

Unified methodology for forecasting temperature conditions in mines (Единая методика прогнозирования температурных условий в угольных шахтах)

Authors Kuzin V.A., Velichko A.E., Khokhotva N.N., Yakovenko A.K., Bodnya S.F. (sections 1, 4); Stukalo VA (subsection 1.2. 4.3) Frolov N.A., Fandeyev M.I., Filimonenko V.T. (subsection 1.1.8), Krivoruchko AM (subsection 1.2.2.1), Medvedev B.I., Zhuravlenko V.Y. (subsection 1. 4), (Subsection 1.2.2.1) Scherban A.N., Chernyak V.P., Malashenko E.N., Zimin L.B., Matskovaia A.G., Braycheva N.A. (subsections 1.4, 1.6, Lanchava O.A. (section 2) Oniani S.I., Gendler S.G. (section 3). Dyadkin Y.D., Shuvalov Y.V., Gendler S.G.

Publication date 1979

Volume 1

Pages 196

Министерство угольной промышленности СССР
Г О С У Д А Р С Т В Е Н Н Ы Й
МАКЕЕВСКИЙ ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПО БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТ В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**ЕДИНАЯ МЕТОДИКА
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ
В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ**

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
1. МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ ГЛУБОКИХ ШАХТ	10
1.1. Выбор исходных данных	10
1.2. Расчет тепловыделений местных источников в горных выработках	20
1.3. Расчет коэффициентов теплопередачи трубопрово- дов с тепло- и хладоносителем в горных выработ- ках	28
1.4. Расчет коэффициентов нестационарного теплооб- мена между горным массивом и воздухом в выра- ботках	31
1.5. Тепловой расчет горных выработок	38
1.6. Упрощенный способ тепловых расчетов горных выработок	42
1.7. Пример теплового расчета	46
1.8. Пример теплового расчета по упрощенному спо- собу	71
2. МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ШАХТ В ОСЛОЖНЕННЫХ УСЛОВИЯХ	75
2.1. 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 термаль- ными водами	88
3. МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ ШАХТ СЕВЕРА	92
3.1. 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 вентиляцион- ных трубопроводов в тупиковых выработках	135
4.4. Расчет коэффициентов нестационарного теплооб- мена 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

ВВЕДЕНИЕ

Увеличение добычи угля и повышение производительности труда, намеченные XXV 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 горно-технических мероприятий, так и применением кондиционирования воздуха, должно базироваться на научно обоснованных методах тепловых расчетов.

