м.ч.^{o}С.

При расчетах среднегодовых температур воздуха в качестве расчетного значения температуры горного массива принимается естественная температура горных пород (t_n).

3.3.2.2. Температура воздуха, поступающего в шахту, изменяется в течение года по закону, близкому к гармоническому (при расчете сезонных температур). Коэффициенты нестационарного теплообмена определяются для времени τ_1 , прошедшего от последнего перехода температуры воздуха через ее среднегодовое значение, по формулам:

для летнего периода (июльские температуры)

при $t_{ср\ год} < t(\tau)$

$$K_\tau = \rho\left[6{,}4 + 0{,}1\mathcal{L}_{кр} + \frac{t_{n_1}+t_{n_2}}{t_{ст_1}+t_{ст_2}} + n_1 ctg\frac{2\pi(\tau_1-\delta\tau_t)}{8760}\right]; \qquad (3.39)$$

для зимнего периода

при $t_{ср\ год} > t(\tau)$

$$K_\tau = \rho\left[1{,}02 + 0{,}1\mathcal{L}_{кр} - 2{,}6\frac{t_{n_1}+t_{n_2}}{t_{ст_1}+t_{ст_2}} + n_3 ctg\frac{2\pi(\tau_1-\delta\tau_t)}{8760}\right], \qquad (3.40)$$

где

$$\rho = \frac{0{,}8 + 0{,}59\lambda}{3{,}2 + 4{,}5R_o}; \qquad (3.41)$$

$$n_1 = 3 + 0{,}07\mathcal{L}_{кр} + 3{,}6\frac{\tau_1-\delta\tau_t}{8760}; \qquad (3.42)$$

$$n_3 = 4{,}6 + 0{,}09\mathcal{L}_{кр} - 3{,}6\frac{\tau_1-\delta\tau_t}{8760}; \qquad (3.43)$$

$\delta\tau_t$ - фазовое отставание сезонных колебаний температуры на расстоянии ΣL от начала вентиляционного пути. Реко-

мендуется учитывать только для шахт, пройденных в вечно-мерзлых породах;

$$\delta\tau_t = 5\cdot10^{4}\frac{\sum L}{G}; \qquad (3.44)$$

t_{n_1}, t_{n_2} – естественная температура горных пород в начале и конце выработки, °С;

$t_{ст_1}, t_{ст_2}$ – температуры поверхности выработки в начале и конце, °С.

$$t_{ст_1} = t_{1\,ср\,год} + \frac{K_{агр}K_\tau}{\alpha_{кр}}\left(t_{n_1} - t_{1\,ср\,год}\right); \qquad (3.45)$$

$$t_{ст_2} = t_{2\,ср\,год} + \frac{K_{агр}K_\tau}{\alpha_{кр}}\left(t_{n_2} - t_{2\,ср\,год}\right). \qquad (3.46)$$

Значения коэффициентов $K_{агр}$, K_τ в формулах (3.45) и (3.46) определяются по уравнениям (3.30)-(3.35) и (I.78), в котором вместо α подставляется значение $\alpha_{кр}$ вычисленное по формуле (3.38).

За расчетную температуру горного массива следует принимать среднегодовое значение температуры рудничного воздуха ($t_{ср.год}$).

3.3.2.3. Температура воздуха, поступающего в шахту, изменяется в течение года по сложному закону, обусловленному подогревом (охлаждением) воздуха в зимний (летний) периоды (рис. 3.I). При сложных законах изменения температуры поступающего воздуха в течение года рекомендуется разбивать функцию на ряд участков, заменяя ее на них прямыми, параллельными оси времени (рис. 3.3). В итоге должна быть получена кривая ступенчатого вида, для которой коэффициент нестационарного теплообмена определяется формулой

$$K_\tau = K'_\tau\frac{t_{n_1} - t_{1\,ср\,год}}{t_{n_1} - t_1} + K_{\tau_1}\frac{t_{1\,ср\,год} - t_1}{t_{n_1} - t_1}, \qquad (3.47)$$

где K'_τ, K_{τ_1} – определяются соответственно при значениях времени τ и τ_1 по формулам (I.78) и (3.30)-(3.35);

t'_1 – текущее средневзвешенное значение температуры воздуха за время τ_1 в начале каждого расчетного участка, °С.

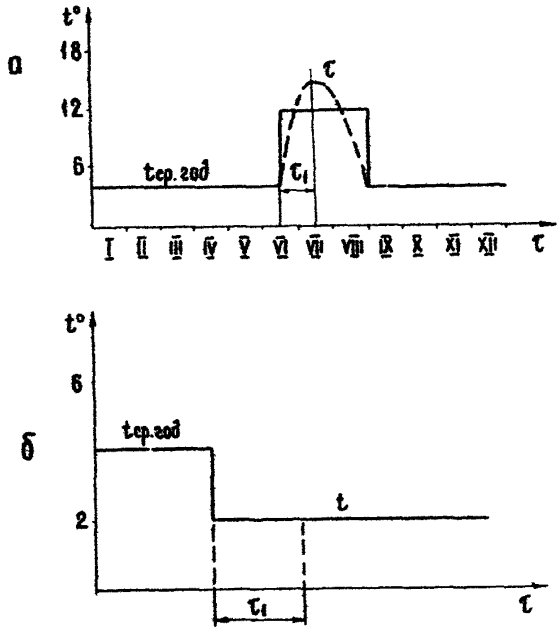

Рис. 3.3. Расчетная схема к определению K_τ при сложном законе изменения температуры рудничного воздуха: а – в летний период; б – в зимний период.

За расчетную температуру горного массива принимается естественная температура горных пород ($t_п$).

Зависимость (3.47) может быть также использована для нахождения коэффициента нестационарного теплообмена в случае установки в начале расчетного участка в момент времени $\tau-\tau_1$ воздухоохладителя (калорифера).

3.3.2.4. Коэффициент нестационарного теплообмена для выработок, пройденных в неоднородном массиве при небольшом времени проветривания ($\tau < 100$ ч), рассчитывается по формулам (I.86) - (I.87) или (I.88).

3.3.3. Нестационарный теплообмен воздушного потока с добытым полезным ископаемым.

Удельный тепловой поток от транспортируемого ископаемого к воздуху равен

$$q_т = K_{агрт} K_{\tau т} U_{тс} (t'_п - t), \qquad (3.48)$$

где $q_т$ – удельное тепловыделение от транспортируемого ископаемого, ккал/ч.м.;

$U_{тс}$ – периметр теплообмена транспортируемого ископаемого с воздухом, м;

$$U_{тс} = b_{тс} A_т ; \qquad (3.49)$$

$A_т$ – грузопоток транспортируемого ископаемого, т/ч;

$b_{тс}$ – коэффициент перехода от грузопотока к средней по времени ширине "полосы" транспортируемого ископаемого; для конвейеров принимается $b_{тс} = 0{,}016$, для вагонеток $b_{тс} = 0{,}001$.

При скреперной доставке и в очистных забоях со взрывной отбойкой вместо $b_{тс}$ и $A_т$ в формулы (3.48) и (3.49) подставляется средняя ширина поверхности отбитого ископаемого.

$K_{\tau т}$ – коэффициент нестационарного теплообмена между транспортируемым ископаемым и воздушным потоком, ккал/м^2.ч.^{0}С; для лав рассчитывается по формуле (I.89), для других выработок – по формуле (I.92).

$t'_п$ – температура транспортируемого ископаемого, °С. Ориентировочно принимается равной естественной температуре горных пород $t_п$;

$K_{агрт}$ – коэффициент интенсивности теплообмена при изменении агрегатного состояния в промерзающем (или оттаивающем) транспортируемом ископаемом;

$$K_{агрт} = 1 + 0{,}09 \left(\frac{W_т}{C_т}\right)^{1{,}73}, \qquad (3.50)$$

где $W_т$ – весовая влажность (льдистость) транспортируемого ископаемого, %;

$C_т$ – удельная теплоемкость транспортируемого ископаемого, ккал/кг.°С.

При одинаковом знаке абсолютных величин температур воздуха (t) и транспортируемого ископаемого ($t_т$) $K_{агрт} = 1{,}0$.

3.4. Тепловой расчет горных выработок.

3.4.1. Температура воздуха в вертикальных, наклонных и горизонтальных выработках различного срока службы и назначения рассчитывается по формулам

$$t_2 = Бt_{п_2} - \frac{Бt_{п_1} - t_1 - \frac{B - БК}{A}\left[\exp(AL) - 1\right]}{\exp(AL)}, \qquad (3.51)$$

где

$$A = \frac{1}{m}\left[K_ф K_{агр} K_т U + K_{агрт} K_{тт} U_{тс} + K_{тр} U_{тр} + K_б U_б\right]; \qquad (3.52)$$

$$Б = \frac{K_ф K_{агр} K_т U}{Am}; \qquad (3.53)$$

$$K = \frac{t_{п_2} - t_{п_1}}{L}; \qquad (3.54)$$

$$B = \frac{1}{m}\left[K_{агрт} K_{тт} U_{тс} t'_п + K_{тр} U_{тр} \theta_{ср} + \sum q_а - G(i + i')d_1\beta\right]; \qquad (3.55)$$

$$m = G\left[c_p + (r + r_1 n_c \varphi_2 \frac{760}{P_2}\right]; \qquad (3.56)$$

$$\sum q_a = \frac{Q_{a2} + Q_3 + Q_M + Q_A + Q_B}{L}; \qquad (3.57)$$

$$\beta_c = \frac{P_1 \varphi_2 - P_2 \varphi_1}{P_2 \varphi_1 L}; \qquad (3.58)$$

$$d_1 = 622 \frac{\varphi_1 P_H^{t_1}}{P_1 - \varphi_1 P_H^{t_1}}, \qquad (3.59)$$

где n_c – коэффициент из приближенной зависимости влагосодержания воздуха от его температуры при $\varphi = 1{,}0$, который выбирается для ожидаемого на участке изменения температуры по табл. 3.4.

Таблица 3.4.

Значения n_c для различных диапазонов изменения температуры воздуха

Диапазон изменения температуры, °С	n_c	Диапазон изменения температуры, °С	n_c
от -40 до -30	0,01	от 15 до 20	0,33
от -30 до -20	0,05	от 15 до 25	0,93
от -20 до -10	0,09	от 20 до 25	1,10
от -10 до 0	0,19	от 20 до 30	1,32
от 0 до 15	0,40	от 25 до 30	1,40
от 5 до 15	0,53	от 25 до 35	1,69
от 10 до 15	0,56	от 30 до 35	1,87
от 10 до 20	0,72	от 30 до 40	2,02

Для ожидаемого на участке L изменения температуры $\Delta t \leq 5$°С в диапазоне температур от 0 до 35°С коэффициент n_c можно рас-

считывать по формуле

$$n_c = 0{,}00125 t_1^2 + 0{,}0095 t_1 + 0{,}341 , \qquad (3.60)$$

Рас от средней температуры подвижного агента в трубопроводе ($\theta_{ср}$), входящей в комплекс В, производится по формуле (I.II0) в которой значение величины $A_{тр}$ для теплоизолированного трубопровода определяется по формуле

$$A_{тр и} = \frac{K_{тр и} U_{тр и}}{G_{тр} c_{тр}} , \qquad (3.61)$$

где $U_{тр и}$ - внешний периметр теплоизолированного трубопровода, м.

Уравнение (3.51) позволяет определять как среднегодовые, так и сезонные (среднемесячные) температуры рудничного воздуха. При этом для определения среднегодовых температур в качестве расчетных принимаются естественные температуры горного массива в начале и конце выработки ($t_{п_1}$, $t_{п_2}$), а коэффициент нестационарного теплообмена рассчитывается в зависимости от срока существования выработок по формулам (I.13) или (3.36) и (3.37). Остальные параметры, характеризующие тепловой режим выработок, следует принимать равными среднегодовым значениям.

При расчете среднемесячных температур рудничного воздуха в случае гармонического закона изменения температуры атмосферного воздуха в качестве расчетных температур горного массива принимаются температуры стенки в начале и конце выработки ($t_{ст_1}$, $t_{ст_2}$), которые определяются по формулам (3.45) и (3.46), а коэффициенты нестационарного теплообмена рассчитываются по формулам (3.39) и (3.40).

В случае подогрева воздуха в зимний период (рис. 3.I) коэффициенты нестационарного теплообмена для летнего и зимнего периодов определяются по формуле (3.47), а в качестве расчетных принимаются значения естественной температуры горного массива в начале и конце выработки.

Обратные тепловые расчеты горных выработок производятся по формуле

$$t_1 = Бt_{п_1} - (Бt_{п_2} - t_2)\exp(AL) + \frac{B - БК}{A}\left[\exp(AL) - 1\right] . \qquad (3.62)$$

В качестве средних температур $\theta_{ср}$ для определения параметра B по формуле (3.55) принимаются их значения, вычисленные по результатам прямых тепловых расчетов.

3.4.2. Температура подвижного агента в теплоизолированном трубопроводе рассчитывается по формуле

$$\theta_2 = t_2 - \frac{t_1 - \vartheta_1 + \frac{t_2 - t_1}{A_{тр_и} L}\left[\exp(A_{тр_и} L) - 1\right]}{\exp(A_{тр_и} L)} . \qquad (3.63)$$

Значение величины $A_{тр_и}$ определяется по формуле (3.61).

После определения величины θ_2 производится сопоставление результатов расчетов с принятой величиной допустимой погрешности, согласно условию (I.II8). При величине ошибки большей заданного значения $\Delta\theta$, расчеты по определению B, t_2 и θ_2 повторяются пока не будет удовлетворено условие (I.II8).

3.5. Пример теплового расчета угольной шахты Севера.

3.5.I. Исходные данные. Упрощенная схема расчетной сети горных выработок шахты включает: вертикальный ствол, квершлаг, откаточный штрек, лаву. Исходные горногеологические и горнотехнические данные теплового расчета для всех участков маршрута приведены в табл. 3.5.

Расчет температуры воздуха в выработках необходимо провести для двух случаев:

а) естественный тепловой режим. Воздух подается в ствол без изменения параметров в зимний и летний период. Закон изменения температуры подаваемого воздуха (3.I)

$$t = -10 + 30 \sin \cdot \frac{2\pi\tau}{8760} \ , \ ^{\circ}C ;$$

б) подогрев воздуха в холодный период года до $+2^{\circ}C$ с увлажнением воздуха до $\varphi_0 = 0{,}6$. Изменение температуры воздуха, подаваемого в выработки, показано на рис. 3.4. Среднегодовая температура воздуха $+4^{\circ}C$. Среднелетняя температура $+12^{\circ}C$. Продолжительность

Таблица 3.5

Основные исходные данные выработок расчетного маршрута

Исходные данные	Участок маршрута				
	0-поверхность	I-ствол	2-квершлаг	3-штрек	4-лава
Глубина, м	0	400	400	400	280
Длина, м	-	400	I040	II50	200
Сечение, $м^2$		8,6	I0,4	6,0	6,0
Периметр, м	-	I2,4	I3,6	I0,0	I0,0
Температура породного массива в конце участка, °С	-I0,5	-2,7	-0,5	-0,5	-I,7
Время проветривания, ч	-	I40000	I30000	40000	0 ÷ 72
Скорость воздуха, м/с	-	3,I	2,5	2,2	2,0
Производительность транспорта по выработке, т/ч	-	I00	I00	30	30
Вид транспорта	-	скиповой подъем	электровозн. откатка	электровозн.откатка	самотек
Средняя продолжительность транспортирования пород от забоя до участка, ч	-	0,3	0,25	0,I5	0,02
Мощность электрооборудования на участке, кВт	-	20	20	20	50
Влажность пород, %	-	3,5	3,0	4,0	5,0
Тип пород	-	плотный песчаник	плотный песчаник	уголь I,2м, песчаник	уголь 2,0м, песчаник
Относительная влажность воздуха					
среднегодовая	0,7	0,85	0,9	0,9	0,9
летняя	0,8	0,90	0,9	0,9	0,9
зимняя	0,6	0,75	0,9	0,9	0,9
Барометрическое давление воздуха, мм рт.ст.	760	796	796	796	786

неотопительного периода ≈ 4,5 мес.

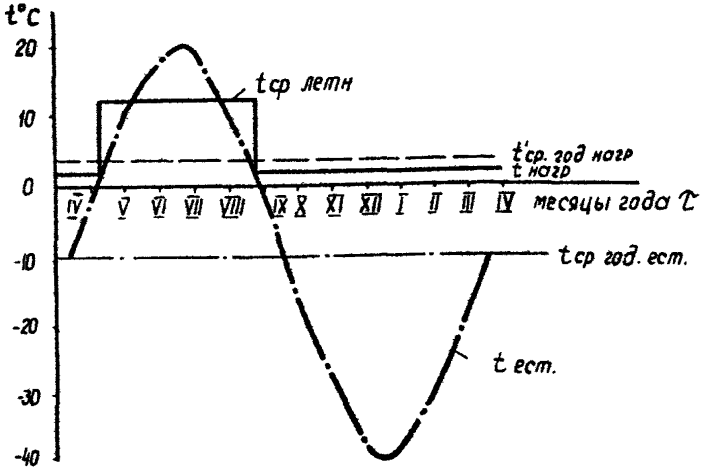

Рис. 3.4. Графики изменения температуры воздуха, поступающего в шахту в течение года

3.5.2. Расчет максимальной температуры воздуха при естественном тепловом режиме.

3.5.2.I. Ствол. Парциальное давление насыщенного пара в воздухе, подаваемом в ствол для среднегодового значения температуры $t_{ср год}$=-I0°С, определяется по формуле (I.4I).

$$p_{н_1} = \exp \frac{360 - 18{,}7 \cdot 10}{236 - 10} = 2{,}1 \text{ мм рт.ст.}$$

Влагосодержание воздуха (3.59)

$$d_1 = 622 \frac{0{,}7 \cdot 2{,}1}{760 - 0{,}7 \cdot 2{,}1} = 1{,}2 \text{ г/кг.}$$

Коэффициент β_c (3.58)

$$\beta_c = \frac{760 \cdot 0,85 - 796 \cdot 0,7}{796 \cdot 0,7 \cdot 400} = 4 \cdot 10^{-4}.$$

Плотность воздуха (I.40)

$$\gamma = 0,464 \frac{760 - 0,7 \cdot 2,I}{-I0 + 273} = I,4 \text{ кг/м}^3.$$

Весовой расход воздуха (3.I9)

$$G = 3600 \cdot I,4 \cdot 3,I \cdot 8,6 = I33000 \text{ кг/ч}.$$

Тепловыделения от адиабатического сжатия воздуха в стволе (3.I8)

$$Q_{ad} = \frac{I33000 \cdot 400}{427} = I25000 \text{ ккал/ч}.$$

Тепловыделения от электрооборудования в стволе (кабели), с учетом коэффициента потерь $m_э = 0,004$ (I.25)

$$Q_э = 860 \cdot 0,004 \cdot 20 = 34,4 \text{ ккал/ч}.$$

Удельные абсолютные тепловыделения (3.57)

$$\Sigma q_A = \frac{I25000 + 34,4}{400} = 3I4 \text{ ккал/ч}$$

В диапазоне ожидаемых изменений температуры воздуха в стволе от -I0 до 0^0C по табл. 3.4 определяется коэффициент $n_c = 0,I9$.

Коэффициент m (3.56)

$$m = I33000 \cdot \left[0,24 + (0,59 + 0,08) \cdot 0,I9 \cdot 0,85 \frac{760}{796} \right] = 45200.$$

При $t < 0^0$C и $t_п < 0^0$C величина $K_{отр} = I$.