Советскими учеными разработаны теоретические основы прогноза и регулирования теплового режима шахт 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 Маневровского 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 забой" 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., Фандзев 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); Шербань А.Н., Черняк В.П., Малашенко Э.Н., Зимин Л.Б., Мацьковская А.Г., Брайтчева 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_f, A_n	- соответственно фактическая и номинальная производительность установки, машины и др., т/ч ;
a	- коэффициент температуропроводности, $m^2/ч$;
a_k, a_n, a_y	- коэффициенты температуропроводности соответственно пород кровли, почвы и угля, $m^2/ч$;
$a_{ср}$	- средневзвешенное значение коэффициента температуропроводности горных пород, $m^2/ч$;
b	- ширина конвейера в лаге, м ;
$\Gamma_{ср}$	- средняя для геотермического участка величина геотермической ступени, $m/^\circ C$;
c	- удельная теплоемкость, ккал/кг. $^\circ C$;
c_p	- теплоемкость воздуха при постоянном давлении, $c_p = 0,24$ ккал/кг. $^\circ C$;
$c_{тр}$	- теплоемкость тепло- или хладоносителя, ккал/кг. $^\circ C$;
c_k, c_n, c_y	- соответственно коэффициенты теплоемкости пород кровли, почвы и угля, ккал/кг. $^\circ C$;
$c_{ср}$	- средневзвешенное значение коэффициента теплоемкости, ккал/кг. $^\circ C$;
d_n	- наружный диаметр трубопровода, м ;
$d_{вн}$	- внутренний диаметр трубопровода, м ;
$G_{в}$	- влагосодержание насыщенного воздуха, кг/кг ;
$G_{т}$	- средний весовой расход воздуха в выработке, кг/ч ;
$G_{см}$	- весовой дебит термальных вод, кг/ч ;
$G_{сж}$	- расход сжатого воздуха, кг/ч ;
$G_{тр}$	- расход тепло- или хладоносителя, кг/ч ;
$q_{ок}$	- удельное тепловыделение от окисления, ккал/ $m^2 \cdot ч$;
H_1, H_2	- глубина от поверхности расчетного пункта выработки, м ;
H	- глубина от поверхности начального и конечного пунктов выработки, м ;
ΔH	- разность высотных отметок начала и конца расчетного участка выработки, м ;
K_z	- коэффициент загрузки электродвигателя во времени ;
$K_{утб}$	- коэффициент, учитывающий утечки воздуха через выработанное пространство ;
$K_{р}$	- коэффициент разрыхления транспортируемого ископаемого ;
$K_{зо}$	- расход электроэнергии на один т.км, кВт.ч ;
$K_{в}$	- коэффициент теплопередачи от воды к воздуху, ккал/ $m^2 \cdot ч \cdot ^\circ C$;
$K_{тр}$	- коэффициент теплопередачи неизолированного трубопровода, ккал/ $m^2 \cdot ч \cdot ^\circ C$;
$K_{ктр}, K_{тр}$	- коэффициенты теплопередачи трубопроводов соответственно с хладо- и теплоносителем, ккал/ $m^2 \cdot ч \cdot ^\circ C$;
K_c	- коэффициент нестационарного теплообмена между горным массивом и воздухом, ккал/ $m^2 \cdot ч \cdot ^\circ C$;
$K_{тз}$	- коэффициент нестационарного теплообмена между угольным забоем и воздухом, ккал/ $m^2 \cdot ч \cdot ^\circ C$;
$K_{тл}$	- коэффициент нестационарного теплообмена между углем на конвейере и воздухом в лаге, ккал/ $m^2 \cdot ч \cdot ^\circ C$;
$K_{тп,к}$	- коэффициент нестационарного теплообмена соответственно пород почвы и кровли, ккал/ $m^2 \cdot ч \cdot ^\circ C$;
$K_{тв}$	- коэффициент нестационарного теплообмена между породами выработанного пространства и воздухом, ккал/ $m^2 \cdot ч \cdot ^\circ C$;
L	- длина горной выработки, м ;
m_a	- коэффициент электрических потерь ;
N	- установленная мощность электродвигателей, кВт ;

- $N_{\text{пн}}$ - установленная мощность пневмодвигателя, л.с.;
- $N_{\text{пч}}$ - потребляемая мощность, кВт;
- $N_{\text{ч}}$ - часовая мощность комбайна, кВт;
- $P_{\text{н}}$ - барометрическое давление воздуха в горной выработке, мм рт.ст.;
- $P_{\text{н}}^{t_1}$ - парциальное давление насыщенных водяных паров в воздухе при температуре шахтной воды, мм рт.ст.;
- $P_{\text{н}}^{t_{\text{тр}}}$ - парциальное давление насыщенных паров при температуре воздуха в начале выработки, мм рт.ст.;
- $P_{\text{н}}^{t_{\text{ст}}}$ - парциальное давление насыщенных водяных паров в воздухе при температуре стенки трубопровода, мм рт.ст.;
- Q - количество воздуха, поступающего на выемочный участок, м³/мин;
- $Q_{\text{оч}}$ - количество воздуха, проходящего по рабочему пространству лавы, м³/мин;
- $\Sigma Q_{\text{мн}}$ - тепловыделения местных источников в выработке, ккал/ч;
- $R_{\text{в}}$ - эквивалентный радиус выработки, м;
- $R_{\text{ш}}$ - радиус эквивалентного вагонетки шара, м;
- τ - скрытая теплота испарения воды, $\tau = 0,59$ ккал/кг;
- τ' - скрытая теплота плавления льда, $\tau' = 0,08$ ккал/кг;
- $F_{\text{в}}$ - поверхность теплоотдачи шахтной воды, м²;
- $F_{\text{г}}$ - сечение горной выработки, м²;
- $F_{\text{тр}}$ - площадь поперечного сечения транспортируемого ископаемого, м²;
- $F_{\text{ва}}$ - площадь поперечного сечения вагонетки, м²;
- $P_{\text{ср}}$ - периметр среднего сечения выработки, м;
- $P_{\text{в}}$ - периметр вагонетки, м;
- $P_{\text{тр}}$ - внешний периметр трубопровода, м;
- $U_{\text{тр}}$ - соответственно периметры охлаждающего, греющего трубопровода, м;
- $t_{\text{тр}}$ - расчетное время проветривания выработки, ч;
- $t_{\text{з}}$ - расчетное время проветривания угольного забоя лавы, ч;
- $t_{\text{п}}$ - среднее время, затрачиваемое на снятие одной полосы угля по длине лавы в течение цикла с учетом ремонтно-подготовительных операций, ч;
- $t_{\text{зо}}$ - продолжительность работы электровозной откатки, ч/сутки;
- $t_{\text{св}}$ - температура воздуха в выработке, °С;
- t_1, t_2 - средняя температура воздуха на расчетном участке выработки, °С;
- $t_{\text{зп}}$ - температура воздуха соответственно в начале и конце выработки, °С;
- $t_{\text{п}}$ - средняя температура земной поверхности геотермического участка, в пределах которого находится шахтное поле, °С;
- $t_{\text{пср}}$ - естественная температура горных пород, °С;
- $t_{\text{пср}}$ - средняя по длине выработки естественная температура горных пород, °С;
- $t_{\text{т}}$ - температура термальных вод, °С;
- $t_{\text{в}}$ - средняя температура воды в канавке на расчетном участке, °С;
- $t_{\text{см}}$ - температура сжатого воздуха в трубопроводе перед пневмодвигателем, °С;
- $t_{\text{а1}}, t_{\text{ст2}}$ - температура поверхности выработки соответственно в начале и конце участка, °С;
- $t_{\text{тр}}$ - температура поверхности трубопровода, °С;
- φ - относительная влажность воздуха, в долях единицы;
- $\varphi_{\text{ср}}$ - 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_a	- скорость движения конвейерной ленты, м/с ;
v_b	- скорость движения воды в канавке, м/с ;
V_b	- объем вагонетки, м ³ ;
$\delta_{кр}$	- толщина крепи, м ;
$\delta_{кп}$	- толщина покрытия канавки, м ;
α	- коэффициент теплоотдачи от поверхности выработки к воздуху, ккал/м ² .ч.°С ;
α_u	- среднее значение коэффициента теплоотдачи от поверхности вагонеток с полезным ископаемым за период пребывания их в выработке, ккал/м ² .ч.°С ;
λ	- коэффициент теплоотдачи от воды к покрытию канавки, ккал/м ² .ч.°С ;
$\lambda_k, \lambda_p, \alpha_m$	- соответственно конвективная, радиационная и массообменная составляющие коэффициенты теплоотдачи от трубопровода к воздушному потоку, ккал/м ² .ч.°С ;
α_0	- коэффициент теплоотдачи от подвижного агента в трубопроводе к его стенке, ккал/м ² .ч.°С ;
$\alpha_{тр}$	- коэффициент теплоотдачи от трубопровода к воздушному потоку, ккал/м ² .ч.°С ;
λ	- коэффициент теплопроводности горных пород, ккал/м.ч.°С ;
$\lambda_{эф}$	- эффективное значение коэффициента теплопроводности пород, ккал/м.ч.°С ;
$\lambda_k, \lambda_n, \lambda_u$	- соответственно коэффициенты теплопроводности пород кровли, почвы и угля, ккал/м.ч.°С ;
$\lambda_{тр}$	- коэффициент теплопроводности материала трубопровода, ккал/м.ч.°С ;
$\lambda_{кр}$	- коэффициент теплопроводности крепи, ккал/м.ч.°С ;
ρ_a	- плотность рудничного воздуха, кг/м ³ ;
ρ_b	- плотность воды, кг/м ³ ;
η_p	- к.п.д. редуктора ;
η_d	- к.п.д. двигателя ;
$\eta_{мн}$	- механический к.п.д. насосов, маслонасосов ;
θ_1	- температура подвижного агента в трубопроводе в начале выработки, °С ;
θ_2	- температура подвижного агента в трубопроводе в конце выработки, °С ;
$\theta_{ср}, \theta_{кв}$	- среднее значение температуры подвижного агента в трубопроводе на расчетном участке выработки, °С ;
μ	- коэффициент влаговыделения ;
φ	- угол наклона выработки, град ;
σ	- коэффициент шероховатости ;
$\theta_{гг}$	- геотермический градиент, °С/м ;
Φ_n	- охлаждающий эффект расширения воздуха в трубопроводе, ккал/ч.

Критерии теплового подобия:

Fo - Фурье;

Ku - Кирпичева;

Bi - Био;

Ro - Россовича.

1. МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ ГЛУБОКИХ ШАХТ

1.1. 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 тепло-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.