При бетонной сплошной крепи ствола, тепловые свойства которой близки к свойствам окружающего породного массива, термическое сопротивление крепи не учитывается

$$\alpha_{кр} = \alpha.$$

Коэффициент теплоотдачи стенок выработки при коэффициенте шероховатости $\varepsilon = I$ определяется по формуле (I.39)

$$\alpha_1 = 2 \cdot I \cdot (I,4 \cdot 3,I)^{0,8} \left(\frac{I2,4}{8,6}\right)^{0,2} = 7,I \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^0\text{C}.$$

Коэффициент нестационарного теплообмена для ствола определяется по формуле (3.37), так как $\tau > I0$ лет

$$K_\tau = 0,63 \frac{7,I^{0,05}\,(2,2)^{0,77}}{I,7^{0,59}} \left[\frac{500}{I40000}\right]^{0,I8} = 0,26 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^0\text{C}.$$

Коэффициент теплоотдачи транспортируемого полезного ископаемого при периметре скипа $U_т = 8$ м^2 и площади его сечения $S_т = 4$ м^2 по формуле (I.39) с учетом (I.93)

$$\alpha_т = 2 \cdot I \left[I,4\,(3,I+7)\right]^{0,8} \cdot \left(\frac{8}{4}\right)^{0,2} = I9,I3 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^0\text{C}.$$

Коэффициент теплопроводности транспортируемого ископаемого при коэффициенте разрыхления $K_р = I,2$ и коэффициенте теплопроводности угля в массиве $\lambda_у = 0,25$ ккал/м.ч.^{0}C (табл. 3.3) равен

$$\lambda_у = \frac{0,25}{I,2} = 0,2I \text{ ккал/м.ч.}^0\text{C}.$$

Коэффициент температуропроводности транспортируемого угля (табл. 3.3)

$$a_у = 0,0007 \text{ м}^2/\text{ч}.$$

Параметр $z_т$ определяется по (I.94)

$$z_т = \frac{I9,I3}{0,2I}\sqrt{0,0007 \cdot 0,3} = I,32.$$

По (I.83) находится значение $f(z_т)$

$$f(z_т) = 0,644.$$

Коэффициент $K_{\tau_т}$ между транспортируемым ископаемым и воздушным потоком в стволе (I.92)

$$K_{\tau_т} = I9,I3\left(I - 0,644\right) = 6,8 \text{ ккал/м}^2\text{ч}^0\text{C}.$$

$K_{агрт} = 1$.

При величине $\delta_{1с} = 0{,}001$ (скип-вагонетка), средний периметр поверхности транспортируемого исконаемого (3.49)

$$U_{тс} = 0{,}001 \cdot 100 = 0{,}1 \text{ м} .$$

Параметр А (3.52)

$$A = \frac{1}{45200}\left[1 \cdot 1 \cdot 0{,}26 \cdot 12{,}4 + 1 \cdot 6{,}8 \cdot 0{,}1\right] = 8{,}6 \cdot 10^{-5} .$$

Параметр Б (3.53)

$$Б = \frac{1.1.0{,}26 \cdot 12.4}{5200 \cdot 8{,}6 \cdot 10^{-5}} = 0{,}835 .$$

Параметр В (3.55)

$$B = \frac{1}{45200}\left[1.0{,}1.6{,}5.(-1{,}1)+3I4-I33000{,}0{,}675.1{,}2.4.10^{-4}\right] =$$

$$= 0{,}006 .$$

Параметр К (3.54)

$$K = \frac{-2{,}7 + 10{,}5}{400} = 0{,}0195 \ ^{0}C/м .$$

Среднегодовая температура воздуха в конце ствола (3.51)

$$t_2 = 0{,}835 \cdot (-2{,}7) - \frac{0{,}835(-10{,}5)-(-10)-\frac{0{,}006-0{,}0195 \cdot 0{,}835}{8{,}6 \cdot 10^{-5}}\left[\exp(8{,}6x\right.}{\exp(8{,}6 \cdot 10^{-5} \cdot 400)} \rightarrow$$

$$\rightarrow \left.\frac{x\ 10^{-5} \cdot 400) - 1}{}\right] = -6{,}3^{0}C .$$

Температура поверхности выработки в начале ствола (3.45)

$$T_1 = -10 + \frac{1 \cdot 0{,}26}{7{,}1}(-10{,}5 + 10) = -10^{0}C .$$

Температура поверхности выработки в конце ствола (3.46)

$$T_p = -6,3 + \frac{I \cdot 0,26}{7,I}\ (-2,7 + 6,3) = -6,2^0C\ .$$

Выполним расчеты по изложенной выше методике для летнего периода $t_1 = 20^0C$, $\varphi_1 = 0,8$, $\varphi_2 = 0,9$ (табл. 3.5).

$$\rho_H^t = \exp\left(\frac{360 + I8,7 \cdot 20}{236 + 20}\right) = I8,2 \text{ мм рт.ст.};$$

$$d_1 = 622\ \frac{0,8 \cdot I8,2}{760 - 0,8.I8,2} = I2,3 \text{ г/кг} \quad ;$$

$$\beta_c = \frac{760 \cdot 0,9 - 796 \cdot 0,8}{796 \cdot 0,8 \cdot 400} = 0,00018 \ ;$$

$$\gamma = 0,464\ \frac{760 - 0,8 \cdot I8,2}{20 + 273} = I,Id \text{ кг/м}^3;$$

$$G = 3600 \cdot I,I8 \cdot 3,I \cdot 8,6 = II5000 \text{ кг/ч};$$

$$Q_{об} = \frac{II5000 \cdot 400}{427} = I08000 \text{ ккал/ч};$$

$$Q_э = 34,4 \text{ ккал/ч} \quad ;$$

$$\Sigma q_д = \frac{I08000 + 34,4}{400} = 270 \text{ ккал/ч.м} \ ;$$

$$n_c = 0,83 \text{ (} t \text{ от I5 до } 20^0C) \ ;$$

$$m = II5000 \left[0,24 + 0,59 \cdot 0,83 \cdot 0,9\ \frac{760}{796} \right] = 74000.$$

Коэффициент K_ε (3.31), $K_\varepsilon = I$.

$\tau_т = I460$ - время оттаивания пород (определяется по времени от перехода t через 0^0C до расчетного момента).

Критерий Фурье (3.32)

$$F_{O_T} = \frac{4,4 \cdot 10^{-8} \cdot 1460}{1,7^2} = 2,3 .$$

Средняя температура воздуха за период оттаивания пород $t_{отгр} = 10^0C$.
Температурный симплекс K_T (3.33)

$$K_T = \frac{-10}{-10} = 1 .$$

Критерий Коссовича (K_0) (3.34)

$$K_0 = \left| \frac{80 \cdot 0,03 \cdot 250}{0,2 \cdot 2500 \ (0-10)} \right| = 1,2 .$$

Из табл. П. 5 находим значение K_β

$$K_\beta = 0,35 .$$

Коэффициент интенсификации теплообмена в выработке за счет агрегатных переходов (3.30)

$$K_{агр} = 1 + \frac{1 - 1 \cdot 0,35 \ (1+1)}{1 \cdot 0,35 \ (1+1) \ (1+0,5\sqrt{2,3})} = 1,22 .$$

Величина фазового отставания сезонных колебаний температуры на расстоянии 200 м (3.44)

$$\delta\tau_t = 5 \cdot 10^4 \cdot \frac{200}{115000} = 87 \text{ ч} .$$

Коэффициент n_1 (3.42) при времени от ближайшего перехода t через среднегодовое значение (2190 ч)

$$n_1 = 3 + 0,07 \cdot 7,1 + 3,6 \frac{2190 - t}{8760} = 4,427 .$$

Так как $\frac{2190 - 87}{8760} = 0,24 < 0,3$, принимаем $\frac{\tau - \delta\tau_t}{8760} = 0,3$,

$$n_1 = 4,627$$

Коэффициент ρ (3.41)

$$\rho = \frac{0,8 + 0,59 \cdot 2,2}{8,2 + 4,5 \cdot 1,7} = 0,13 .$$

Коэффициент нестационарного теплообмена (3.39) $\frac{\tau_1 - \delta\tau_т}{8760} = 0,3$

$$K_\tau = 0,13\left[6,4 + 0,1 \cdot 1,1 + \frac{-10,5 - 2,7}{-10 - 6,2} + 4,627 ctg(2\pi \cdot 0,3)\right] =$$

$$= 0,835 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^0\text{C}.$$

$$K_{\tau_т} = 6,8 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^0\text{C} .$$

Для малых значений времени $Fo \to 0$ зависимость (3.30) для определения $K_{агр}$ может быть упрощена

$$K_{агр} = \frac{1}{K_\varepsilon \; K_\beta (1 + K_т)} ;$$

$$K_\varepsilon = 1 ; \qquad K_т = \frac{-1,1}{-20} = 0,05 .$$

По (3.34)

$$K_0 = \left|\frac{80 \cdot 0,05 \cdot 1400}{0,25 \cdot 1400(-20)}\right| = 0,8 ;$$

$$K_\beta = 0,7 ;$$

$$K_{агр} = \frac{1}{1 \cdot 0,7\,(1+0,05)} = 1,4 .$$

По формулам (3.52), (3.53), (3.55), (3.54), (3.51) рассчитываются значения:

$$A = \frac{1}{74000}\left[1,22 \cdot 1 \cdot 0,835 \cdot 12,4 + 1,4 \cdot 6,5 \cdot 0,1\right] = 1,83 \cdot 10^{-4} ;$$

$$Б = \frac{1,22 \cdot 1 \cdot 0,835 \cdot 12,4}{2,4 \cdot 10^{-4} \cdot 74000} = 0,93 ;$$

$$В = \frac{1}{74000}\left[1,4 \cdot 6,5 \cdot 0,1 \cdot (-1,1) + 270 - 115000 \cdot 0,595 \cdot 12, \cdot 0,00018\right] = 0,0018 ;$$

$$К = \frac{-6,2 + 10}{400} = 0,01\ ^{0}C/м ;$$

$$t_2 = 0,93(-6,2) - \frac{0,93\,(-10) - 20 - \frac{0,0018 - 0,01 \cdot 0,93}{1,83 \cdot 10^{-4}}\left[\exp\,(1,83 \cdot 10^{-4} \cdot 400) - 1\right]}{\exp(1,83 \cdot 10^{-4} \cdot 400)} = 18,6^{0}C .$$

3.5.2.2. Определение температуры воздуха для квершлага и штрека производится аналогичным образом. В штреке, пройденном по пласту угля, по формулам (3.6, 3.4, 3.16), определяются эффективные значения тепловых свойств пород:

$$\lambda_{эф} = \frac{2,2\,(6 - 2,4) + 0,25 \cdot 2,4}{6 - 0,5 \cdot 2,4} = 1,75 \text{ ккал/м.ч.}^{0}C ,$$

$$(c\gamma)_{эф} = \frac{0,2 \cdot 2500 \cdot 0,88 + 0,25 \cdot 1400 \cdot 0,12}{1} = 480 \text{ ккал/м}^{3}\text{.}^{0}C;$$

$$a_{эф} = \frac{1,75}{480} = 3,65 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{2}/\text{ч} .$$

Данные расчетов при определении среднегодовой температуры воздуха по участкам приведены ниже.

Квершлаг	Откаточный штрек
$p_н^{t_н}$ = 2,8 мм рт.ст.	3 мм рт.ст.
$d_н$ = 1,9 г/кг	2,1 г/кг
$\beta_н$ = 1,[illegible] $\cdot 10^{-3}$	0

$\sum q_a$ = 16 ккал/м.ч	15 ккал/м.ч
γ = 1,4 кг/м^3	1,4 кг/м^3
G = 130000 кг/ч	67000 кг/ч
m = 45500	22000
$K_{вып}$ = 1	1
R_o = 1,8 м	1,4 м
α = 5,7 ккал/м^2.ч.^{0}С	10,8 ккал/м^2.ч.^{0}С
K_τ = 0,27 ккал/м^2.ч.^{0}С	0,32 ккал/м^2.ч.^{0}С
$\alpha_т$ = 30 ккал/м^2.ч.^{0}С	31 ккал/м^2.ч.^{0}С
$R_т$ = 0,7 м	0,7 м
$\lambda_у$ = 0,21 ккал/м.ч.^{0}С	0,21 ккал/м.ч.^{0}С
$a_у$ = 0,7 . 10^{-3} м^2/ч	0,7 . 10^{-3}м^2/ч
$z_т$ = 1,9	1,45
$f(z_т)$ = 0,73	0,67
$K_{т_т}$ = 4,5 ккал/м^2.ч.^{0}С	10 ккал/м^2.ч.^{0}С
$U_т$ = 0,1 м	0,03 м
A = 9,1 . 10^{-5}	2 . 10^{-4}
$Б$ = 0,89	0,95
B = 0	6.7 . 10^{-4}
K = 0,002^{0}С/м	0
t_2 = - 5,7^{0}С	- 4,0^{0}С
$t_{п_1}$ = - 6,1^{0}С	-5,5^{0}С
$t_{п_2}$ = - 5,5^{0}С	- 5,9^{0}С

Данные расчетов при определении среднемесячной температуры воздуха

Кварцлаг	***Откаточный штрек***
$p_н^{t_1}$ = 15 мм рт.ст.	11,5 мм рт.ст.
d_1 = 10,8 г/кг	8,3 г/кг
β_c = 0	0
γ = 1,25 кг/м^3	1,25 кг/м^3
G = 11800 кг/ч	60000 кг/ч
$\sum q_a$ = 16 ккал/м.ч	15 ккал/м.ч.
m = 84000	36000
K_ε = 1	1
$\tau_т$ = 1460 ч	1460
$Fo_т$ = 2,0	2,7
$K_{тт}$ = 1,1	0,8

$\lvert K_0 \rvert$	1,3	2,3
K_β	0,3	0,3
$K_{\alpha гр}$	1,35	1,4
$\delta\tau_t$	190 ч ($\frac{\tau_1 - \delta\tau_t}{8760} = 0,3$)	1700 ч ($\frac{\tau_1 - \delta\tau_t}{8760} = 0,3$)
n_1	8,1	11,8
ρ	0,13	0,12
K_τ	1,3 ккал/м^2.ч.^{0}С	1,4 ккал/м^2.ч.^{0}С
K_{τ_T}	4,5 ккал/м^2.ч.^{0}С	10 ккал/м^2.ч.^{0}С
K_ε	1	1
K_{TT}	0,06	0,08
$\lvert K_0 \rvert$	0,9	1,2
K_β	0,75	0,6
$K_{\alpha грт}$	1,25	1,5
A	2,9 . 10^{-4}	1,2 . 10^{-4}
$Б$	0,99	1
$В$	1,8 . 10^{-4}	4 . 10^{-4}
K	0,002^{0}С/м	0
t_2	12,0^{0}С	8,3^{0}С

3.5.2.3. Тепловой расчет лавы производится по аналогичной методике, но коэффициент нестационарного теплообмена рассчитывается, как средневзвешенный по периметру при различном времени проветривания угольного забоя, пород кровли и почвы на первой и второй дорогах и обрушенных пород. Среднеинтегральное время проветривания забоя и пород по первой дороге - 10 ч, пород по второй дороге - 20 ч, обрушенных пород - 30 ч. Скорости движения воздуха: по первой дороге - 2,2 м/с, по второй - 1,8 м/с.

Результаты расчетов приведены ниже.

$\rho_н^{t_1}$ = 8,2 мм рт.ст.
d_1 = 5,4 г/кг
β_c ≈ 0,00006
γ = 1,2 кг/м^3
G = 60000 кг/ч
$\Sigma q_д$ = 0
m = 36000

$K_{агр}$ = 2,5
R_o = I,4 м
α_1 = I6 ккал/м^2.ч.^{0}С
α_2 = I3 ккал/м^2.ч.^{0}С
K_{τ_3} = I,.5 ккал/м^2.ч.^{0}С
K_{τ_4} = 5,4 ккал/м^2.ч.^{0}С
K_{τ_2} = 4,0 ккал/м^2.ч.^{0}С
$K_{\tau_в}$ = 3,2 ккал/м^2.ч.^{0}С

Средневзвешенное значение K_τ по периметру (I.86)

$$K_\tau = \frac{I,75 \cdot 2}{I0} + \frac{5,4,3,0}{I0} + \frac{4,0,3,0}{I0} + \frac{3,2,2}{I0} = 3,8I \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^0\text{С}.$$

R_o = 0,I7 м
λ_y = 0,2I ккал/м.ч.^{0}С
a_y = 0,7 . I0^{-3} м^2/ч
z_τ = 0,03
$f(z_\tau)$ = 0,03
$K_{\tau_л}$ = I5,5 ккал/м^2.ч.^{0}С
$b_л$ = 0,5 м
А = 0,0036
Б = 0,86
В = -0,0006
К = -0,0060 ^{0}С/м
t_2 = 3,6^{0}С

3.5.3. Расчет максимальной температуры воздуха при подогреве в зимний период. Расчеты выполняются по той же методике, но учитывается интенсификация теплообмена за счет агрегатных переходов при постоянной положительной температуре воздуха в начале пути и рассчитывается текущее значение коэффициента нестационарного теплообмена по формуле (3.47), позволяющее определить текущую температуру воздуха без учета среднегодовых значений ее в выработке. Результаты расчетов сведены в таблицу 3.6.

Расчет K_τ для ствола, квершлага и штрека производится с учетом среднего значения температуры воздуха за период интенсивного нагрева, соответственно: I2^{0}С; I2^{0}С; II^{0}С.

Ствол $K_\tau = 0,26 \frac{-10,5-4}{-10,2-12} + 0,9 \frac{4-12}{-10,5-12} = 0,5$ ккал/м^2.ч.^{0}С.

Квершлаг $K_\tau = 0,27 \frac{-2,7-5,3}{-2,7-12,0} + 0,8 \frac{5,3-12}{-2,7-12} = 0,6$ ккал/м^2.ч.^{0}С.

Штрек $K_\tau = 0,32 \frac{-0,5-4,3}{-0,5-11} + 0,95 \frac{4,3-11}{-0,5-11} = 0,7$ ккал/м^2.ч.^{0}С.

Таблица 3.6

Результаты теплового расчета выработок шахты

Параметр	Значения расчетных параметров на участке			
	ствол	квершлаг	откаточный штрек	лава
t_1, ^{0}С	20	20,1	19,5	13,1
p_{t_1}, мм рт.ст.	18,2	18,2	18,0	11,5
d_1, г/кг	12,3	12,9	12,6	8,3
β_c	0,00016	0	0	0,00006
γ, кг/м^3	1,2	1,25	1,25	1,25
G, кг/ч	115000	118000	60000	60000
$\sum q_д$, ккал/м.ч	270	16	15	0
m	74000	84000	36000	36000
$K_{шт}$ ($t_{ст}$=4^{0}С)	1,1	1,12	1,2	2,5
K_t, ккал/м^2.ч.^{0}С (формула (1.78)	0,26	0,27	0,32	-
τ_1, ч	1490	1490	1490	-
z	7,8	7,0	1^,8	-
$f(z)$	0,928	0,92	0,96	-
Bi	4,9	4,4	8,6	-
K_1, ккал/м^2.ч.^{0}С (формулы (3.30-3,35)	0,9	0,8	0,95	-
K_τ, к зл/м^2.ч.^{0}С (формула 3 7)	0,7	0,6	0,7	3,0
А	1.10^{-4}	1.2.10^{-4}	3,1.10^{-4}	0,0036
Б	0,9	0,9	0,98	0,86
В	0,0018	0,00018	0,0004	-6.10^{-4}
γ, ^{0}С/м	0,0195	0,002	0	-0,006
t_2, ^{0}С	20,1	19,5	13,1	5,5

4. МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ В ВЫРАБОТКАХ, ПРОВЕТРИВАЕМЫХ С ПОМОЩЬЮ ВЕНТИЛЯТОРОВ МЕСТНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ

Основные условные обозначения

$t_п$, $t_{пз}$ – естественная температура горных пород соответственно в середине и в забое тупиковой выработки, °С ;

t – температура воздуха: t_0 – перед всасом вентилятора; t_1 – в трубопроводе после вентилятора; t_2 – на выходе из трубопровода у забоя; t_4 – на выходе из призабойной зоны ; t_5 – в устье тупиковой выработки, °С; $t_{пр}$ – предельно допустимая в рабочем забое, °С ;

φ – относительная влажность воздуха (цифровая индексация та же), в долях единицы;

P – среднее барометрическое давление воздуха в тупиковой выработке, мм рт.ст.;

Q – объемный расход воздуха: Q_1 – в устье тупиковой выработки, в начале трубопровода; Q_2 – на выходе из трубопровода, призабойной зоны; $Q_{ср}$ – средний по длине тупиковой выработки, трубопровода, м³/ч .

$Q_{ут}$ – утечки воздуха из трубопровода в тупиковой выработке, м³/ч ;

$\alpha_в$, $\alpha_з$ – приведенный коэффициент теплоотдачи от горных пород к воздуху соответственно в выработке и призабойной зоне, ккал/м².ч.°С ;

α_1, α_2 – коэффициенты теплоотдачи соответственно у внутренней и наружной поверхности трубопровода, ккал/м².ч.°С ;

$\tau_р$ – расчетное время проветривания соответствующего участка тупиковой выработки, ч ;

$\tau_у$, $\tau_з$ $\tau_ч$ – время существования соответственно устья, забоя и начала призабойной зоны тупиковой выработки, ч;

$K_с$ – коэффициент нестационарного теплообмена между горным массивом и воздухом для участка от устья тупиковой выработки до призабойной зоны; $K_{\tau_з}$ – для призабойной зоны, ккал/м².ч.°С ;

$\Sigma Q_в, \Sigma Q_з$ - суммарные тепловыделения местных источников соответственно на участке от призабойной зоны до устья выработки и в призабойной зоне, ккал/ч;

υ - скорость воздуха: $\upsilon_в$ - средняя в тупиковой выработке; $\upsilon_т$ - средняя в трубопроводе; $\upsilon_о$ - на выходе из трубопровода; $\upsilon_з$ - средняя у стенок призабойной зоны, м/с ;

H - глубина от поверхности середины тупиковой выработки, м;

ΔH - разность высотных отметок начала и конца тупиковой выработки, м;

L - длина тупиковой выработки от устья до конца трубопровода м;

$l_{з.тр}$ - длина призабойной зоны (расстояние от забоя до конца трубопровода), м;

$d_{тр}$ - диаметр трубопровода, м;

$U_т$ - периметр трубопровода, м;

$S_т$ - площадь поперечного сечения трубопровода, $м^2$;

G - весовой расход воздуха: G_1 - в устье тупиковой выработки, в начале трубопровода; G_2 - на выходе из трубопровода, призабойной зоны, $G_{ср}$ - средний по длине тупиковой выработки, трубопровода, кг/ч ;

$G_{ут}$ - утечки воздуха из трубопровода в тупиковой выработке, кг/ч.

4.I. Выбор исходных данных.

Тепловому расчету каждой тупиковой выработки должно предшествовать определение ее геометрической и технической характеристик (длины и угла наклона выработки, площади и периметра сечения, вида крепи и др.), отдельных тепловлажностных параметров воздуха (расхода, начальной температуры и относительной влажности), наличия местных источников тепла (типа, количества и режима работ машин и механизмов, транспорта, шахтной воды и др.), естественной температуры горных пород, окружающих выработку, и их теплофизических характеристик, а также времени проветривания расчетных участков.

4.I.I. Сечение, периметр и эквивалентный радиус участка тупиковой выработки от устья до призабойной зоны определяется согласно п. I.I.I.

Поверхность призабойной зоны рассчитывается по формуле

$$F_з = 1{,}35\,S + U l_{з.тр} . \qquad (4.I)$$

4.I.2. Количество, температура и относительная влажность воздуха перед вентилятором местного проветривания (ВМП) при отсутствии шахтных замеров, в зависимости от конкретных условий разработки, определяются по методикам, изложенным в разделах I или 2.

4.I.3. После выбора ВМП с учетом характеристики сети (трубопровода, воздухоохладителя и т.п.) производится корректировка количества воздуха у устья выработки, а количество воздуха в конце трубопровода подсчитывается по формуле

$$Q_2 = Q_1 - Q_{ут} . \qquad (4.2)$$

Утечки воздуха из трубопровода рассчитываются по формуле

$$Q_{ут} = Q_1 \left(1 - \frac{1}{K_{ут.тр}}\right), \qquad (4.3)$$

где $K_{ут.тр}$ – коэффициент утечек воздуха для данного типа трубопровода.

Значения коэффициентов утечек воздуха для гибких вентиля-

ционных трубопроводов диаметром 0,4–1,0 м приведены в табл. 4.1, 4.2, 4.3.

Таблица 4.1.

Значения коэффициента утечек воздуха для гибких трубопроводов диаметром 0,4–0,6 м при длине звеньев 20 м

Длина трубопровода, м	$K_{ут.тр}$	Длина трубопровода, м	$K_{ут.тр}$
50	1,04	600	1,35
100	1,07	700	1,39
150	1,11	800	1,43
200	1,14	1000	1,54
250	1,16	1200	1,76
300	1,19	1500	2,09
400	1,25	2000	2,63
500	1,30		

Таблица 4.2.

Значения коэффициента утечек воздуха для гибких трубопроводов диаметром 0,4–0,6 м при увеличении числа стыков от применения 5 и 10 метровых звеньев и фасонных частей

Общее число стыков в трубопроводе	$K_{ут.тр}$	Общее число стыков в трубопроводе	$K_{ут.тр}$
До 4	1,04	18–20	1,23
5	1,05	21–25	1,30
6–8	1,07	26–35	1,33
9–11	1,11	36–45	1,43
12–14	1,15	46–55	1,54
15–17	1,19		

Таблица 4.3.

Значения коэффициента утечек воздуха для гибких трубопроводов диаметром 0,7-1,0 м при длине звеньев 10 м

Длина трубопровода, м	$K_{ут.тр}$	Длина трубопровода, м	$K_{ут.тр}$
100	1,07	900	2,27
200	1,13	1000	2,63
300	1,22	1200	3,23
400	1,32	1400	4,00
500	1,41	1600	4,75
600	1,54	1800	6,25
700	1,72	2000	7,15
800	1,96		

Таблица 4.4.

Значения коэффициента аэродинамического сопротивления металлических трубопроводов

$d_{тр}$, м	$\alpha_{аэр} \cdot 10^4$	$d_{тр}$, м	$\alpha_{аэр} \cdot 10^4$
0,4	3,6	0,8	2,9
0,5	3,5	0,9	2,8
0,6	3,0	1,0	2,5
0,7	3,0		

Коэффициент утечек воздуха для металлических трубопроводов рассчитывается по формуле

$$K_{ут.тр}=\left(\frac{1}{3}K_{ут.ст}d_{тр}\frac{l_{тр}}{l_{зв}}\sqrt{R_{тр}}+1\right)^2. \qquad (4.4)$$

где $K_{ут.ст}$ – коэффициент удельной стыковой воздухопроницаемости условного трубопровода диаметром менее 1,0 м; для фланцевых соединений с резиновыми прокладками принимается равным 0,002-0,005 при удовлетворительном качестве сборки и 0,001-0,002 при хорошем;

$l_{тр}$ – длина металлического трубопровода в рыбостке, м;

$l_{зв}$ – длина звена, м;

$R_{тр}$ – аэродинамическое сопротивление трубопровода без учета утечек, кμ

$$R_{тр}=\frac{6{,}5\alpha_{аэ}l_{тр}}{d_{тр}^5}, \qquad (4.5)$$

где $\alpha_{аэ}$ – коэффициент аэродинамического сопротивления трубопровода, $кгс^2/м^4$; принимается по табл. 4.4.

4.1.4. Температура воздуха в трубопроводе после ВМП рассчитывается по формуле

$$t_1=t_0+\Delta t_{вент}, \qquad (4.6)$$

где $\Delta t_{вент}$ – приращение температуры воздуха от работы ВМП, °С

– для осевых вентиляторов

$$\Delta t_{вент}=\frac{860N_э}{APQ_1\eta_{дв}}; \qquad (4.7)$$

– для центробежных вентиляторов

$$\Delta t_{вент}=\frac{860N_э}{APQ_1}, \qquad (4.8)$$

где A – коэффициент, определяемый по табл. 4.5;

$\eta_{дв}$ – кпд двигателя ВМП;

$N_э$ – мощность на валу электродвигателя, кВт.

$$N_э=\frac{Q_1h_t}{367200\eta_t}, \qquad (4.9)$$

где $h_в$ – напор ВМП, мм рт.ст.;
$\eta_в$ – кпд ВМП.

Таблица 4.5.

Значения коэффициентов апроксимации теплосодержания воздуха A, $Д$ и $Д_в$ для различных диапазонов изменения температуры

диапазон изменения температуры, °С	$A \cdot 10^3$	$Д$	$Д_в$
0 – 10	0,401	0,286	2,718
5 – 15	0,394	0,380	1,985
10 – 20	0,387	0,497	0,401
15 – 25	0,380	0,644	-2,300
20 – 30	0,374	0,825	-6,620
25 – 35	0,368	1,046	-12,930
30 – 40	0,362	1,241	-19,458

4.1.5. Относительная влажность воздуха в характерных пунктах выработки принимается по шахтным замерам, а при их отсутствии может быть принята ориентировочно согласно табл. 4.6.

Относительная влажность воздуха после ВМП рассчитывается по формуле

$$\varphi_1 = \frac{Д t_0 + Д_в}{Д t_1 + Д_в} \varphi_0 . \qquad (4.10)$$

Коэффициенты $Д$ и $Д_в$ принимаются по табл. 4.5.

Относительная влажность после воздухоохладителя принимается равной 0,95 ÷ 1,0. На выходе из трубопровода относительная влажность $\varphi_2 = (0,95 \div 1,1)\,\varphi_4$, причем большие значения числового коэффициента принимаются в случае расположения пункта охлаждения на расстоянии до 100 м от забоя.

таблица 4.6.

Ожидаемые значения относительной влажности воздуха в характерных пунктах тупиковых выработок

Характеристика выработок	Относительная влажность воздуха, в долях единицы		
	На выходе из призабойной зоны (φ_4)	В выработке у места установки воздухоохладителя (φ_2)	На выходе из выработки (φ_5)
Без кондиционирования			
Сухие	0,71	-	0,73
Влажные	0,77	-	0,79
При кондиционировании в случае расположения воздухоохладителя в начале выработки			
Сухие	0,73	-	0,75
Влажные	0,76	-	0,83
При кондиционировании в случае расположения воздухоохладителя в выработке			
Сухие	0,73	0,75	0,73
Влажные	0,76	0,83	0,79

4.I.6. Барометрическое давление воздуха для различных пунктов тупиковой выработки рассчитывается согласно п.I.I.8.

4.I.7. Естественная температура горных пород для середины тупиковой выработки и для забоя рассчитывается согласно п. I.I.9.

4.I.8. Теплофизические характеристики горных пород определяются согласно п. I.I.I0.

4.I.9. Расчетное время проветривания различных участков тупиковой выработки определяется согласно п.I.I.II. При этом время существования расчетных пунктов на действующих шахтах принимается по данным маркшейдерских замеров.

4.2. Расчет тепловыделений местных источников.

4.2.I. Тепловыделения при работе машин с электроприводом (погрузочных машин, проходческих комбайнов, буровых установок) рассчитываются по формуле

$$Q_м = 860 N_м K_з, \qquad (4.II)$$

где $N_м$ - суммарная установленная мощность электродвигателей, кВт;
$K_з$ - коэффициент загрузки машин во времени $K_з = 0,3 - 0,5$.

4.2.2. При конвейерном транспорте в тупиковых выработках тепловыделение от охлаждения транспортируемой горной массы, в отличие от метода п. I.2.4.2, рассчитывается по формуле

$$Q_п = \Delta t_к A_ф c_п, \qquad (4.I2)$$

где $\Delta t_к$ - охлаждение транспортируемого материала, °С;
$A_ф$ - фактическая производительность конвейера, кг/ч;
$c_п$ - теплоемкость горной массы, ккал/кг.°С, определяется согласно табл. П.3.I.

Величина $\Delta t_к$ рассчитывается по эмпирической формуле

$$\Delta t_к = 0,0024 L_к^{0,8} \left(t_{нп} - \frac{t_в + t_н}{2}\right), \qquad (4.I3)$$

где $L_к$ - длина конвейера на расчетном участке, м;
$t_{нп}$ - температура ископаемого при его погрузке на конвейер, °С

$$t_{нп} = t_{пз} - (7 \div 11). \qquad (4.I4)$$

В формуле (4.I4) разность $t_{пз} - t_{нп}$ принимается равной 7°С при $t_{пз} < 35°С$; 9°С при $45°С > t_{пз} > 35°С$; II°С при $t_{пз} > 45°С$.

4.2.3. Тепловыделения других местных источников рассчитываются по зависимостям п. I.2.

4.3. Расчет коэффициентов теплопередачи вентиляционных трубопроводов в тупиковых выработках.

4.3.1. Коэффициент теплопередачи трубопроводов неохлажденного воздуха рассчитывается по формуле

$$K_T = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_T}{\lambda_T} + \frac{1}{\alpha_2}}, \qquad (4.15)$$

где δ_T – толщина стенки трубопровода, м; принимается $\delta_T \approx 0{,}001$ м для металлических и гибких трубопроводов;

λ_T – коэффициент теплопроводности материала трубопровода, ккал/м·ч°С (для металлических, прорезиненных типа "М" и пластикатных трубопроводов λ_T соответственно равен 50; 0,135 и 0,12),

Коэффициент теплоотдачи у внутренней поверхности рассчитывается по формуле

$$\alpha_1 = 3{,}7 \frac{\sqrt{v_T}^{0,8}}{d_{TP}^{0,2}}. \qquad (4.16)$$

Коэффициент теплоотдачи у наружной поверхности рассчитывается по эмпирической формуле

$$\alpha_2^0 = 5{,}52 + 3{,}7 \frac{\sqrt{v_в}^{0,8}}{d_{TP}^{0,2}}. \qquad (4.17)$$

4.3.2. Коэффициент теплопередачи трубопровода с охлажденным воздухом рассчитывается по формуле

$$K_T' = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_T}{\lambda_T} + \frac{1}{\xi\alpha_2}}, \qquad (4.18)$$

где ξ – коэффициент влаговыпадения, который определяется по формуле (I.71).

4.4. Расчет коэффициентов нестационарного теплообмена между горным массивом и воздухом.

4.4.1. Коэффициент нестационарного теплообмена для участка от призабойной зоны до устья выработки рассчитывается по формуле (1.78) или (I.76), а для осложненных условий – согласно п. 2.2.5. при этом для тупиковых выработок коэффициент теплоотдачи от поверхности выработки к воздушной среде вычисляется по эмпирической формуле

$$\alpha_в = 6{,}45 + 2{,}52\varepsilon \frac{\sqrt{v_в}^{0,8}}{R_0^{0,2}}. \qquad (4.19)$$

Коэффициент шероховатости принимается в соответствии с рекомендациями п. 1.2.2.1.

4.4.2. При орошении поверхности призабойной зоны тупиковой выработки коэффициент нестационарного теплообмена для призабойной зоны рассчитывается по формуле

$$K_{\tau_з} = \frac{2{,}51\lambda}{\sqrt{F_з}} + \frac{1{,}13\lambda}{\sqrt{a}\left(\sqrt{\tau_з}+\sqrt{\tau_ч}\right)}, \qquad (4.20)$$

а при средних для условий шахт Донбасса значениях теплофизических характеристик горных пород

$$K_{\tau_з} = \frac{3{,}82}{\sqrt{F_з}} + \frac{31{,}8}{\sqrt{\tau_з}+\sqrt{\tau_ч}}. \qquad (4.21)$$

4.4.3. При сухой поверхности призабойной зоны коэффициент нестационарного теплообмена рассчитывается по формуле

$$K_{\tau_з} = \frac{\lambda\sqrt{1+1{,}77\sqrt{Fo_з}}}{1{,}77\,R_з^э\sqrt{Fo_з} + \frac{\lambda\sqrt{1+1{,}77\sqrt{Fo_з}}}{\alpha_з}}, \qquad (4.22)$$

где $R_з^э$ – эквивалентный радиус призабойной зоны, м;

$$R_з^э = \sqrt{R_o l_з + R_o^2}; \qquad (4.23)$$

$$Fo_з = \frac{a\tau_з}{\left(R_з^э\right)^2}, \qquad (4.24)$$

$Fo_з$ – критерий Фурье для призабойной зоны, причем $\tau_{заб}$ определяется по формуле (I.I6);

$$\alpha_з = 6{,}35\frac{v_з^{0{,}8}}{\left(R_з^э\right)^{0{,}2}}. \qquad (4.25)$$

Расчетное значение скорости воздуха у поверхности стенок призабойной зоны

$$v_з = \frac{\overline{v_1}(0{,}5Ul_з + 1{,}35S) + v_2 0{,}5Ul_з}{F_з}, \qquad (4.26)$$

где $\overline{v_1}$ – среднеинтегральная скорость воздуха у поверхности стенок призабойной зоны в прямом потоке

$$\overline{v_1} = -\frac{v_0}{\omega}\left(A_T + 1{,}15 \lg \frac{1 - A_T}{1 + A_T}\right); \qquad (4.27)$$

$\overline{v_2}$ – то же, в обратном потоке

$$\overline{v_2} = \frac{v_0}{\omega}\left[\left(\sqrt{\omega} - \frac{0{,}75\,T_1}{\sqrt{1+\psi_p}}\right)\ln\left|\sqrt{\frac{1+\psi_p}{\psi_p}} + \frac{2\operatorname{arctg}\sqrt{d_{TP}\,\omega}}{\sqrt{d_{TP}}} - 2\sqrt{\omega}\right|\right]. \qquad (4.28)$$

В формулах (4.26) – (4.28) коэффициенты ψ_p и T_1 зависят от величины поперечного отвесного струи

при $\frac{S_T}{S} \geqslant 0{,}04$

$$\psi_p = 3{,}56\frac{S_T}{S} - 0{,}063; \qquad (4.29)$$

$$T_1 = 0{,}476\,\psi_p + 0{,}0295; \qquad (4.30)$$

при $\frac{S_T}{S} < 0{,}04$

$$\psi_p = 25\left(\frac{S_T}{S}\right)^{1{,}8}; \qquad (4.31)$$

$$T_1 = 0{,}284\,\psi_p^{0{,}65}. \qquad (4.32)$$

Кроме того

$$\omega = \frac{\sqrt{1+\psi_p} - \sqrt{\psi_p}}{\sqrt{\psi_p(1+\psi_p)}}; \qquad (4.33)$$

$$A_T = \frac{1}{\sqrt{1+\psi_p}}. \qquad (4.34)$$

4.5. Расчет температуры в тупиковой выработке без охлаждения воздуха.

Для оценки теплового режима в тупиковых выработках без применения средств охлаждения рассчитывается температура воздуха на выходе из трубопровода, на выходе из призабойной зоны и на выходе из выработки. Схема расположения характерных точек, для которых определяется температура воздуха приведена на рис. 4.1.

$$t_2 = \frac{\left[t_1(1 - N_T) \pm 0{,}01\,\Delta H\right]\Pi_3 + 2N_T\Pi_3}{\Pi_3 + N_T\left(\Pi_3 + 2N_3 - 2\right)}; \qquad (4.35)$$

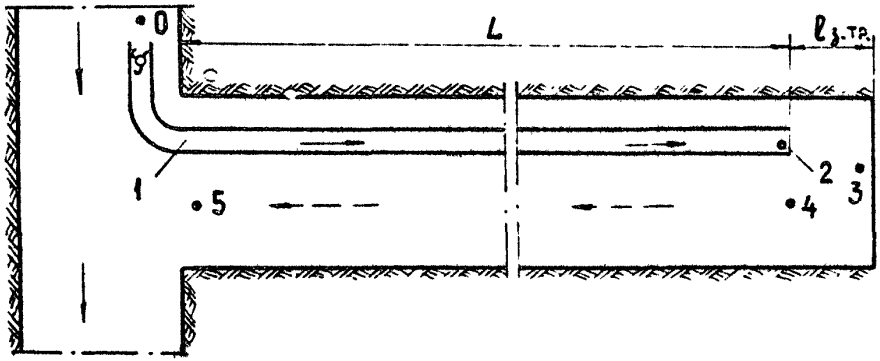

Рис. 4.I. Схема расположения характерных точек в тупиковой выработке без охлаждения воздуха

$$t_4 = \frac{\Pi_3 + t_2(1 - N_3)}{\Pi_3} ; \quad (4.36)$$

$$t_5 = \frac{N_6 t_n + (1 - 2N_T - 0{,}5N_6 + n_T\varphi_4)t_4 + N_T(t_1 + t_2) - m_T(\varphi_5 - \varphi_4) + 0{,}01H + \frac{\sum Q_6}{G_{cp}c_p}}{1 + 0{,}5N_6 + n_T\varphi_6} \quad (4.37)$$

где

$$N_T = \frac{K_T U_T L K_3}{2 G_{cp} c_p} ; \quad (4.38)$$

$$N_3 = \frac{K_{T_3} F_3}{2 G_2 c_p} ; \quad (4.39)$$

$$N_6 = \frac{K_T U L}{G_{cp} c_p} ; \quad (4.40)$$

$$\Pi_3 = 1 + N_3 + n_T\varphi_4 ; \quad (4.41)$$

$$\Pi_3 = 2N_3 t_{n_3} + \frac{\sum Q_3}{G_2 c_p} + m_T(\varphi_1 - \varphi_4) + n_T t_1 \varphi_1 ; \quad (4.42)$$

$$G_{cp} = 0{,}5(G_1 + G_2) ; \quad (4.43)$$

$$K_3 = \frac{G_2}{G_1} ; \quad (4.44)$$

$$n_T = \frac{1890}{P} n_6 ; \quad (4.45)$$

$$m_T = \frac{1890}{P} m_6 . \quad (4.46)$$

В формулах (4.35) – (4.46):

K_3 – коэффициент доставки воздуха; величина барометрического давления воздуха P принимается для середины выработки;

значения коэффициентов аппроксимации влагосодержания насыщенного воздуха n_{φ} , m_{φ} ,в зависимости от ожидаемого диапазона изменения температуры, определяются по табл. 4.7.