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

1.1.1.1. Периметр среднего сечения выработки определяется по формуле

- для траншевидного крепления

$$U = 4,16 \sqrt{S}; \quad (1.1)$$

- для арочного крепления

$$U = 3,8 \sqrt{S}. \quad (1.2)$$

1.1.1.2. Эквивалентный радиус выработки определяется по формуле

$$R_0 = \frac{2S}{U}. \quad (1.3)$$

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

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

$$Q_{\text{оч}} = \frac{Q}{K_{\text{утб}}} \quad (1.4)$$

Значение коэффициента утечек воздуха $K_{\text{утб}}$ 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. 31 или "Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт", табл. 22).

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

- для лав, оборудованных механизированными комплексами:

I дорога

$$v_1 = (1,10 \div 1,15) v_{\text{ср}}; \quad (1.5)$$

II дорога

$$v_2 = (0,60 \div 0,65) v_{\text{ср}}; \quad (1.6)$$

- для лав с индивидуальной крепью:

I дорога

$$v_1 = (1,10 \div 1,20) v_{\text{ср}}; \quad (1.7)$$

II дорога

$$v_2 = (0,80 \div 0,90) v_{\text{ср}}; \quad (1.8)$$

III дорога

$$v_3 = (0,75 \div 0,80) v_{\text{ср}}, \quad (1.9)$$

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

$$v_{\text{ср}} = \frac{Q_{\text{оч}}}{60 \cdot S_A}, \quad (1.10)$$

Таблица I.I

Среднемесячные температурно-влажностные параметры атмосферного воздуха для Донецкого бассейна

Температурно-влажностные параметры воздуха	ЯНВАРЬ	ФЕВРАЛЬ	МАРТ	АПРЕЛЬ	МАЙ	ИЮНЬ	ИЮЛЬ	АВГУСТ	СЕНТЯБРЬ	ОКТАБРЬ	НОЯБРЬ	ДЕКАБРЬ	СРЕДНЕГОДОВНЫЕ
температура воздуха, °C	-5,4	-5,6	-1,4	8,6	15,9	20,1	21,8	21,0	14,6	7,6	1,1	-3,1	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
<u>Среднедонечный район</u>													
температура воздуха, °C	-6,5	-6,8	-2,8	7,8	15,2	19,7	21,5	20,5	14,1	7,0	-0,4	-4,1	7,1
относительная влажность, в долях ед.	0,93	0,91	0,86	0,67	0,60	0,59	0,59	0,58	0,64	0,77	0,87	0,92	0,74
<u>Северо-восточный район</u>													
температура воздуха, °C	-5,6	-6,0	-1,6	9,0	16,4	20,7	22,4	21,5	14,6	7,8	0,4	-3,0	8,1
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
<u>Восточный район</u>													
температура воздуха, °C	-6,0	-6,1	-1,5	9,4	16,8	21,2	23,0	22,1	15,5	8,1	0,6	-3,0	8,5
относительная влажность, в долях ед.	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_A - площадь поперечного сечения призабойного пространства лавы, m^2 .

1.1.4. Скорость движения воздуха по технологическим дорогам в лавках крутопадающих пластов принимается равной средней скорости движения в рабочем пространстве лавы.

1.1.5. Значения температуры и относительной влажности атмосферного воздуха на поверхности шахт принимаются по данным многолетних наблюдений ближайших метеостанций. Эти значения для условий Доббасса приведены в табл. 1.1. Район, к которому относится шахта, определяется по схематической карте метеорологического районирования (рис. 1.1).

При тепловых расчетах для летнего периода года в найденные по табл. 1.1 среднemesячные значения параметров атмосферного воздуха вносятся соответствующие поправки из табл. 1.2 в зависимости от расположения рассматриваемой шахты на местности.

Таблица 1.2

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

Г р у п п ы ш а х т	Повышение температу- ры, °C	Снижение относительной влажно- сти, в долях единицы
<u>1. группа.</u> Шахты расположены в больших промышленных городах не более 1 км от крупных промышленных объектов	2,0	0,06
<u>2 группа.</u> Шахты расположены в застроенной части города без промышленных объектов, на окраине города и не более 1 км от него	1,5	0,04
<u>3 группа.</u> Шахты расположены в полях и садах более 1 км от города.	1,0	0,02
<u>4 группа.</u> Шахты расположены в воз- нутой форме рельефа.	2,0	0,07

1.1.6. Барометрическое давление воздуха в горной выработке определяется по формуле

$$P = P_0 + 0,09 H, \quad (1.11)$$

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

$$P_0 = P_{cm} - \frac{H_0 P_{cm}}{8000(1 + 0,004 t_{cm})}, \quad (1.12)$$

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

t_{cm} - среднemesячная температура атмосферного воздуха, °C; определяется по табл. 1.1 и 1.2;

P_{cm} - среднemesячное значение атмосферного давления, приведенного к уровню моря, мм рт.ст.; определяется по табл. 1.3.