Таблица 4.7

Коэффициенты аппроксимации влагосодержания насыщенного воздуха

Диапазон изменения температуры, °С	m_{φ}	n_{φ}
0 - 10	5,595	0,385
5 - 15	2,583	0,520
10 - 20	0,287	0,704
15 - 25	-3,916	0,944
20 - 30	-10,648	1,243
25 - 35	-21,705	1,645
30 - 40	-38,280	2,155

4.6. Расчет температуры в тупиковой выработке при искусственном охлаждении воздуха.

4.6.1. Для оценки эффективности работы воздухоохладителя (кондиционера), расположенного в начале тупиковой выработки или перед устьем выработки, производится расчет температуры воздуха на выходе из трубопровода, на выходе из призабойной зоны и на выходе из выработки. Схема расположения характерных точек, для которых определяются температуры воздуха, при размещении воздухоохладителя в устье тупиковой выработки*), приведена на рис.4.2.

Температура воздуха рассчитывается по формулам

$$t_2 = \frac{a+c\left(1+\Phi_{\varphi}\right)-\left(1+\frac{E}{N_T}\right)t_1 \pm \frac{\Delta t_{conc}}{N_T} - \frac{Q_{um}\Phi_{\varphi}\varphi_1}{Q_1 N_T}}{1+\frac{\Delta P}{N_T} - \Phi_3\left(1+\Phi_{\varphi}\right)-b}; \quad (4.47)$$

$$t_4 = c + \Phi_3 t_2 ; \quad (4.48)$$

*) При установке кондиционера вблизи тупиковой выработки принимается, что он установлен в ее устье.

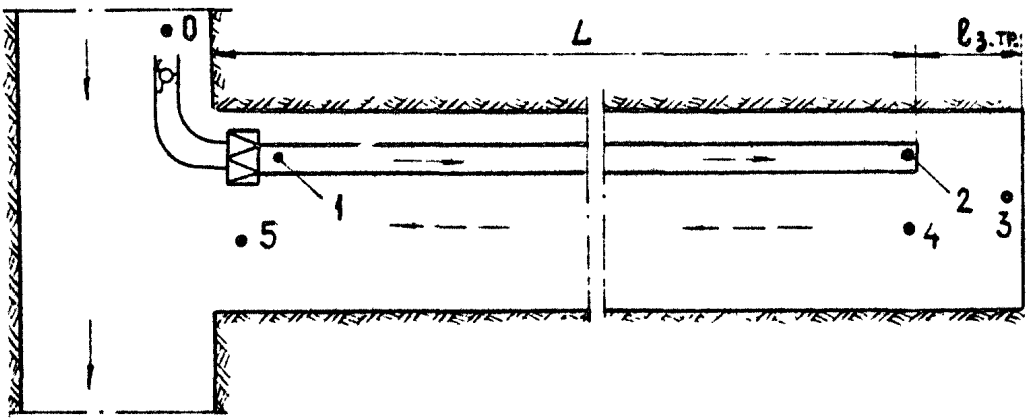

Рис. 4.2. Схема расположения характерных точек при установке воздухоохладителя (кондиционера) в начале тупиковой выработки

$$t_5 = a + \left(b + \varphi_в \varphi_з\right) t_2 + c\ \varphi_в\ , \qquad (4.49)$$

где

$$a = \frac{\Pi_в + n_1 t_1}{\Lambda_в}\left(1 - \varphi_в\right); \qquad (4.50)$$

$$\Pi_в = N_в t_n + \frac{\sum Q_в}{Q_1} \mp \Delta t_{сж} - \Phi_в\left(\varphi_5 - \varphi_4\right); \qquad (4.51)$$

$$\Lambda_в = N_в + 2N_т + \Phi\left(\varphi_5 - \varphi_4\right); \qquad (4.52)$$

$$n_1 = N_т - A P\ \frac{Q_{ут}}{2Q_1}; \qquad (4.53)$$

$$\varphi_в = \left(\frac{M_5}{M_4}\right)^{-\frac{\Lambda_в}{\Phi\left(\varphi_5 - \varphi_4\right)}}; \qquad (4.54)$$

$$b = \frac{N_т + A P \frac{Q_{ут}}{2Q_1}}{\Lambda_в}\left(1 - \varphi_в\right); \qquad (4.55)$$

$$\Delta t_{сж} = 0{,}01\, A P \frac{Q_в}{Q_1} \Delta H; \qquad (4.56)$$

$$N_т = \frac{K_т U_т L}{2Q_1}; \qquad (4.57)$$

$$E = \frac{Q_{ут}}{Q_1}\Phi\varphi_1 - \frac{Q_2}{Q_1} A P; \qquad (4.58)$$

$$N_в = \frac{K_т U L}{Q_1}; \qquad (4.59)$$

$$M_4 = AP + \mathfrak{D}\varphi_4 ; \qquad (4.60)$$

$$M_5 = AP + \mathfrak{D}\varphi_5 ; \qquad (4.61)$$

$$c = \frac{\Pi_3}{\Lambda_3}\left(1 - \Phi_3\right); \qquad (4.62)$$

$$\Pi_3 = N_3 t_{n3} + \frac{\sum Q_3}{Q_2} - \mathfrak{D}_6\left(\varphi_4 - \varphi_2\right); \qquad (4.63)$$

$$\Lambda_3 = N_3 + \mathfrak{D}\left(\varphi_4 - \varphi_2\right); \qquad (4.64)$$

$$N_3 = \frac{k\tau_3 F_3}{Q_2} ; \qquad (4.65)$$

$$\Phi_3 = \left(\frac{M_4}{M_2}\right)^{-\frac{\Lambda_3}{\mathfrak{D}(\varphi_4 - \varphi_2)}} ; \qquad (4.66)$$

$$M_2 = AP + \mathfrak{D}\varphi_2 \quad . \qquad (4.67)$$

Значения исходных данных, входящих в зависимости (4.47)–(4.67), принимаются или рассчитываются согласно п.п. 4.I–4.4. Величина барометрического давления P рассчитывается для середины выработки. Коэффициенты аппроксимации теплосодержания воздуха A, д, дв принимаются по табл. 4.5 для ожидаемого диапазона изменения температуры воздуха на расчетных участках. Следует учитывать, что при охлаждении воздуха общее изменение его температуры в выработке может выходить за пределы принятого диапазона

аппроксимации. В этом случае диапазоны аппроксимации принимаются для каждого расчетного участка. Так, коэффициенты аппроксимации для участка от призабойной зоны до устья выработки приведены в формулах (4.50)–(4.56) и (4.60),(4.61); для трубопроводов в формулах (4.47),(4.58); для призабойного участка – в формулах (4.62)–(4.67), а также в (4.60) при расчете значения M_4, входящего в формулу (4.66).

В формуле (4.47) перед слагаемым $\Delta t_{сж}$ принимается (для наклонных выработок знак плюс при движении воздуха в трубопроводе вниз и минус – при движении воздуха вверх. Соответственно в формуле (4.51) знаки принимаются противоположными.

Тепловые параметры воздуха в начале трубопровода после воздухоохладителя (t_1 , φ_1) принимаются по данным замеров или рассчитываются по холодопроизводительности воздухоохладителя (кондиционера)

$$t_1 = \frac{M_0 t_0 - Д_в(\varphi_1 - \varphi_0) + AP_0 \Delta t_{вент}}{M_1} - \frac{Q_x}{M_1 Q_1}, \qquad (4.68)$$

где

$$M_0 = AP_0 + Д\varphi_0; \qquad (4.69)$$

$$M_1 = AP_0 + Д\varphi_1, \qquad (4.70)$$

Q_x – фактическая производительность воздухоохладителя, ккал/ч;
P_0 – барометрическое давление воздуха в пункте установки воздухоохладителя, мм рт.ст.

Температура t относительная влажность воздуха перед ВМП принимаются по данным замеров или определяются расчетом (раздел I). Относительная влажность воздуха после воздухоохладителя в формулах (4.68) и (4.70) принимается в пределах $\varphi_1 = 0{,}95 \div 1{,}0$. Если ожидаемый перепад температуры в воздухоохладителе превышает диапазон аппроксимации табл. 4.5, коэффициенты А, Д, $Д_в$, входящие в (4.68)–(4.70), принимаются по табл. 4.8.

Таблица 4.8.

Значения коэффициентов аппроксимации теплосодержания воздуха для соответствующих диапазонов температуры

Диапазон изменения температуры, °С	А . 10^3	Д	Дв
0 - 15	0,394	0,316	2,604
5 - 20	0,388	0,416	1,613
10 - 25	0,382	0,541	-0,253
15 - 30	0,376	0,696	-3,338
20 - 35	0,370	0,886	-8,070
25 - 40	0,364	1,116	-14,945

4.6.2. Расчет холодопроизводительности воздухоохладителя, необходимой для обеспечения нормального теплового режима в призабойной зоне тупиковой выработки.

Если в результате тепловых расчетов, выполненных по зависимостям, приведенным в п.п. 4.5 или 4.6.1, окажется, что температура воздуха в призабойном пространстве превышает допустимые ПБ нормы, требуется применять охлаждение подаваемого в забой воздуха или увеличить холодопроизводительность существующего воздухоохладителя (при расчете согласно п. 4.6.1). В этом случае необходимо рассчитать потребную холодопроизводительность воздухоохладителя с учетом возможного места его расположения.

4.6.2.1. Воздухоохладитель установлен после вентилятора в начале тупиковой выработки. Схема расположения воздухоохладителя и характерных точек, тепловые параметры которых входят в расчетные зависимости, приведена на рис. 4.2. Необходимая холодопроизводительность рассчитывается по формуле

$$Q_x = Q_1\left[M_0 t_0 - M_1 t_1 - \Phi_в(\varphi_1 - \varphi_0) + \Delta P \Delta t_{вент}\right]. \quad (4.71)$$

Температура воздуха после воздухоохладителя с учетом заданного значения $t_ц = t_{пр}$ рассчитывается по формуле

$$t_2 = \frac{\frac{\Pi_в}{\Pi_б}(1-\Phi_в) + (1+\Phi_в)t_{пр} - \left(1+\frac{\Delta P}{N_т} - в\right)t_2 - \frac{Q_{ут}\Phi_в\varphi_1}{Q_1 N_т} + \frac{\Delta t_{сж}}{N_т}}{1 + \frac{E}{N_т} - \frac{n_1}{\Pi_б}(1-\Phi_в)}, \quad (4.72)$$

где $$t_2 = \frac{t_{пр} - c}{\Phi_3} \quad . \qquad (4.73)$$

Способы определения исходных данных и промежуточных комплексов, входящих в формулы (4.71)-(4.73) приведены в п.4.6.1. В формуле (4.72) при движении воздуха в трубопроводе вниз перед слагаемым $\Delta t_{сж}/N_т$ ставится знак плюс, вверх – минус.

Для оценки общей эффективности работы воздухоохладителя рассчитывается температура воздуха на выходе из выработки при заданной ее величине в призабойном пространстве по формуле

$$t_5 = \frac{\Pi_в}{\Lambda_в}\left(1 - \Phi_в\right) + \Phi_в t_{пр} + \frac{в(t_{пр} - c)}{\Phi_э} + \frac{n_1(1-\Phi_в)t_1}{\Lambda_в} \quad . \qquad (4.74)$$

4.3.2.2. Воздухоохладитель установлен на заданном расстоянии от забоя в тупиковой выработке. Схема расположения воздухоохладителя и характерных точек, тепловые параметры которых входят в расчетные зависимости, приведена на рис. 4.3. Потребная холодопроизводительность рассчитывается по формуле

$$Q_х = Q_7\left[M_7 t_7 - M_6 t_6 - \Phi_в(\varphi_6 - \varphi_7)\right] , \qquad (4.75)$$

где $$M_7 = AP_0 + \Phi\varphi_7 ; \qquad (4.76)$$

$$M_6 = AP_0 + \Phi\varphi_6 ; \qquad (4.77)$$

$$Q_7 = Q_2 + \frac{lQ_{ут}}{L} . \qquad (4.78)$$

Относительная влажность воздуха после воздухоохладителя и на выходе из трубопровода принимается согласно п.4.1.5. Перед воздухоохладителем значение относительной влажности воздуха принимается равным относительной влажности после ВМП ($\varphi_7 = \varphi_1$). Температура воздуха после воздухоохладителя (t_6) при заданном значении $t_ц = t_{пр}$ определяется по формуле

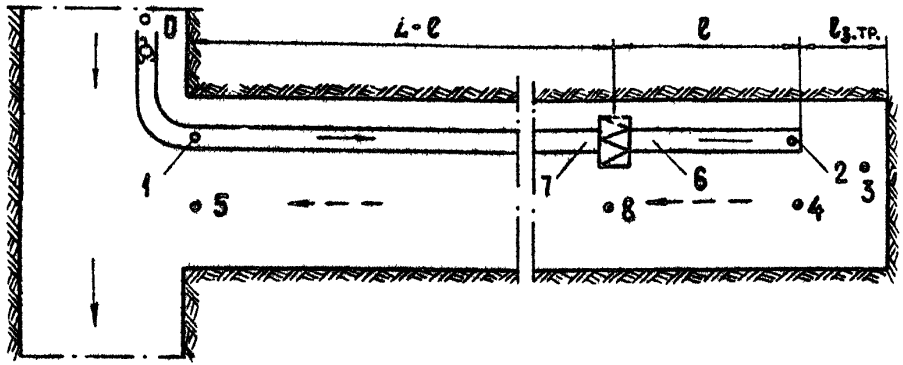

Рис. 4.3. Схема расположения характерных точек при установке воздухоохладителя (кондиционера) на заданном расстоянии от забоя тупиковой выработки

$$t_в = \frac{\frac{\Pi'_в}{\Pi'_в}\left(1-\Phi'_в\right)+\left(1+\Phi'_в\right)t_{пр}-\left(1+\frac{E'_2}{N'_т}-b'\right)t_2+\Theta_в\left(\frac{Q_2}{Q_\eta}\varphi_6-\varphi_2\right)\pm\frac{\Delta t_{сж}}{N'_т}}{1-\frac{E'_1}{N'_т}-\frac{n'_1}{\Pi'_в}\left(1-\Phi'_в\right)} \quad (4.79)$$

где $$N'_т = \frac{K'_т U_т \ell}{2Q_\eta}; \quad (4.80)$$

$$E'_1 = \frac{Q_2}{Q_\eta}\left(AP+\Theta\varphi_6\right); \quad E'_2 = AP+\Theta\varphi_2; \quad (4.81)$$

$$Q'_{ср} = Q_2 + \frac{Q_{ут}\ell}{2L}; \quad (4.82)$$

$$N'_в = \frac{K'_т U \ell}{Q_\eta}; \quad (4.83)$$

$$b' = \frac{N'_т + AP\frac{Q_{ут}\ell}{2Q_\eta L}}{\Pi'_в}\left(1-\Phi'_в\right); \quad (4.84)$$

$$\Pi'_в = N'_в t'_п + \frac{\sum Q'_в}{Q_\eta} \mp \Delta t'_{сж} - \Theta_в\left(\varphi_8-\varphi_4\right); \quad (4.85)$$

$$\Pi'_в = N'_в + 2N'_т + \Theta\left(\varphi_8-\varphi_4\right); \quad (4.86)$$

$$\Phi'_в = \left(\frac{M_8}{M_4}\right)^{-\frac{\Pi'_в}{\Theta(\varphi_8-\varphi_4)}}; \quad (4.87)$$

$$\Delta t'_{сж} = 0{,}01\,AP\frac{Q'_{ср}}{Q_\eta}\Delta H'; \quad (4.88)$$

$$n' = N'_т - AP\frac{Q_{ут}\ell}{2Q_\eta L}; \quad (4.89)$$

$$M_8 = AP + \Theta\varphi_8; \quad (4.90)$$

$$M_4 = AP + \mathcal{D}\varphi_4 . \qquad (4.91)$$

Температура воздуха на выходе из трубопровода (t_2) рассчитывается по формуле (4.73).

Значения коэффициентов А,Д, $Д_в$ в формулах (4.84)-(4.91) принимаются по табл. 4,5 для ожидаемого диапазона изменения температуры на участке выработки от призабойной зоны до места установки воздухоохладителя (кондиционера), а в формулах (4.79) и (4.81) – в трубопроводе.

В формуле (4.79) знак плюс перед слагаемым $\Delta t'_{сж}/N'_т$ принимается при движении воздуха в трубопроводе вниз, знак минус – при движении воздуха вверх, а в формуле (4.85) перед слагаемым $\Delta t'_{сж}$ знаки принимаются противоположными.

Значение относительной влажности воздуха в выработке у пункта установки воздухоохладителя (кондиционера) приближенно рассчитывается по формуле

$$\varphi_8 = \varphi_4 + \frac{(\varphi_5 - \varphi_4)\ell}{L} + (0{,}02 \div 0{,}04). \qquad (4.92)$$

Температура воздуха перед воздухоохладителем (t_7) рассчитывается по формуле

$$t_7 = \frac{a'' + \left(1 + \Phi''_в\right)t_2 - \left(1 - \frac{AP}{N''_{ср}}\right)t_1 \pm \frac{\Delta t''_{сж}}{N''_1}}{1 + \frac{AP}{N''_{ср}} - b''}, \qquad (4.93)$$

где

$$a'' = \frac{П''_в + n''_1 t_1}{Л''_в}\left(1 - \Phi''_в\right); \qquad (4.94)$$

$$П''_в = N''_в t''_п + \frac{\sum Q''_в}{Q_1} \mp \Delta t''_{сж} - \mathcal{D}_в\left(\varphi_5 - \varphi_0\right); \qquad (4.95)$$

$$Л''_в = N''_в + 2N''_т + \mathcal{D}\left(\varphi_5 - \varphi_8\right); \qquad (4.96)$$

$$n''_1 = N''_т - AP\frac{Q''_{ут}}{2Q_1}; \qquad (4.97)$$

$$\varphi_в'' = \left(\frac{M_5}{M_8}\right)^{-\frac{\Pi_в''}{D(\varphi_5-\varphi_8)}}; \qquad (4.98)$$

$$в'' = \frac{N_т'' + \Delta P \frac{Q_{ут}''}{2Q_1}}{\Pi_в''}\left(1-\varphi_в''\right); \qquad (4.99)$$

$$\Delta t_{сж}'' = 0{,}01\,\Delta P \frac{Q_{ср}''}{Q_1}\Delta H''; \qquad (4.100)$$

$$N_1'' = \frac{K_т'' U_т (L-\ell)}{2Q_1}; \qquad (4.101)$$

$$N_{ср}'' = \frac{K_т'' U_т (L-\ell)}{2Q_{ср}''}; \qquad (4.102)$$

$$N_в'' = \frac{K_т'' U (L-\ell)}{Q_1}; \qquad (4.103)$$

$$Q_{ут}'' = \left(1 - \frac{\ell}{L}\right)Q_{ут}; \qquad (4.104)$$

$$Q_{ср}'' = Q_{ср} + \frac{Q_{ут}\ell}{2L}. \qquad (4.105)$$

Комплексы M_5 и M_8 определяются соответственно по формулам (4.61) и (4.90). Значение температуры воздуха (t_8), входящее в (4.93), рассчитывается по формуле

$$t_8 = \frac{\Pi_в + n_1' t_в}{\Pi_в'}\left(1-\varphi_в'\right) + в' t_2 + \varphi_в' t_{пр}. \qquad (4.106)$$

Комплексы $П'_в$, $Д'_в$, $б'$, $Ф'_в$, n'_1 рассчитываются по формулам (4.84)-(4.87) и (4.89); значение температуры воздуха на выходе из трубопровода - по формуле (4.73); значение температуры воздуха после воздухоохладителя (t_6) - по формуле (4.79). Коэффициенты А, Д и $Д_в$, входящие в комплексы (4.95)- (4.100), принимаются по табл. 4.5.

Перед слагаемым $\Delta t'_{сж}$ в формуле (4.93) при движении воздуха в трубопроводе вниз ставится знак плюс и в формуле (4.95) знак минус; при обратном движении воздуха соответствующие знаки в этих формулах принимаются противоположными. При холодопроизводительности воздухоохладителя, определенной по формуле (4.75), температура воздуха в устье тупиковой выработки рассчитывается по формуле

$$t_5 = a'' + б'' t_7 + Ф''_в t_8 . \qquad (4.107)$$

Обозначения в формуле (4.107) те же, что и в формуле (4.93).

Во всех зависимостях п. 4.6.2.2. величины с индексом ($'$) относятся к участку от призабойной зоны до пункта установки воздухоохладителя, а с индексом ($''$)-к участку от пункта установки воздухоохладителя до устья тупиковой выработки.

В расчетных зависимостях п. 4.6 цифровые индексы при буквенных обозначениях соответствуют характерным пунктам, показанным на рис. 4.2 и 4.3.

4.7. Пример расчета ожидаемых значений температуры воздуха и необходимой холодопроизводительности воздухоохладителя для тупиковой выработки.

4.7.1. Характеристика выработки. Условно принимаем, что выработка расположена в районе шахты им. А.А.Скочинского, проводится горизонтально по пустым породам буровзрывным способом со средней скоростью 150 м/мес (0,208 м/ч). Породы представлены глинистыми и песчанистыми сланцами (λ = 1,52 ккал/м.ч.^{0}С; a = 0,00293 м^2/ч). Сечение выработки в свету S = 12,2 м^2; крепь металлическая арочная. К расчетному моменту длина вентиляционного трубопровода составляет $L_т$ = 800 м, отставание трубопровода от забоя - 8 м. Абсолютная отметка устья воздухоподающего ствола H_0 = 200 м;

глубина ведения работ H = 1000 м. Выработка сухая. Состав проходческой бригады - 6 чел. Отбитая горная масса грузится в вагонетки породопогрузочной машиной 2ПНБ-2 с установленной мощностью 65 квт. Проветривание нагнетательное, осуществляется двумя последовательно установленными вентиляторами СВМ-6 по прорезиненному трубопроводу $d_{тр}$ = 0,7 м, $U_т$ = 2,2 м, $S_т$ = 0,385 м^2. Перед вентилятором температура воздуха t_o = 23,0°С и относительная влажность φ_o = 0,85. Расчет производится для летнего периода года.

4.7.2. Определение исходных данных.

4.7.2.1. Периметр поперечного сечения выработки (1.2)

$$U = 3{,}8\sqrt{12{,}2} = 13{,}3 \text{ м.}$$

Эквивалентный радиус выработки (1.3)

$$R_o = \frac{2 \cdot 12{,}2}{13{,}3} = 1{,}83 \text{ м.}$$

Эквивалентный радиус призабойной зоны (4.23)

$$R_з^э = \sqrt{1{,}83 \cdot 8 + 1{,}83^2} = 4{,}25 \text{ м.}$$

Поверхность призабойной зоны (4.1)

$$F_з = 1{,}35 \cdot 12{,}2 + 13{,}3 \cdot 8 = 123 \text{ м}^2.$$

4.7.2.2. Количество воздуха в начале трубопровода определяется по характеристикам вентиляторов с учетом характеристики сети (трубопровода)

$$Q_1 = 18000 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Утечки воздуха из трубопровода определяются по формуле (4.3) с учетом табл. 4.3.

$$Q_{ут} = 18000\left(1 - \frac{1}{1{,}96}\right) = 8820 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Количество воздуха на выходе из трубопровода (4.2)

$$Q_2 = 18000 - 8820 = 9180 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Средний расход воздуха в выработке

$$Q_{ср} = \frac{18000 + 9180}{2} = 13590 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

4.7.2.3. Среднемесячное (в июле) барометрическое давление воздуха, поступающего в шахту, согласно табл. I.2, I.3 и по формуле (I.12)

$$P_0 = 758{,}4 - \frac{200 \cdot 758{,}4}{8000\left[1 + 0{,}004\,(21{,}8+1{,}5)\right]} = 741 \text{ мм рт.ст.}$$

давление воздуха на глубине выработки (I.II)

$$P = 741 + 0{,}09 \cdot 1000 = 831 \text{ мм рт.ст.}$$

Плотность воздуха для средних ожидаемых тепловых условий ($t_{ср} = 26^0$С, $\varphi_{ср} = 0{,}75$) с учетом данных табл. II. 2 по формуле (I.40)

$$\gamma = 0{,}464\,\frac{831 - 0{,}75 \cdot 25{,}22}{273 + 26} = 1{,}26 \text{ кг/м}^3.$$

4.7.2.4. Весовой расход воздуха в различных пунктах выработки ($G = Q\gamma$)

$$G_1 = 18000 \cdot 1{,}26 = 22620 \text{ кг/ч};$$

$$G_2 = 9180 \cdot 1{,}26 = 11580 \text{ кг/ч};$$

$$G_{ут} = 8820 \cdot 1{,}26 = 11040 \text{ кг/ч};$$

$$G_{ср} = \frac{22620 + 11580}{2} = 17100 \text{ кг/ч}.$$

4.7.2.5. Приращение температуры воздуха от работы вентиляторов определяется по формуле (4.7). Из табл. 4.5 A=0,000374; Д = 0,825; $Д_в = -6{,}62$; по характеристике установленных последовательно двух ВМП СВМ-6 при $Q_1 = 5$ м^3/сек, $\eta_{дв} = 0{,}98$: напор $h_в = 360$ мм вод.ст. и $\eta_в = 0{,}68$. Тогда мощность на валу вентилятора (4.9).

$$N_э = \frac{18000 \cdot 360}{367200 \cdot 0{,}68} = 26 \text{ кВт};$$

$$\Delta t_{вып} = \frac{860 \cdot 26}{0{,}000374 \cdot 831 \cdot 18000 \cdot 0{,}98} = 4{,}1^{\circ}C.$$

Температура воздуха после ВМП (4.6)

$$t_4 = 23{,}0 + 4{,}1 = 27{,}1^{\circ}C.$$

Относительная влажность после вентилятора (4.10)

$$\varphi_4 = \frac{0{,}825 \cdot 23 - 6{,}62}{0{,}825 \cdot 27{,}1 - 6{,}62} \cdot 0{,}85 = 0{,}67.$$

По табл. 4.6 ожидаемые значения относительной влажности на выходе из призабойной зоны (φ_4) и на выходе из выработки (φ_5) принимаются соответственно равными: $\varphi_4 = 0{,}71$; $\varphi_5 = 0{,}73$.

4.7.2.6. Естественная температура горных пород на глубине выработки определяется по формуле (I.I3) с учетом данных табл. П. I.I и П.I.2.

$$t_п = t_{пз} = 8{,}1 + \frac{1000}{31{,}2} = 40{,}2^{\circ}C.$$

4.7.2.7. Время проветривания поверхности забоя $\tau_з$ принимается равным I ч, время проветривания конца призабойной зоны

$$\tau_ч = \tau_з + \frac{l_{з.тр}}{\sqrt{}_{пр}} = I + \frac{8}{0{,}208} = 40 \text{ ч},$$

время проветривания устья выработки

$$\tau_1 = \tau_ч + \frac{L}{\sqrt{}_{пр}} = 40 + \frac{800}{0{,}208} = 3890 \text{ ч}.$$

Расчетное время проветривания участка тупиковой выработки от призабойной зоны до устья (I.I7)

$$\tau_р = \frac{40 + 3890 + 2\sqrt{40 \cdot 3890}}{4} = 1180 \text{ ч}.$$

4.7.3. Расчет тепловыделений местных источников. В призабойной зоне

– от работы 2ПНБ-2 (4.II)

$$Q_м = 860 \cdot 65 \cdot 0{,}4 = 22360 \text{ ккал/ч};$$

– от одновременно работающих людей (I.63)

$$Q_p = \underset{o}{250} \cdot 6 = 1500 \text{ ккал/ч.}$$

Суммарное тепловыделение местных источников в призабойной зоне составит

$$\sum Q_з = 22360 + 1500 = 23860 \text{ ккал/ч .}$$

В выработке, вследствие малого объема транспортируемой в вагонетках горной массы, влиянием тепловыделения местных источников пренебрегаем

$$\sum Q_в = 0.$$

4.7.4. Расчет коэффициента теплопередачи вентиляционного трубопровода (4.I5). Определяем средние значения скорости воздуха

– в трубопроводе

$$v_т = \frac{Q_{ср}}{3600\, S_т} = \frac{13590}{3600 \cdot 0{,}385} = 9{,}8 \text{ м/с ;}$$

– в свободном сечении выработки

$$v_в = \frac{Q_{ср}}{3600(S - S_т)} = \frac{13590}{3600 \cdot 11{,}815} = 0{,}32 \text{ м/с .}$$

Коэффициенты теплоотдачи трубопровода

– внутренний (4.I6)

$$\alpha_1 = \frac{3{,}7 \cdot 9{,}8^{0{,}8}}{0{,}7^{0{,}2}} = \frac{3{,}7 \cdot 6{,}21}{0{,}93} = 24{,}7 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^0\text{C.}$$

– наружный (4.I2)

$$\alpha_2 = 5{,}52 + \frac{3{,}7 \cdot 0{,}32^{0{,}8}}{0{,}7^{0{,}2}} = 5{,}52 + \frac{3{,}7 \cdot 0{,}401}{0{,}93} = 7{,}12 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^0\text{C}$$

По данным п. 4.3.I $\delta_т = 0{,}001$; $\lambda_т = 0{,}135$.

$$K_т = \frac{1}{\frac{1}{24{,}7} + \frac{0{,}001}{0{,}135} + \frac{1}{7{,}12}} = 5{,}3 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^0\text{C .}$$

4.7.5. Расчет коэффициентов нестационарного теплообмена для различных участков тупиковой выработки.

4.7.5.1. Для участка выработки от призабойной зоны до устья (1.78).

Коэффициент теплоотдачи от горных пород к воздуху (4.19) с учетом п. 1.2.2.1.

$$\alpha_{\text{в}} = 6{,}45 + 2{,}52 \cdot 2\,\frac{0{,}32^{0{,}8}}{1{,}83^{0{,}2}} = 8{,}25 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^{\circ}\text{C}.$$

Критерий Био (1.79)

$$Bi = \frac{8{,}25 \cdot 1{,}83}{1{,}52} = 9{,}93 .$$

Критерий Фурье (1.82)

$$Fo = \frac{0{,}00293}{1{,}83^2}\,1180 = 1{,}03 ;$$

$$Bi' = 9{,}93 + 0{,}375 = 10{,}305 ;$$

$$z = 10{,}305\sqrt{1{,}03} = 10{,}46 ;$$

$$f(z) = \frac{1{,}0011 \cdot 10{,}46 - 0{,}2575}{10{,}4^{2} + 0{,}3406} = 0{,}955 ;$$

$$K_{\tau} = 8{,}25\left[1 - \frac{9{,}93}{10{,}305} \cdot 0{,}955\right] = 0{,}658 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^{\circ}\text{C}.$$

4.7.5.2. Для призабойной зоны (4.22)

Скорость воздуха на выходе из воздухопровода

$$v_0 = \frac{Q_{\text{в}}}{3600\,S_{\text{т}}} = \frac{9180}{3600 \cdot 0{,}385} = 6{,}6 \text{ м/с} .$$

Величина поперечного стеснения струи

$$\frac{S_т}{S} = \frac{0,385}{12,2} = 0,0315 < 0,04 .$$

Тогда по формулам (4.31) и (4.32)

$$\psi_р = 25 \cdot 0,0315^{1,8} = 0,05 \quad ;$$

$$T_1 = 0,284 \cdot 0,05^{0,55} = 0,0547$$

по формулам (4.33) и (4.34)

$$\omega = \frac{\sqrt{1 + 0,05} - \sqrt{0,05}}{\sqrt{0,05 \cdot 0,05}} = 3,5 ;$$

$$A_т = \sqrt{1 - \frac{0,05}{1,05}} = 0,976.$$

Среднеинтегральные значения средней скорости воздуха у поверхности стенок призабойной зоны

- в прямом потоке (4.27)

$$\overline{v_1} = \frac{6,6}{3,5}\left(0,976 + 1,15 \ln \frac{1 - 0,976}{1 + 0,976}\right) = 2,31 \text{ м/с} ;$$

- в обратном потоке (4.28)

$$\overline{v_2} = \frac{6,6}{3,5}\left[\left(\sqrt{3,5} - \frac{0,75 \cdot 0,0547}{\sqrt{1 + 0,05}}\right) \ln \sqrt{\frac{3,5 + 0,05}{0,05}} + \frac{2 \operatorname{arctg} \sqrt{0,7 \cdot 3,5}}{0,7} - 2\sqrt{3,5}\right] = 1,88\left[\left(1,87 - \frac{0,041}{1,027}\right) \ln 4,58 + \frac{2 \operatorname{arctg} 1,57}{0,836} - 3,75\right]$$

$$= 1,88 (1,83 \cdot 1,52 + 2,4 - 3,75) = 1,88 \cdot 1,43 = 2,69 \text{ м/с}.$$

Расчетное значение скорости воздуха у поверхности стенок призабойной зоны (4.26)

$$v_{з}^{\circ} = \frac{2,3I\,(0,5\cdot I3,3\cdot 8 + I,35\cdot I2,2) + 2,69\cdot 0,5\cdot I3,3\cdot 8}{I23} = 2,47 \text{ м/с}.$$

Приведенный коэффициент теплоотдачи от горных пород к рудничному воздуху в призабойной зоне (4.25)

$$\alpha_{з} = 6,35\ \frac{2,47^{0,8}}{4,25^{0,2}} = 9,8I \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^{\circ}\text{C}.$$

Критерий Фурье для призабойной зоны (4.24)

$$Fo_{з} = \frac{0,00293 \cdot I3,5}{4,25^2} = 0,0022 ;$$

$$K_{т_{з}} = \frac{I,52\sqrt{I + I,77\sqrt{0,0022}}}{4,25\cdot I,77\sqrt{0,0022} + \frac{I,52\sqrt{I+I,77\sqrt{0,0022}}}{9,8I}} = 3,08 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^{\circ}\text{C}$$

4.7.6. Определение промежуточных расчетных комплексов по формулам (4.38) – (4.46)

Для ожидаемого диапазона изменения температуры 25–35°С по табл. 4.7 принимаем

$$m_{г} = -2I,705 ; \qquad n_{г} = I,645.$$

Тогда $$m_{т} = \frac{I890}{83I}(-2I,705) = -49,365 ;$$

$$n_{т} = I,645\ \frac{I890}{83I} = 3,74 ;$$

$$K_{з} = \frac{II580}{22620} = 0,5I2 ;$$

$$N_T = \frac{5,3 \cdot 2,2 \cdot 800 \cdot 0,512}{2 \cdot 0,24 \cdot 17100} = 0,582 ;$$

$$N_з = \frac{3,08 \cdot 123}{2 \cdot 0,24 \cdot 11580} = 0,068 ;$$

$$N_б = \frac{0,658 \cdot 13,3 \cdot 800}{0,24 \cdot 17100} = 1,706 ;$$

$$\Pi_з = 1 + 0,068 + 3,74 \cdot 0,71 = 3,723 ;$$

$$\Pi_з = 2 \cdot 0,068 \cdot 40,2 + \frac{23860}{0,24 \cdot 11580} \cdot 49,365\,(0,67 - 0,71) +$$

$$+ 3,74 \cdot 27,1 \cdot 0,67 = 5,46 + 8,58 + 1,97 + 67,91 = 83,92 .$$

4.7.7. Расчет температуры в характерных точках выработки без охлаждения воздуха по формулам (4.35) – (4.37)

$$t_2 = \frac{27,1\,(1-0,582)\,3,723+2\cdot0,582\cdot83,92}{3,723+0,582\,(3,723+2\cdot0,068-2)} = \frac{42,17+97,68}{4,805} = 29,1^{\circ}C ;$$

$$t_4 = \frac{83,92 + 29,1\,(1-0,068)}{3,723} = 29,8^{\circ}C ;$$

$$t_5 = \frac{1,706 \cdot 40,2 + (1-1,164 - 0,853 + 3,74\cdot0,71)\,29,8 + 0,582 \times}{1 + 0,853 \cdot 3,74 \cdot 0,73}$$

$$\times\,(27,1+29,1)-(-49,365)(0,67-0,71) = \frac{68,58+48,82+32,71+0,99}{4,583} = 33,0^{\circ}C.$$

4.7.8. Расчет температуры в тупиковой выработке, обводненной термальными водами.

Расчет ведется подобно изложенному в п.п. 4.7.I–4.7.7 со следующими изменениями и дополнениями:

- в п. 4.7.I : температура термальных вод $t_т = 42^0C$;
- в п. 4.7.2.5: по таол. 4.6 для влажных выработок $\varphi_4 = 0,77$; $\varphi_5 = 0,79$;
- в п. 4.7.5.I: принимается отвод по выработке термальных вод в канавке с обычным перекрытием и по графику рис. 2.5 определяется значение безразмерной температуры стенки горной выработки.

При $Bi = 9,93$ и $Fo = I,03$, $\vartheta = 0,22$;

- в п. 4.7.5.2: величина $K_{т_3}$ заменяется соответствующей ей величиной $\alpha_x = 30$ ккал/м^2.ч.^{0}C ;
- в п. 4.7.6:

$$N_з = \frac{\alpha_x F_з}{2 G_2 c_p} = \frac{30 \cdot I23}{0,48 \cdot II580} = 0,663 ;$$

$$N_в = \frac{\alpha_в \vartheta U L}{G_{cp} c_p} = \frac{8,25 \cdot 0,22 \cdot I3,3 \cdot 800}{0,24 \cdot I7I00} = 4,705 ;$$

$$П_з = I + N_з + n_т \varphi_4 = I + 0,663 + 3,74 \cdot 0,77 = 4,542 ;$$

$$П_з = 2 N_з t_т + \frac{\sum Q_з}{G_2 c_p} + m_т (\varphi_1 - \varphi_4) + n_т t_1 \varphi_1 = 2 \cdot 0,663 \cdot 42 +$$

$$+ \frac{23860}{0,24 \cdot II850} - 49,365 (0,67 - 0,77) + 3,74 \cdot 27,I \cdot 0,67 = I37,II ;$$

- в п. 4.7:

$$t_2 = \frac{27,I(I-0,582) \cdot 4,542 + 2 \cdot 0,582 \cdot I37,II}{4,542 + 0,582 (4,542 + 2 \cdot 0,663 - 2)} = \frac{5I,435 + I59,458}{6,793} =$$

$$= 3I,05^0C ;$$

$$t_4 = \frac{I37,II + 3I,05 (I - 0,663)}{4,542} = 32,49^0C ;$$

$$t_5 = \frac{4,705 \cdot 42 + (1 - 1,164 - 2,352 + 3,74 \cdot 0,77)\ 32,49 + 0,582 \times}{1 + 2,352 + 3,74 \cdot 0,79}$$

$$\times \frac{(31,05 + 27,1) - (-49,365)(0,79 - 0,77)}{6,306} = \frac{197,61 + 11,793 +}{}$$

$$+ 33,843 + 0,99 = 38,7^{\circ}C.$$

4.7.9. Расчет необходимой холодопроизводительности воздухоохладителя (рис. 4.2) для нормализации тепловых условий в призабойной зоне.

Как видно из приведенных в п. 4.7.7 расчетов, температура вентиляционной струи на выходе из призабойной зоны превышает нормы, регламентируемые ПБ. Для создания нормальных температурных условий необходимо применять искусственное охлаждение воздуха, подаваемого в забой выработки.

4.7.9.1. Дополнительные исходные данные.

Согласно п. 4.1.5 ожидаемые значения относительной влажности воздуха после воздухоохладителя (φ_1), на выходе из призабойной зоны (φ_4), и на выходе из выработки (φ_5) принимаются соответственно равными: $\varphi_1 = 0,97$; $\varphi_4 = 0,73$; $\varphi_5 = 0,75$, а на выходе из трубопровода

$$\varphi_2 = 0,95 \cdot 0,73 = 0,69.$$

Коэффициент теплопередачи трубопровода охлажденного воздуха (4.18)

$$K_T = \frac{1}{\frac{1}{24,7} + \frac{0,001}{0,135} + \frac{1}{2,97 \cdot 7,12}} = 10,53 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^{\circ}C,$$

где коэффициент влаговыпадения (1.71)

$$\xi = 1 + \frac{70,1}{831} \cdot 0,74\ (4,54 + 27) = 2,97.$$

Коэффициент нестационарного теплообмена для призабойной зоны (4.20)

$$K_{\tau_3} = \frac{3,82}{123} + \frac{31,8}{\sqrt{1} + \sqrt{40}} = 4,682 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^0\text{C}.$$

4.7.9.2. Определение промежуточных расчетных комплексов по формулам (4.51)-(4.67).

Для ожидаемого интервала изменения температуры в призабойной зоне и в свооодном сечении выработки 20-30^{0}C по табл. 4.5 принимаем

$$A = 0,374 \cdot 10^{-3}\ ;\ \Phi = 0,825\ ;\ \Phi_\ell = -6,62\ .$$

Для ожидаемого изменения температур в трубопроводе в интервале 15-30^{0}C принимаем по табл. 4.8 для комплекса (4.58) и формулы (4.72)

$$A = 0,376 \cdot 10^{-3}\ ;\ \Phi = 0,696\ ;\ \Phi_\ell = -3,338\varphi$$

$$N_\ell = \frac{0,658 \cdot 13,3 \quad 800}{18000} = 0,389\ ;$$

$$N_T = \frac{10,53 \cdot 2,2 \cdot 800}{2 \cdot 18000} = 0,515\ ;$$

$$N_{\tau_3} = \frac{4,682 \cdot 123}{9180} = 0,0627\ ;$$

$$\Pi_\ell = 0,389 \cdot 40,2 + 6,62\ (0,75 - 0,73) = 15,77\ ;$$

$$\Pi_\ell = 0,389 + 2 \cdot 0,515 + 0,825\ (0,75 - 0,73) = 1,436\ ;$$

$$n_4 = 0,815 - 0,374 \cdot 10^{-3} \cdot 831 \cdot \frac{8820}{2 \cdot 18000} = 0,439\ ;$$

$$M_4 = 0,374 \cdot 10^{-3} \cdot 831 + 0,825 \cdot 0,73 = 0,913\ ;$$

$$M_5 = 0{,}374 \cdot 10^{-3} \cdot 831 + 0{,}825 \cdot 0{,}75 = 0{,}930 ;$$

$$M_2 = 0{,}374 \cdot {}^{\circ}10^{-3} \cdot 831 + 0{,}825 \cdot 0{,}69 = 0{,}880 ;$$

$$\Phi_6 = \left(\frac{0{,}930}{0{,}913}\right)^{-\frac{1{,}436}{0{,}825\,(0{,}75-0{,}73)}} = 0{,}195 ;$$

$$6 = \frac{0{,}515 + 0{,}374 \cdot 10^{-3} \cdot 831 \cdot 2 \cdot \overset{8820}{18000}}{1{,}436}\,(1-0{,}195)=0{,}331 ;$$

$$\Pi_3 = 0{,}0627 \cdot 40{,}2 + \frac{23860}{9180} + 6{,}62\,(0{,}73-0{,}69) = 5{,}384 ;$$

$$\Pi_3 = 0{,}0627 + 0{,}825\,(0{,}73 - 0{,}69) = 0{,}0957 ;$$

$$\Phi_3 = \left(\frac{0{,}913}{0{,}880}\right)^{-\frac{0{,}0957}{0{,}825\,(0{,}73-0{,}69)}} = 0{,}885 ;$$

$$C = \frac{5{,}384}{0{,}0957}\,(1 - 0{,}885) = 6{,}47 ;$$

$$E = \frac{8820}{18000} \cdot 0{,}696 \cdot 0{,}97 - \frac{9180}{18000} \cdot 0{,}376 \cdot 10^{-3} \cdot 831 = 0{,}172 .$$

4.7.9.3. Расчет необходимой температуры воздуха после воздухоохладителя, установленного в начале выработки. Предварительно по формуле (4.73) рассчитывается температура воздуха на выходе из трубопровода, с учетом $t_4 = t_{пр} = 26^{\circ}C$.

$$t_2 = \frac{26 - 6{,}47}{0{,}885} = 22{,}07^{\circ}C.$$

Необходимая температура воздуха после воздухоохладителя вычисляется по формуле (4.72)

$$t_1 = \frac{\frac{15,77}{1,436}(1-0,195)+26(1+0,95)-22,07\left(1+\frac{0,376\cdot 10^{-3}\cdot 831}{0,515}\right)-0,331}{1+\frac{0,172}{0,515}-\frac{0,439}{1,436}(1-0,195)} +$$

$$+\frac{\frac{8820}{18000}\cdot\frac{3,338}{0,515}\cdot 0,97}{1+\frac{0,172}{0,515}-\frac{0,439}{1,436}(1-0,195)} = 14,5^{\circ}C .$$

4.7.9.4. Расчет необходимой холодопроизводительности воздухоохладительной установки. Расчет производится по формуле (4.71). Предварительно вычисляются значения M_0 и M_1 по зависимостям (4.69)-(4.70). При этом по табл. 4.8 для интервала температур 15-30°С принимаем значения коэффициентов:

$$A = 0,376 \cdot 10^{-3}; \quad \Phi = 0,696; \quad \Phi_\beta = -3,338;$$

$$M_0 = 0,376 \cdot 10^{-3} \cdot 831 + 0,696 \cdot 0,85 = 0,904;$$

$$M_1 = 0,376 \cdot 10^{-3} \cdot 831 + 0,696 \cdot 0,97 = 0,987 .$$

Отсюда,

$$Q_x = 18000\left[0,904\cdot 25 - 0,987 \cdot 14,5 + 3,338\,(0,97 - 0,85) + \right.$$

$$\left. + 0,376 \cdot 10^{-3} \cdot 831 \cdot 4,1\right] = 146900 \text{ ккал/ч} .$$

4.7.9.5. Ожидаемая температура воздуха на выходе из выработки при определенной холодопроизводительности воздухоохладителя рассчитывается по формуле (4.82)

$$t_5 = \frac{15,77}{1,436}(1 - 0,195) + 0,195 \cdot 26 + \frac{0,331\,(26 - 6,47)}{0,885} +$$

$$+ \frac{0,439\,(1 - 0,195)\cdot 14,5}{1,436} = 24,8^{\circ}C .$$

Из расчетов видно, что нормальные температурные условия в рассматриваемой тупиковой выработке могут быть обеспечены при установке только двух кондиционеров КШ-3 в устье выработки.

4.7.10. Расчет необходимой холодопроизводительности воздухоохладителя для нормализации тепловых условий в призабойной зоне, установленного на заданном расстоянии от забоя в тупиковой выработке (рис. 4.3).

4.7.10.1. Исходные данные для участка от призабойной зоны до пункта установки воздухоохладителя (принимаем ℓ = 200 м). Количество воздуха, поступающего в воздухоохладитель, согласно формуле (4.79)

$$Q_{\eta_0} = 9180 + \frac{8820 \cdot 200}{800} = 11380 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Средний расход воздуха на расчетном участке (4.81)

$$Q'_{ср} = 9180 + \frac{8820 \cdot 200}{2 \cdot 800} = 10280 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Среднее значение скорости воздуха:

– в свободном сечении выработки

$$v'_в = \frac{Q'_{ср}}{3600\,(S - S_т)} = \frac{10280}{3600 \cdot 11{,}815} = 0{,}24 \text{ м/с};$$

– в трубопроводе

$$v'_т = \frac{Q'_{ср}}{3600 \cdot S_т} = \frac{10280}{3600 \cdot 0{,}385} = 7{,}42 \text{ м/с}.$$

Согласно п. 4.1.5 ожидаемые значения относительной влажности воздуха после воздухоохладителя (φ_6), на выходе из призабойной зоны (φ_4) и на выходе из трубопровода (φ_2) принимаются: $\varphi_6 = 0{,}97$; $\varphi_4 = 0{,}73$; $\varphi_2 = 0{,}98 \cdot 0{,}73 = 0{,}715$, а в пункте установки воздухоохладителя (φ_8) рассчитывается по формуле (4.92)

$$\varphi_8 = 0{,}73 + \frac{(0{,}75 - 0{,}73) \cdot 200}{800} + 0{,}025 = 0{,}76.$$

Время проветривания выработки в пункте установки воздухоохладителя

$$\tau_в = \tau_ч + \frac{l}{\lambda \bar{c}_{пр}} = 40 + \frac{200}{0,208} = 1000 \text{ ч.}$$

Расчетное время проветривания участка от призабойной зоны до места установки воздухоохладителя (I.I7)

$$\tau'_р = \frac{40 + 1000 + 2\sqrt{40 \cdot 1000}}{4} = 360 \text{ ч.}$$

Коэффициент нестационарного теплообмена определяется по формуле (I.78). Предварительно рассчитываются коэффициент теплоотдачи от горных пород к воздуху (4.I9)

$$\alpha'_в = 6,45 + 2,52 \cdot 2 \frac{0,24^{0,8}}{1,85^{0,2}} = 7,88 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^\circ\text{C};$$

– критерий Био (I.79)

$$Bi = \frac{7,88 \cdot 1,83}{1,52} = 9,487;$$

$$Bi' = 9,487 + 0,375 = 9,862;$$

– критерий Фурье (I.82)

$$Fo = \frac{0,00293 \cdot 360}{1,83^2} = 0,315;$$

$$z = 9,862\sqrt{0,315} = 5,532;$$

$$f(z) = \frac{1,0011 \cdot 5,532 - 0,2575}{5,532 + 0,3406} = 0,899.$$

Тогда коэффициент нестационарного теплообмена

$$K_T' = 7,88 \left[1 - \frac{9,487}{9,862} \cdot 0,899 \right] = 1,072 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^\circ\text{C}.$$

Коэффициент теплоотдачи трубопровода охлажденного воздуха определяется по формуле (4.18). Предварительно вычисляются коэффициенты теплоотдачи трубопровода

- внутренний (4.16)

$$\alpha_1' = 3,7 \cdot \frac{7,42^{0,8}}{0,7^{0,2}} = 19,75 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^\circ\text{C};$$

- наружный (4.17)

$$\alpha_2' = 5,52 + 3,7 \cdot \frac{0,24^{0,8}}{0,7^{0,2}} = 6,79 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^\circ\text{C}.$$

Коэффициент лаговыпадения (1.71)

$$\xi = 1 + \frac{70,1}{831} \cdot 0,745 \,(4,54 + 26) = 2,92.$$

Коэффициент теплопередачи трубопровода

$$K_T' = \frac{1}{\frac{1}{19,75} + \frac{0,001}{0,135} + \frac{1}{2,92 \cdot 6,79}} = 9,22 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^\circ\text{C}.$$

4.7.10.2. Определение промежуточных комплексов по формулам (4.80)-(4.91). Для ожидаемого интервала изменения температуры воздуха 20-30°С в выработке и в призабойной зоне по табл. 4.5 принимаем $A = 0,374 \cdot 10^{-3}$; $Д = 0,825$; $Д_в = -6,62$, которые используются в формулах (4.84)-(4.91). В трубопроводе - для 15-25°С соответственно $A = 0,380 \cdot 10^{-3}$; $Д = 0,644$; $Д_в = -2,3$, которые используются в формулах (4.79) и (4.81). В формулах (4.81), (4.88)-(4.91) величина

$$\Delta P = 0,374 \cdot 10^{-3} \cdot 831 = 0,311.$$

С учетом принятых значений относительной влажности воздуха

$$M_4 = 0{,}311 + 0{,}825 \cdot 0{,}73 = 0{,}913 ;$$

$$M_8 = 0{,}311 + 0{,}825 \cdot 0{,}76 = 0{,}938 ;$$

$$M_2 = 0{,}311 + 0{,}825 \cdot 0{,}715 = 0{,}901.$$

Значения комплексов, относящихся к участку выработки от призабойной зоны до места установки воздухоохладителя,

$$N_б' = \frac{1{,}072 \cdot 13{,}3 \cdot 200}{11380} = 0{,}25 ;$$

$$N_т' = \frac{9{,}22 \cdot 2{,}2 \cdot 200}{2 \cdot 11380} = 0{,}178 ;$$

$$П_в' = 0{,}25 \cdot 40{,}2 + 6{,}62\,(0{,}76 - 0{,}73) = 10{,}249 ;$$

$$Л_б' = 0{,}25 + 2 \cdot 0{,}178 + 0{,}825\,(0{,}76 - 0{,}73) = 0{,}631 ;$$

$$\varphi_б' = \left(\frac{0{,}938}{0{,}913}\right)^{\frac{0{,}631}{0{,}825\,(0{,}76-0{,}73)}} = 0{,}506 ;$$

$$n_1 = 0{,}178 - 0{,}311 \cdot \frac{8820 \cdot 200}{2 \cdot 11380 \cdot 800} = 0{,}178 - 0{,}03 = 0{,}148 ;$$

$$b' = \frac{0{,}178 + 0{,}03}{0{,}631}\,(1 - 0{,}506) = 0{,}163.$$

Значения комплексов, относящихся к участку призабойной зоны, с учетом вычислений в п. 4.7.8.2

$$П_з' = 0{,}0627 \cdot 40{,}2 + \frac{23830}{9180} + 6{,}62\,(0{,}73-0{,}715) = 5{,}219 ;$$

$$Л_з' = 0{,}0627 + 0{,}825\,(0{,}73 - 0{,}715) = 0{,}075 ;$$

$$\varphi_з' = \left(\frac{0{,}913}{0{,}901}\right)^{\frac{0{,}075}{0{,}825\,(0{,}73 - 0{,}715)}} = 0{,}922 ;$$

$$c' = \frac{5{,}219}{0{,}075}\,(1 - 0{,}922) = 5{,}428.$$

Принимая $t_ц = t_{пр} = 26^{\circ}C$, по формуле (4.73) получим

$$t_2 = \frac{26 - 5,428}{0,922} = 22,3^{\circ}C.$$

Значения комплексов, относящихся к участку трубопровода от призабойной зоны до воздухоохладителя

$$E_1' = \frac{9180}{11380}(0,38 \cdot 10^{-8} \cdot 831 + 0,644 \cdot 0,97) = 0,759;$$

$$E_2' = 0,38 \cdot 10^{-8} \cdot 831 + 0,644 \cdot 0,715 = 0,776.$$

4.7.10.3. Температура воздуха перед воздухоохладителем определяется по формуле (4.79)

$$t_8 = \frac{\frac{10,249}{0,631}(1-0,506)+26(1+0,506) - (1+\frac{0,776}{0,178}-0,163)22,3}{1-\frac{0,759}{0,178}-\frac{0,148}{0,631}(1-0,506)} -$$

$$- \frac{2,3(\frac{9180}{11380}\cdot 0,97 - 0,715)}{1-\frac{0,759}{0,178}-\frac{0,148}{0,631}(1-0,506)} = 20,3^{\circ}C.$$

4.7.10.4. Температура воздуха в выработке у пункта установки воздухоохладителя с учетом данных п. 4.7.10.2 вычисляется по формуле (4.106)

$$t_8 = \frac{10,249 + 0,148 \cdot 20,3}{0,631}(1-0,506) + 0,163 \cdot 22,3 + 0,506 \cdot 26 = 27,2^{\circ}C.$$

4.7.10.5. Расчет температуры воздуха в трубопроводе перед воздухоохладителем производится по формуле (4.93). Предварительно определяются значения исходных данных, а также промежуточных комплексов.

Согласно п. 4.1.5 ожидаемые значения относительной влаж-

ности воздуха в устье тупиковой выработки (φ_5), после ВМП (φ_4), перед воздухоохладителем (φ_7) принимаются соответственно равными: $\varphi_5 = 0{,}73$, $\varphi_4 = 0{,}67$ (см. п. 4.7.2.5), $\varphi_7 = \varphi_4 = 0{,}67$, а в пункте установки воздухоохладителя - $\varphi_8 = 0{,}76$ (см. п. 4.7.I0.I).

Для ожидаемого интервала изменения температуры воздуха в трубопроводе и в выработке 25-35°С по табл. 4.5 принимаем

$$A = 0{,}368 \cdot I0^{-3} ; \; Д = I{,}046; \; Д_в = -I2{,}93 ;$$

$$AP = 0{,}368 \cdot I0^{-3} \cdot 831 = 0{,}306.$$

Длина расчетного участка $L - \ell = 800 - 200 = 600$ м.

Утечки воздуха из трубопровода на участке от устья выработки до воздухоохладителя (4.I04)

$$Q''_{ут} = (I - \frac{200}{800}) \; 8820 = 6620 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Средний расход воздуха (4.I05)

$$Q''_{ср} = \frac{I8000 + 9I80}{2} + \frac{8820 \cdot 200}{2 \cdot 800} = I4690 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Среднее значение скорости воздуха

- в свооодном сечении выработки

$$v''_в = \frac{Q''_{ср}}{3600 \; (S - S_т)} = \frac{I4690}{3600 \cdot II{,}8I5} = 0{,}34 \text{ м/с} ;$$

- в трубопроводе

$$v''_т = \frac{Q''_{ср}}{3600 \cdot S_т} = \frac{I4690}{3600 \cdot 0{,}385} = I0{,}6 \text{ м/с}.$$

Коэффициент теплоотдачи от горных пород к воздуху (4.I9)

$$\alpha''_в = 6{,}45 + 2{,}52 \cdot 2 \cdot \frac{0{,}34^{0{,}8}}{I{,}83^{0{,}2}} = 8{,}33 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^\circ\text{С}.$$

Расчетное время проветривания участка от устья выработки до пункта установки воздухоохладителя (см. п.4.7.2.7 и п.4.7.I0.I)

$$\tau_p'' = \frac{1000 + 3890 + 2\sqrt{1000 \cdot 3890}}{4} = 1320 \text{ ч}.$$

Критерий Био

$$Bi = \frac{8{,}33 \cdot 1{,}83}{1{,}52} = 10{,}029;$$

$$Bi' = 10{,}029 + 0{,}375 = 10{,}404.$$

Критерий Фурье

$$Fo = \frac{0{,}00293 \cdot 1320}{1{,}83^2} = 1{,}154;$$

$$Z = 10{,}404\sqrt{1{,}154} = 10{,}987;$$

$$f(z) = \frac{1{,}0011 \cdot 10{,}987 - 0{,}2575}{10{,}987 + 0{,}3406} = 0{,}948.$$

Коэффициент нестационарного теплообмена (1.78)

$$K_\tau'' = 8{,}33\left[1 - \frac{10{,}029}{10{,}404} \cdot 0{,}948\right] = 0{,}717 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^\circ\text{C}.$$

Коэффициент теплопередачи трубопровода на участке от устья выработки до пункта установки воздухоохладителя определяется по формуле (4.15). Предварительно вычисляются коэффициенты теплоотдачи

- внутренний (4.16)

$$\alpha_1'' = 3{,}7 \cdot \frac{10{,}6^{0{,}8}}{0{,}7^{0{,}2}} = 26{,}27 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^\circ\text{C};$$

- наружный (4.17)

$$\alpha_2'' = 5{,}52 + 3{,}7\,\frac{0{,}34^{0{,}8}}{0{,}7^{0{,}2}} = 7{,}2 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^\circ\text{C}.$$

Коэффициент теплопередачи трубопровода

$$K_T'' = \frac{1}{\frac{1}{26,27} + \frac{0,001}{0,135} + \frac{1}{7,2}} = 5,43 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.}^\circ\text{C}.$$

Промежуточные комплексы определяются по формулам (4.94)-(4.105)

$$M_5^0 = 0,306 + 1,046 \cdot 0,73 = 1,069 ;$$

$$M_8 = 0,306 + 1,046 \cdot 0,76 = 1,101 ;$$

$$N_T'' = \frac{5,43 \cdot 2,2 \cdot 600}{2 \cdot 18000} = 0,199 ;$$

$$N_{CP}'' = \frac{5,43 \cdot 2,2 \cdot 600}{2 \cdot 14690} = 0,244 ;$$

$$N_B'' = \frac{0,717 \cdot 13,3 \cdot 600}{18000} = 0,318 ;$$

$$\Pi_B'' = 0,318 \cdot 40,2 + 12,93 (0,73 - 0,76) = 12,396 ;$$

$$\Pi_B'' = 0,318 + 2 \cdot 0,199 + 1,046 (0,73 - 0,76) = 0,685 ;$$

$$\varphi_B'' = \left(\frac{1,069}{1,101}\right) - \frac{0,685}{1,046 (0,73-0,76)} = 0,524 ;$$

$$n_1'' = 0,199 - 0,306 \cdot \frac{6620}{2 \cdot 18000} = 0,13-0,056 = 0,143 ;$$

$$\varepsilon'' = \frac{0,199 + 0,056}{0,685}(1 - 0,524) = 0,177 ;$$

$$a'' = \frac{12,396 + 0,143 \cdot 27,1}{0,685}(1 - 0,524) = 11,307.$$

Ожидаемая температура воздуха перед воздухоохладителем будет равна

$$t_7 = \frac{11{,}307 + (1 + 0{,}524)27{,}2 + \left(0{,}244 - 1\right)27{,}1}{1 + \frac{0{,}306}{0{,}234} - 0{,}177} = 28{,}7^{\circ}C.$$

4.7.10.6. Потребная холодопроизводительность воздухоохладителя, установленного в выработке, определяется по формуле (4.75). Предварительно вычисляются комплексы M_7 и M_8 по зависимостям (4.76) и (4.77). Так как ожидаемая разность температур входит в интервал 20-30°С, то из табл. 4.5 принимаем $A = 0{,}374 \cdot 10^{-8}$; $Д = 0{,}825$ и $Д_в = -6{,}62$.

$$M_7 = 0{,}374 \cdot 10^{-8} \cdot 831 + 0{,}825 \cdot 0{,}67 = 0{,}863;$$

$$M_8 = 0{,}374 \cdot 10^{-8} \cdot 831 + 0{,}825 \cdot 0{,}97 = 1{,}111.$$

Тогда ожидаемая холодопотребность воздухоохладителя составит

$$Q_x = \left[0{,}863 \cdot 28{,}7 - 1{,}111 \cdot 20{,}3 + 6{,}62\,(0{,}97-0{,}67)\right] 11380 =$$

$$= 47800 \text{ ккал/ч}.$$

4.7.10.7. Температура воздуха на выходе из тупиковой выработки при расчетном значении холодопроизводительности воздухоохладителя вычисляется по формуле (4.107)

$$t_5 = 11{,}307 + 0{,}177 \cdot 28{,}7 + 0{,}524 \cdot 27{,}2 = 30{,}6^{\circ}C.$$

Из расчетов видно, что нормальные температурные условия в призабойной зоне тупиковой выработки могут быть обеспечены при непрерывной работе воздухоохладителя холодопроизводительностью 50 000 ккал/ч, установленного на расстоянии 200 м от забоя. Однако, в значительной части тупиковой выработки от призабойной зоны до ее устья температура воздуха будет превышать нормативную.

Приложение I
Таблица П.I.I

Средние значения температуры земной поверхности и величин геотермической ступени для геотермических участков Донбасса

Номер геотермического участка	$t_{эп}$, °С	$\Gamma_{ср}$, м/°С	Номер геотермического участка	$t_{эп}$, °С	$\Gamma_{ср}$, м/°С
I	2	3	I	2	3
Красноармейский район					
I	9,5	35,6	II	9,6	37,6
2	I0,0	34,2	I2	I0,7	38,6
3	9,9	33,9	**Чистяково-Снежнянский район**		
4	9,9	34,7	I	9,5	4I,4
5	I0,3	36,5	2	9,0	39,8
6	I0,5	34,I	3	8,8	44,I
Дино-Донбасский район			**Центральный район**		
I	9,8	34,9	I	II,9	33,7
2	I0,3	34,3	2	II,2	44,0
3	I0,5	32,8	3	9,[illegible]	42,8
			4	I0,5	47,I
Донецко-Макеевский район			5	9,5	48,4
I	9,7	39,7	6	8,9	42,7
2	8,I	3I,2			
3	9,I	35,9	**Старобельский район**		
4	9,3	32,8	I	I2,0	40,9
5	8,8	42,2	2	I2,5	43,2
6	8,0	34,5	3	II,I	43,7
7	9,9	33,I	**Лисичанский район**		
8	8,4	34,I			
9	9,8	40,6	I	II,6	38,3
I0	I0,I	36,3	2	I0,2	37,8

Продолжение таблицы П.I.I

1	2	3
Алмазно-Марьевский район		
I	I0,8	38,6
2	I0,2	37,9
3	8,8	35,9
Лутугинский район		
I	II,4	46,2
2	II,4	46,5
3	I2,4	50,9
4	II,8	43,7
5	II,I	48,5
Краснодонский район		
I	I2,5	52,3
2	II,7	44,9
3	I2,5	47,9
4	II,3	47,5
5	II,7	53,9
6	II,0	53,8
I	7,4	33,2
Ореховский район		
I	I0,9	49,6
Боково-Хрустальский район		
I	9,2	40,7
2	9,9	44,6
3	I0,4	46,7
4	I0,2	53,9
Должанский район		
I	II,4	52,5
2	9,9	49,9
3	8,7	42,4

1	2	3
4	I0,I	44,5
5	II,2	50,6
Миллеровский район		
I	I0,8	46,9
Каменско-Гундоровский район		
I	II,5	52,8
2	I2,3	56,9
3	I2,0	62,3
Белокалитвинский район		
I	I0,2	47,8
2	I0,7	5I,8
3	I0,I	53,5
Тацинский район		
I	II,I	52,2
2	I0,7	48,2
Гуково-Зверевский район		
I	II,4	52,6
2	9,8	43,0
3	9,0	40,I
4	9,3	40,6
Красносонецкий район		
I	I0,4	44,5
Сулино-Садкинский район		
I	I0,5	49,0
2	II,9	52,5
Задонский район		
I	I2,4	49,2

Продолжение таблицы П I.I

I	2	3	I	2	3
Шахтинско-Несветаевский район					
I	II,3	48,5	5	II,I	44,2
2	I0,4	42,5	6	II,3	45,0
3	I0,0	39,3	7	II,9	45,3
4	I0,4	40,9			

23.23.88

Таблица II. 1.2.

Привязка шахтных полей и геологопромышленных комплексов к геотермическим участкам Донбасса

Номера геотермических участков	Название шахт, шахтоуправлений и геологопромышленных комплексов
I	2
	ЮГО-ЗАПАДНАЯ ЧАСТЬ ДОНБАССА
	Красноармейский район
I	ш."Украина", ш."Селидовская-южная", ш.им.Коротченко, ш."Россия", ш/у Кураховское, ш.5-6 им. димитрова, ш. I "Новогродовка", ш.2-"Новогродовка", ш.3-3-бис.
2	ш."Краснолиманская", ш.I-"Центральная", ш."Родинская", ш."Красноармейская-Капитальная", уч. Северо-Родинский Глубокий № 2.
3	ш. I-2 "Доброполье", ш.им. XXI съезда КПСС, ш."Водянская"
4	г/ш "Красноармейская", ш. I7-I8 РККА, ш. 3 "Доброполье".
5	г ш "Пионер" Д-2, Терешковская перспектива
6	ш.им. Т.Г.Шевченко, добропольская западная перспектива.
	Южно-Донбасский район
I	Южно-донбасский №4, Южно-Донбасский № 6 (без северной части)
2	Южно-Донбасский 2,3,5,8-9.
3	Кураховская перспектива, Западно-Кураховская перспектива, уч.Южно-донбасский № 6 - северная часть.
	Донецко-Макеевский район
I	уч. Петровский Глубокий, уч.Георгиевский, Трудовской-Глубокий, Курахивский Глубокий, Черкашевский Глубокий.
2	ш.им.Челюскинцев, ш.4-2I, ш.II и ш.I2 ш/у Трудовское, ш."Петровская-Глубокая" комбината Донецкшахтострой, уч.Александровский, уч. Кураково-Марьинский.

Продолжение таблицы II.I.2

I	2
3	ш.им. Абакумова, ш."Октябрьская", ш.IO-бис, Октябрьский рудник комбината Донецкшахтострой
4	ш.2-7 "Лидиевка", ш.им.Засядько - стр. № 8, ш.№ I3, ш."Кировская" ш. № 29, ш."Ново-Центральная", ш.им. газеты Социалистический Донбасс", ш.им. Калинина, ш. № 3I.
5	уч. Октябрьский Глубокий, Октябрьский рудник комбината Донецкшахтострой.
6	ш.им.Засядько, ш. "Бутовка-Донецкая", уч. Октябрьский Глубокий южный.
7	ш."Чайкино", ш."Орджоникидзе", ш/у Ново-Мушкетовское, ш."Мушкетовская-Заперевальная", ш.№ 9, ш. "Ганзовская", ш. "Мушкетовская-Вертикальная".
8	ш.им.Бажанова, Макеевско-Ханжоновская площадь - северная часть, уч. Бутовский Глубокий.
9	ш/у Октябрьское, ш."Пролетарская-Крутая" и ш. "Колосниковская-Восточная", ш/у им. Ленина, ш.им.Батова, ш."Грузская-Наклонная",ш."Пролетарская-Глубокая", ш.им.Ленина, ш,"Колосниковская № I" ш/у им. Ленина, ш/у им. Кирова, ш/у Ясиновское, Макеевско-Ханжоновская площадь - южная часть.
I0	ш/у Холодная Балка, ш."Колосниковская" № 2 ш/у им. Ленина, Харцызско-Иловайская площадь, уч. Ханжоновско-Каменский.
II	ш. "Ясиновская-Глубокая" ш/у Ясиновское, ш/у 3-й Пятилетки.
I2	Пролетарская перспектива, Ново-Моспино, Н-Крынка Глубокая; Иловайская перспектива.
	Чистяково-Снежнянский район
I	ш/у Тернопольское, ш/у Рассвет, ш/у Ждановское, ш/у Зуевское.
2	ш."Волынская",ш/у Торезское, ш."Шахтерская" ш/у им. I Мая, ш."Киевская", ш/у Шостниковское, ш."Фоминская", ш."Контарная", ш."Виктория", ш/у им. Чапаева, ш.I4-I4-бис, ш. 2-2-бис, ш."Шахтерская-Глубокая" комбината Донецкшахтострой, Зуево-Ореховская площадь, ш.Лутугина, ш."Донецкая", ш/у Кисилева,

Продолжение таблицы П.I.2

I	I	2
		ш."Объединенная", ш. № I7, ш."Снежнянская", ш."Прогресс" - южное крыло, уч. Донецкий-Капитальный.
3		ш."Винницкая", ш/у Стожковское, ш."Московская", ш/у Комсомольское, уч. Россыпянский, ш/у Красная Звезда, ш.3-бис, ш."Лесная", ш."Суходольская", ш."Миусская", ш."Прогресс" - северное крыло.
		Центральный район
I		ш.им.Дзержинского, ш/у Торецкое, уч.дзержинский Глубокий.
2		ш.им.Ворошилова, ш.им.Изотова, ш.им.Артема, ш."Южная", ш.им.Гагарина, ш."Комсомолец", ш.им. Ленина, уч.Румянцевский Глубокий - западное крыло.
3		ш."Кочегарка",ш.им.Румянцева, ш.им.Гаевого, ш.им.Калинина, ш."Александровская-Западная", ш.им.К.Маркса, уч.Румянцевский Глубокий - восточное крыло.
4		ш."Красный профинтерн", ш."Красный Октябрь", ш."им.Коммунаров", ш/у Александровское, ш/у Углегорская-Западная.
5		ш."Енакиевская",ш."Полтавская Комсомольская", уч.Миусский-Северный, уч.Миусский № I и № 2 (северная часть); Комсомольская перспектива.
6		уч.Углегорский, Северо-Миусская перспектива, уч.Миусский, уч.Миусский № I и № 2 (южная часть).
		СРЕДНЯЯ ЧАСТЬ ДОНБАССА
		Старобельский район
		уч.проф.Русанивский, пл.Варваровская, пл. Боровская, уч.проф.Пугачев-Айдарский, пл.Муратовская,пл.Грачишкинская.
		пл. Краснодеркульская, пл. Лобочевская.
		уч.Богдановский, уч.Богдановский № 6, уч.Богдановский 5-7.
		Лисичанский район
		ш."Кременная", ш.им.Капустина, ш."Привольнянская",ш."Новодружеская", уч.ш."привольнянской",уч.Северо-Лисичанский.

Продолжение таблицы II.I.2

I	I	2
2		ш.им.мельникова, уч.ш.им.Мельникова, ш."Черноморка", ш."Матросская", ш."Войкова", уч.Горский Глубокий.
		Алмазно-Марьевский район
I		ш."Горская", ш."Карбонит", ш."Радуга", уч.Горский Глубокий уч.Светлановский
2		ш."Родина", ш."Золотое", ш."Михайловская", ш."Менжинского", ш."Сокологоровка", ш.им.Кирова, ш."Голуховская", ш.№ 100, ш. № 77 , ш.XXII съезда ВЛКСМ, ш."Максимовская", ш.им.Чесноков а, ш.3-3-Онс, ш."Криничанская", ш."Бежановская", ш."Гошковская", ш."Пролетарская", ш."Луганская", уч.Светлановский - южная часть.
3		ш."Вергелевская", ш/у Ломоносовское, ш."Анненская", ш."Замковская", ш.им.Дзержинского, ш.им.Ильича, ш/у Криворожье, ш."Брянская", ш."Краснопольевская", ш.I-1-Онс, уч. Мироновский Глубокий, Сануаровская перспектива, уч.Ломоватский, уч.Анненский Вертикальный.
		Луганский район
I		ш."Черкасская", ш/у Черкасское, ш."Славяносербская", ш."Лотикова", ш/у Черкасское, уч. Тельмановский (зап.крыло).
2		ш/у XIX съезда ВЛКСМ, ш."Белореченская", ш/у им.Ленина, уч.Сутаган Пологий.
3		уч. Климовский, уч.Тельмановский (вост.крыло), уч.Новосветловский.
4		уч. Чапаевского рудника
5		уч.Менчекуровский
		Краснодонский район
I		уч. Краснодонский Северный, Краснодонская южная перспектива
2		уч.Краснодонский Северный I.

Продолжение таблицы П.I.2

I	I	2
3		ш."Молодогвардейская",ш. 50 лет СССР, ш."Самсоновская Западная" комбината "Ворошиловградшахтопроходка".
4		ш."Северная", ш."Победа",ш/уСуходольское,ш."Лутикова", ш."Дуванная",ш. им.Баракова, ш. "Суходольская-Восточная", комбината Ворошиловградшахтопроходка.
5		ш."Энгельсовская",ш."Ореховская",ш."Таловская",ш."Краснодонская",Ореховская восточная перспектива, уч.Краснодонский Глубокий - зап.крыло.
6		ш."Краснодарская",уч.Краснодонский Глубокий - восточное крыло,уч. Краснодонский Южный.
		Селезневский район
I		ш/у Боринское, ш/у им. Косиора, ш/у им. Артема,ш/у Украина, ш/у Перевальское, уч. Селезневский,уч. Анненковский Вертикальный - южное крыло.
		Ореховский район
I		уч. Первозвановский, уч. Лутугинский южный I, Лутугинская южная перспектива.
		Боково-Хрустальский район
I		ш/у Запорожское, ш.152,ш/у Краснокутское,уч. Краснолучский I, уч. Фащевский нижний.
2		ш.4 ш/у Хрустальское, ш.7-8, ш."Знамя коммунизма". ш."Мнусинская", ш/у Алмазное, уч.Фащевский рудник,уч. Грабовский рудник.
3		ш.21 ш/у Краснокутское,ш."Известия" и IO-IO-бис ш/у им. газеты "Известия", ш. 32 ш/у им. газеты "Ворошиловградская Правда", ш.им.Вахрушева,ш."Центральная",ш.30 ш/у им. газеты "Ворошиловградская правда", ш."Новопавловская", ш. "Краснолучская", ш.4-бис ш/у Знамя коммунизма, ш.им.XXIУ съезда КПСС, уч.Нагольчанский западный.

Продолжение таблицы П.I.2

I	1	2
4		ш/у нагольчанское, ш."Партизанская",ш."Дружба",ш/ушм. им. 50 лет Советской Украины, ш/у Фрунзе, уч. ш. им. Фрунзе - западное крыло.
		Должанский район
I		ш/у Ровеньковское, им. XXIII съезда КПСС, ш/у Дзержинского, Свердловская перспективе, уч.Ш.им.Фрунзе - восточная часть
2		ш/у ленинское, ш/у Космонавтов
3		ш.им.Володарского, ш."Центросоюза", ш/у Свердлова, ш.67 ш/у Одесское, ш."Харьковская", ш/у Наклонное, ш.66 ш/у Маяк, уч. Володарский рудник
4		ш."Красный партизан", ш."Майская",ш."Богучаровская",уч.Должанский Каменский
5		ш.25 ш/у Наклонное, ш.71 ш/у Маяк, уч.Должанский-южный, уч.Должанский-южный № I
		ВОСТОЧНАЯ ЧАСТЬ ДОНБАССА
		Миллеровский район
I		Миллеровская западная поисковая площадь
		Каменско-Гундоровский район
I		уч. Грачинский Западный, уч.Грачинский, уч.Каравчевский, уч. Глубокинский № I
2		ш."Донецкая",ш."Центральная", ш."Гундоровская",ш."Изверинская", ш."Западная",уч.Михайловский южный, уч. Михайловский южный 2,3,4, уч. Деревеченский № 3, № 6
3		уч. Каменский I,II, Южно-Каменский I,III, Северо-Донецкий №I, 3,Лиховский Северный № 2.
		Белокалитвенский район
I		Дядинский комплекс, уч.Яминовский, уч.Бугаевский восточный, уч. Глубокий, ш/у Белокалитвенское, ш.5.
2		Северо-Дядинская поисковая площадь, уч.Горняцкий Западный I,II,III,Шолоховский Глубокий, уч.Сухой 2, Сухой южный.

Продолжение таблицы II.I.2

I	2
	уч.Керп овский, ш/у Белокалитвенское, ш. № 4.
3	ш."Восточная", ш."Шолоховская", уч.Горняцкий Южный № 2, Западно-Быстрянский, Тацинский Ш, Горняцкий Крутой, Горняцкий Крутой 2, Грачевский Северный
	Тацинский район
I	уч.ш."Быстрянской I,П, уч. Тацинский, уч. Тацинский Замковый северный и южный, уч.Михайловский I,П,Ш,IУ, ш/у Тацинское.
2	уч. Коминтерновский, уч.Быстрянский П, уч.Суховский I,П,Ш
	Гуково-Зверевский район
I	ш."Углерод", ш."Комиссаровская", уч.Углерод Западный, Углерод Глубокий, уч.Замчаловский, Замчаловский Южный, Свободная Площадь Гуково-Зверевского угленосного района; Южно-Волченский комплекс,уч.Розеттовский Западный, уч. Замчаловский Западный, Заповедный Северный, уч. Лиховской, уч. Восточно-Чичерский, уч. Лиховской 3.
2	ш."Антрацит", ш/у Бургустинское, ш.им. 50-летия Октября, ш."Ростовская", ш/у Алмазное, ш/у Замчаловское, ш."Гуковская", ш."Октябрьская", уч. Заповедный Восточный, уч. Заповедный Южный, ш. "Степная".
3	ш. "Зверевская",ш."Обуховская" комбината Ростовшахтострой, ш."Дальняя", Свободная площадь Гуково-Зверевского угленосного района, уч. ш. Обуховская Западная, уч. ш.Обуховской I, уч. Шерловский южный I.
4	Калиновский комплекс, уч.Калиновский Восточный, уч.Калиновский 2, ш."Шерловская".
	Краснодонецкий район
I	ш/у Краснодонецкое, уч.Краснодонецкий Замковый, Краснодонецкий Глубокий, уч.ш."Краснодонецкий" I, Краснодонецкий Северный I, Усть-Быстрянский, уч.Серебряковский.

Продолжение таблицы П.I.2

I	2
	Сулино-Садкинский район
I	уч.Сулинский Северный I, Сулинский Северный II, уч.ш."Сулинская" № I,2 и 3.
2	уч. Горный I,II,III,IУ, уч. Садкинский № 2 Западный, уч. Садкинский № 2 Центральный, уч. Южно-Кундрюченский, уч. ш."Южно-Кундрюченский"
	Шахтинско-Несветаевский район
I	ш."Соколовская", Северо-Несветаевский комплекс, Несветаевский Замковый, уч. Маякский, уч. Большой Несветаевский, уч. Самбековский южный I,2 и 3.
2	ш."Коминтерновская", ш."Краснонесветаевская", ш."Южно-Горьковская",ш."Западная-Капитальная", ш.им.газеты "Комсомольская Правда",ш."Несветаевская", ш/у Самбековское, ш.им.Горького, ш.№ 43 ш/у Степановское, уч. Восточно-Несветаевский, уч. Малонесветаевский, уч. Горьковский Южный. с
3	ш.3-I-бис (закрыта), ш."Юбилейная",ш.им.Ленина, ш/у Степановское, ш.3-2-бис, ш.им. Кирова, уч.Кировский Южный I,3, Аютинский Западный, Аютинский Глубокий, уч. Степановский
4	ш."Наклонная",ш."Аютинская",уч.Аютинский Глубокий, Шахтинский Глубокий, Аютинский комплекс.
5	ш. "Пролетарская диктатура" (закрыта), ш."Комсомольская Правда" (закрыта), ш."Майская", ш."Южная", ш."Нежданная", уч. Нежданный Глубокий.
6	ш/у Мирное ш."Мирная", ш.им. Артема, ш.20 лет РККА (закрыта), ш."Глубокая", ш.им.Октябрьской Революции, ш."Красина", уч. Красинский южный, уч. Октябрьский южный.
7	уч. Ягодинский, Ягодинский Восточный, уч.ш."Бессергеневской", Корчикский, Корчикский южный, уч.ш."Раздорской" I. Западный I,2, Раздорский, Южно-Раздорский комплекс.

Продолжение таблицы II.1.2

I	I	2
		Задонский район
уч		Ново-Золотовский I,II,III,IУ и У, Ново-Золотовский Глубокий, Ново-Золотовский Замковый, Семикаракорский левобережный, Семикаракорский южный, Степановский I и II, Виловский I,II,III,IУ,У,УI,УII,УIII,IX,X,XI.

Приложение 2
Таблица П.2

Парциальное давление насыщенного водяного пара

t, °С	$p_н$, мм рт.ст.	t, °С	$p_н$, мм рт.ст.	t, °С	$p_н$, мм рт.ст.
1	2	1	2	1	2
0	4,58	2,9	5,64	5,8	6,91
0,1	4,61	3,0	5,68	5,9	6,96
0,2	4,64	3,1	5,72	6,0	7,01
0,3	4,67	3,2	5,76	6,1	7,06
0,4	4,71	3,3	5,80	6,2	7,11
0,5	4,75	3,4	5,84	6,3	7,16
0,6	4,78	3,5	5,89	6,4	7,21
0,7	4,81	3,6	5,93	6,5	7,26
0,8	4,85	3,7	5,97	6,6	7,31
0,9	4,89	3,8	6,01	6,7	7,36
1,0	4,93	3,9	6,05	6,8	7,41
1,1	4,96	4,0	6,10	6,9	7,46
1,2	4,99	4,1	6,14	7,0	7,51
1,3	5,03	4,2	6,18	7,1	7,56
1,4	5,07	4,3	6,22	7,2	7,61
1,5	5,11	4,4	6,27	7,3	7,66
1,6	5,14	4,5	6,32	7,4	7,72
1,7	5,17	4,6	6,36	7,5	7,78
1,8	5,21	4,7	6,40	7,6	7,83
1,9	5,25	4,8	6,44	7,7	7,88
2,0	5,29	4,9	6,49	7,8	7,93
2,1	5,33	5,0	6,54	7,9	7,99
2,2	5,37	5,1	6,58	8,0	8,05
2,3	5,41	5,2	6,63	8,1	8,10
2,4	5,45	5,3	6,68	8,2	8,15
2,5	5,49	5,4	6,73	8,3	8,20
2,6	5,52	5,5	6,78	8,4	8,26
2,7	5,56	5,6	6,82	8,5	8,32
2,8	5,60	5,7	6,86	8,6	8,37

Продолжение таблицы П.2

I	2	I	2	I	2
8,7	8,43	I2,3	I0,73	I5,9	I3,55
8,8	8,49	I2,4	I0,80	I6,0	I3,64
8,9	8,55	I2,5	I0,87	I6,I	I3,73
9,0	8,6I	I2,6	I0,94	I6,2	I3,8I
9,2	8,73	I2,8	II,08	I6,4	I3,99
9,3	8,79	I2,9	II,I5	I6,5	I4,08
9,4	8,85	I3,0	II,23	I6,6	I4,I7
9,5	8,9I	I3,I	II,30	I6,7	I4,26
9,6	8,97	I3,2	II,37	I6,8	I4,35
9,7	9,03	I3,3	II,45	I6,9	I4,44
9,8	9,09	I3,4	II,53	I7,0	I4,53
9,9	9,I5	I3,5	II,6I	I7,I	I4,62
I0,0	9,2I	I3,6	II,68	I7,2	I4,7I
I0,I	9,27	I3,7	II,75	I7,3	I4,80
I0,2	9,33	I3,8	II,83	I7,4	I4,90
I0,3	9,39	I3,9	II,9I	I7,5	I5,00
I0,4	9,45	I4,0	II,99	I7,6	I5,09
I0,5	9,52	I4,I	I2,06	I7,7	I5,I8
I0,6	9,58	I4,2	I2,I4	I7,8	I5,28
I0,7	9,64	I4,3	I2,22	I7,9	I5,38
I0,8	9,70	I4,4	I2,30	I8,0	I5,48
I0,9	9,77	I4,5	I2,38	I8,I	I5,57
II,0	9,84	I4,6	I2,46	I8,2	I5,67
II,I	9,90	I4,7	I2,54	I8,3	I5,77
II,2	9,97	I4,8	I2,62	I8,4	I5,87
II,3	I0,04	I4,9	I2,70	I8,5	I5,97
II,4	I0,II	I5,0	I2,79	I8,6	I6,07
II,5	I0,I8	I5,I	I2,87	I8,7	I6,I7
II,6	I0,24	I5,2	I2,95	I8,8	I6,27
II,7	I0,3I	I5,3	I3,03	I8,9	I6,3I
II,8	I0,38	I5,4	I3,I2	I9,0	I6,48
II,9	I0,45	I5,5	I3,2I	I9,I	I6,58
I2,0	I0,52	I5,6	I3,29	I9,2	I6,68
I2,I	I0,59	I5,7	I3,37	I9,3	I6,78
I2,2	I0,66	I5,8	I3,46	I9,4	I6,89

I	2	I	2	I	2
19,5	17,00	23,2	21,33	26,9	26,594
19,6	17,10	23,3	21,46	27,0	26,750
19,7	17,21	23,4	21,59	27,1	26,908
19,8	17,32	23,5	21,72	27,2	27,066
19,9	17,43	23,6	21,85	27,3	27,224
20,0	17,54	23,7	21,98	27,4	27,382
20,1	17,65	23,8	22,11	27,5	27,54
20,2	17,76	23,9	22,24	27,6	27,704
20,3	17,87	24,0	22,38	27,7	27,868
20,4	17,98	24,1	22,51	27,8	28,032
20,5	18,09	24,2	22,64	27,9	28,196
20,6	18,20	24,3	22,78	28,0	28,36
20,7	18,31	24,4	22,92	28,1	28,526
20,8	18,42	24,5	23,06	28,2	28,692
20,9	18,54	24,6	23,20	28,3	28,858
21,0	18,66	24,7	23,34	28,4	29,024
21,1	18,77	24,8	23,48	28,5	29,19
21,2	18,88	24,9	23,62	28,6	29,362
21,3	19,00	25,0	23,76	28,7	29,534
21,4	19,12	25,1	23,904	28,8	29,706
21,5	19,24	25,2	24,048	28,9	29,818
21,6	19,35	25,3	24,192	29,0	30,05
21,7	19,47	25,4	24,346	29,1	30,226
21,8	19,59	25,5	24,48	29,2	30,402
21,9	19,71	25,6	24,628	29,3	30,578
22,0	19,83	25,7	24,772	29,4	30,754
22,1	19,95	25,8	24,916	29,5	30,93
22,2	20,07	25,9	25,06	29,6	31,11
22,3	20,19	26,0	25,22	29,7	31,29
22,4	20,31	26,1	25,37	29,8	31,47
22,5	20,44	26,2	25,52	29,9	31,65
22,6	20,56	26,3	25,67	30,0	31,83
22,7	20,68	26,4	25,82	30,1	32,016
22,8	20,81	26,5	25,97	30,2	32,202
22,9	20,94	26,6	26,126	30,3	32,388
23,0	21,07	26,7	26,282	30,4	32,574
23,1	21,20	26,8	26,438	30,5	32,760

Продолжение таблицы П.2

I	2	I	2	I	2
30,6	32,952	34,3	40,558	38,0	49,710
30,7	33,144	34,4	40,774	38,1	49,982
30,8	33,336	34,5	41,040	38,2	50,254
30,9	33,528	34,6	41,27	38,3	50,526
31,0	33,710	34,7	41,50	38,4	50,798
31,1	33,904	34,8	41,73	38,5	51,070
31,2	34,098	34,9	41,96	38,6	51,348
31,3	34,292	35,0	42,19	38,7	51,626
31,4	34,496	35,1	42,428	38,8	51,904
31,5	34,680	35,2	42,666	38,9	52,182
31,6	34,878	35,3	42,904	39,0	52,460
31,7	35,076	35,4	43,142	39,1	52,744
31,8	35,274	35,5	43,38	39,2	53,028
31,9	35,472	35,6	43,62	39,3	53,312
32,0	35,670	35,7	43,86	39,4	53,596
32,1	35,870	35,8	44,10	39,5	53,880
32,2	36,074	35,9	44,34	39,6	54,172
32,3	36,276	36,0	44,58	39,7	54,464
32,4	36,478	36,1	44,826	39,8	54,756
32,5	36,69	36,2	45,072	39,9	55,048
32,6	36,90	36,3	45,318	40,0	55,340
32,7	37,11	36,4	45,564	40,1	55,638
32,8	37,32	36,5	45,810	40,2	55,936
32,9	37,53	36,6	46,064	40,3	56,234
33,0	37,74	36,7	46,328	40,4	56,532
33,1	37,954	36,8	46,572	40,5	56,830
33,2	38,168	36,9	46,826	40,6	57,136
33,3	38,370	37,0	47,080	40,7	57,442
33,4	38,584	37,1	47,35	40,8	57,748
33,5	38,81	37,2	47,62	40,9	58,054
33,6	39,03	37,3	47,89	41,0	58,360
33,7	39,25	37,4	48,16	41,1	58,672
33,8	39,47	37,5	48,38	41,2	58,984
33,9	39,69	37,6	49,096	41,3	59,296
34,0	39,91	37,7	49,362	41,4	59,608
34,1	40,126	37,8	49,628	41,5	59,92
34,2	40,342	37,9	49,894	41,6	60,24

Продолжение таблицы П.2

I	2	I	2	I	2
4I,7	60,56	43,2	65,504	44,7	70,808
4I,8	60,88	43,3	65,846	44,8	7I,I72
4I,9	6I,20	43,4	66,I88	44,9	7I,536
42,0	6I,52	43,5	66,53	45,0	7I,9
42,I	6I,846	43,6	66,88	45,I	72,264
42,2	62,I72	43,7	67,23	45,2	72,628
42,3	62,498	43,8	67,58	45,3	72,992
42,4	62,824	43,9	67,93	45,4	73,356
42,5	63,I50	44,0	68,28	45,5	73,760
42,6	63,484	44,I	68,64	45,6	74,I72
42,7	63,8I8	44,2	69,00	45,7	74,524
42,8	64,I52	44,3	69,36	45,8	74,906
42,9	64,486	44,4	69,72	45,9	75,288
43,0	64,820	44,5	70,08	46,0	75,670
43,I	65,I62	44,6	70,444		

Таблица П.3.I

Теплофизические свойства транспортируемого угля

Марка угля	Выход летучих, %	Теплофизические свойства	Размерность	Влажность транспортируемого ископаемого, %					
				I	3	5	7	9	II
I	2	3	4	5	6	7	8	9	IO
А	2-5	c	ккал/кг.°С	0,255	0,270	0,285	0,300	0,3I6	0,330
		λ	ккал/м.ч.°С	0,I07	0,I27	0,I49	0,I70	0,I9I	0,2I2
		a	$I0^4$ м²/ч	5,24	5,87	6,53	7,08	7,55	8,03
	5-8	c		0,263	0,278	0,293	0,308	0,322	0,337
		λ		0,098	0,II6	0,I36	0,I56	0,I75	0,I94
		a		4,65	5,2I	5,80	6,33	6,79	7,I9
ПА	8-I2	c		0,269	0,284	0,298	0,3I3	0,328	0,343
		λ		0,092	0,I09	0,I28	0,I46	0,I64	0,I82
		a		4,25	4,84	5,34	5,82	6,25	6,65
Т, ОС	I2-I5	c		0,274	0,289	0,304	0,3I8	0,333	0,348
		λ		0,086	0,I03	0,I2I	0,I38	0,I55	0,I72
		a		3,92	4,45	4,97	5,42	5,8I	6,I7
	I5-I8	c		0,282	0,297	0,3II	0,326	0,340	0,355
		λ		0,08I	0,097	0,II3	0,I30	0,I45	0,I62
		a		3,59	4,08	4,54	4,98	5,33	5,70
К	I8-22	c		0,288	0,302	0,3I7	0,33I	0,346	0,360
		λ		0,078	0,094	0,II0	0,I26	0,I4I	0,I57
		a		3,4I	3,88	4,36	4,74	5,II	5,44

Продолжение таблицы П.3.I

I	2	3	4	5	6	7	8	9	IO
	22-26	c	ккал/кг.°С	0,297	0,3I2	0,326	0,340	0,354	0,368
		λ	ккал/м.ч.°С	0,077	0,092	0,I08	0,I23	0,I38	0,I54
		a	м²/ч	3,24	3,68	4,I4	4,52	4,87	5,23
	26-29	c		0,30I	0,3I5	0,330	0,344	0,358	0,372
		λ		0,078	0,093	0,I09	0,I24	0,I39	0,I55
		a		3,23	3,69	4,I2	4,50	4,85	5,20
X	29 32	c		0,309	0,323	0,337	0,35I	0,365	0,379
		λ		0,08I	0,096	0,II2	0,I29	0,I44	0,I6I
		a		3,27	3,7I	4,I5	4,59	4,93	5,3I
	32-35	c		0,3I7	0,330	0,344	0,358	0,372	0,386
		λ		0,086	0,I02	0,II9	0,I37	0,I53	0,I7I
		a		3,39	3,86	4,32	4,78	5,I4	5,53
	35-40	c		0,324	0,338	0,352	0,365	0,379	0,392
		λ		0,092	0,II0	0,I29	0,I48	0,I65	0,I84
Д,Г		a		3,54	4,06	4,58	5,06	5,44	5,86
	40-44	c		0,328	0,342	0,355	0,369	0,382	0,396
		λ		0,096	0,II5	0,I34	0,I54	0,I72	0,I92
		a		3,55	4,20	4,7I	5,2I	5,62	6,06

25.2388

Приложение 3

Таблица П.3.2.

Значения средних безразмерных температур $\Theta_{vн}$ и $\Theta_{vк}$ для
ископаемого в вагонетках

$Fo \cdot 10^4$	Bi										
	I	3	5	I0	I6	20	30	50	I00	200	∞
0,5	0,9998	0,9996	0,9995	0,9986	0,9978	0,9973	0,9960	0,9940	0,9898	0,9849	0,9755
I	0,9997	0,9993	0,999I	0,9972	0,9957	0,9948	0,9927	0,9892	0,9832	0,977I	0,9663
2	0,9994	0,9986	0,9983	0,9946	0,99I8	0,9902	0,9865	0,9808	0,9722	0,9645	0,9527
4	0,9989	0,9974	0,9967	0,9896	0,9846	0,98I7	0,9756	0,9669	0,955I	0,9460	0,9335
6	0,9984	0,9963	0,995I	0,9849	0,9780	0,974I	0,9660	0,955I	0,94I4	0,93I6	0,9189
8	0,9980	0,995I	0,9936	0,9804	0,97I7	0,9669	0,9573	0,9447	0,9298	0,9194	0,9067
I0	0,9975	0,9940	0,992I	0,9760	0,9658	0,9602	0,9493	0,9353	0,9194	0,9088	0,8960
20	0,9953	0,9886	0,9846	0,9558	0,9394	0,9309	0,9I52	0,8972	0,8787	0,8674	0,8546
40	0,99I0	0,9780	0,9700	0,92II	0,8962	0,8842	0,8636	0,8420	0,82I8	0,8I04	0,7979
60	0,9866	0,9674	0,9556	0,8909	0,8603	0,8463	0,823I	0,7999	0,7793	0,7679	0,7558
80	0,982I	0,9566	0,94I0	0,8638	0,829I	0,8I37	0,7889	0,7650	0,7443	0,7330	0,72I2
I00	0,9774	0,9456	0,9264	0,839I	0,80I2	0,7848	0,7590	0,7347	0,7I4I	0,7030	0,69I5

Fo

Приложение 4
Таблица II.4.I

Теплофизические характеристики крепежных и изоляционных материалов

Наименование материала	Плотность кг/м³	Теплофизические свойства		
		$a \cdot 10^4$, м²/ч	с, ккал/кг·°С	С, ккал/м·ч·°С
Бетон	I900-2270	20.0-23,0	0,2II	0,8-I,I
Пенобетон	400- 600	I5,0-I3,3	0,25	0,I5-0,20
Бетон сухой	2I80	II,0	0,27	0,65
Железобетон	2200-2400	27,3-27,I	0,20	I,2-I,3
Шлакобетон	2I50	I7,7	0,2I	0,8
Бутовая кладка	I700-2200	23,5-27,3	0,20	0,8-I,2
Шлак гранулированный	500-600	II,I-I3,9	0,I8	0,I0-0,I5
Кирпич красный обожженный	I400-I300	I6,2-20,2	0,22	0,5-0,8
Кирпичная кладка влажная	I960	I9,5	0,22	0,84
Дерево	500-800	4,0-4,2	0,60	0,I2-0,20
Дуб, перпендикулярно волокнам	780-820	3,8-4,I	0,60	0,I8-0,20
То же, параллельно волокнам	780-820	6,4-7,I	0,60	0,30-0,35
Сосна и ель, перпендикулярно волокнам	580-620	3,2-3,7	0,65	0,I2-0,I5
То же, параллельно волокнам	580-620	7,4-8,2	0,65	0,28-0,33
Стекловолокно	200	9,6-28,7	0,I57	0,03-0,09
Шлаковата	200-300	9,4-I3,0	0,I8	0,034-0,07
Пенопласт (ФРП-I, резопен)	75-I00	I3,0-I0,5	0,38	0,037-0,04
Пенополистирол ПСБ-С	50	I6,4	0,40	0,0328
Перлитопластбетон	230	5,6	0,32	0,04I
Пенополиуретан ППУ-6	60	I5,I	0,36	0,0326
Минеральная вата	250-400	8,0-8,0	0,25	0,05-0,08
Минеральный войлок	250-350	9,6-9,I	0,25	0,06-0,08

Приложение 5

Таблица П.5

Значения коэффициента K_p в зависимости от критерия Коссовича $K_{o\,c}$ и температурного симплекса $K_т$

$K_т$	K_p при различных значениях критерия Коссовича | Ko |								
	0,I	0,5	I,0	5	I0	I5	20	25	30
0	0,99	0,80	0,60	0,33	0,25	0,I9	0,I7	0,I52	0,I4
0,I	0,85	0,657	0,542	0,3	0,223	0,I84	0,I64	0,I48	0,I36
0,5	0,586	0,536	0,448	0,276	0,2I	0,I7I	0,I50	0,I42	0,I32
I	0,428	0,394	0,359	0,244	0,I9	0,I67	0,I5	0,I36	0,I26
2	0,287	0,276	0,266	0,20I	0,I68	0,I5	0,I36	0,I25	0,II7
4	0,I70	0,I7	0,I69	0,I5	0,I32	0,I22	0,II3	0,I06	0,I
8	0,I0I	0,I0I	0,I0I	0,095	0,09	0,086	0,083	0,078	0,076
I2	0,073	0,073	0,073	0,07	0,067	0,065	0,064	0,062	0,06
I6	0,056	0,056	0,056	0,055	0,054	0,053	0,052	0,05	0,049
20	0,045	0,045	0,045	0,045	0,044	0,044	0,0435	0,043	0,042

БП06168 Подписано к печати 2.02. 1979г.
Усл. физич. лист. 12,25 Учетно-изд. лист.
Заказ № 2388 Тираж 170 экз.

Ротапринт гортипографии № 2
340002, г. Донецк, пр. Б. Хмельницкого, 102

gost.e-ecolog.ru