Таблица 1.3

Среднemesячное атмосферное давление воздуха, приведенное к уровню моря

Месяцы	I	II	III	IV	V	VI
Атмосферное давление, мм рт.ст.	765,8	765,4	763,8	761,6	761,4	759,1
Месяцы	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Атмосферное давление, мм рт.ст.	758,4	759,9	763,2	765,5	766,4	766,1

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

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

I.I.7.1. В околоствольных дворах: при отсутствии притоков шахтной воды - $0,50 \pm 0,70$; при притоке воды до $5,0 \text{ м}^3/\text{ч}$ - $0,70 \pm 0,85$; при притоке до $20 \text{ м}^3/\text{ч}$ - $0,85 \pm 0,95$; при большем водопритоке - $0,95 \pm 1,0$.

I.I.7.2. В основных воздухоподводях выработках: сухих - $0,55 \pm 0,65$; с влажной почвой или капелем на отдельных участках - $0,70 \pm 0,80$; обводненных - $0,8 \pm 0,9$.

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

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. 1.4.

Таблица 1.4

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

в К "влажные" относятся лавы с повышенной естественной влажностью угольного пласта (более 5%); лавы, кровля или почва которых представлена породами, насыщаемыми и интационной водой (капиллярной или свободной) или породами, обладающими большой водопоглощающей способностью (например, известняками).

1.1.8. Относительная влажность воздуха при обратных тепловых расчетах и проектировании искусственного охлаждения в пределах выемочного участка принимается в зависимости от дали 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 150 м для наиболее характерных случаев приведены в табл. 1.5. При большем удалении значения относительной влажности принимаются согласно п. 1.1.7.3.

Таблица 1.5

Относительная влажность воздуха и темпы 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 100 м длины воздухоподающей выработки, % в долях единицы	
		"сухие"	"влажные"
95 - 100	0,98 - 1,00	0,12 - 0,15	0,04 - 0,05
65 - 70	0,91 - 0,94	0,09 - 0,11	0,02 - 0,03

* Нижний предел снижения относительной влажности принимается для выработок на глубине до 900 м, верхний - на глубине более 1000 м.

Величина изменения относительной влажности воздуха по длине лавы принимается согласно п.1.1.7.4.

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

$$t_n = t_{3n} + \frac{H}{\Gamma_{cp}} \quad (1.13)$$

Значения величин t_{3n} и Γ_{cp} для отдельных геотермических участков Донецкого бассейна приведены в табл. П.1.1, П.1.2.

1.1.10. Теплофизические свойства горных пород (теплопроводность λ , температуропроводность α , 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. 1.6.

Таблица 1.6

Средние значения теплофизических характеристик горных пород для условий Донбасса

Наименование горной породы	Плотность, кг/м ³	Теплофизические свойства		
		$\alpha \cdot 10^4$, м ² /ч	λ , $\frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}}$	c , $\frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$
Песчаник	2440	43,7	2,20	0,204
Глинистый или песчанистый слан- цы	2570	29,3	1,52	0,216
Уголь	1225	7,4	0,251	0,283
Известняк	2478	16,0	0,846	0,212

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

$$\lambda_{\text{ср}} = \frac{\lambda_k U_k + \lambda_n U_n + \lambda_y U_y}{U_k + U_n + U_y}; \quad (1.14)$$

$$c_{\text{ср}} = \frac{c_k U_k + c_n U_n + c_y U_y}{U_k + U_n + U_y}; \quad (1.15)$$

$$\alpha_{\text{ср}} = \frac{\alpha_k U_k + \alpha_n U_n + \alpha_y U_y}{U_k + U_n + U_y}. \quad (1.16)$$

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

I.I.II.I. Воздухоподающих горных выработок

$$\tau = \frac{\tau_n + \tau_k + 2\sqrt{\tau_n \tau_k}}{4}, \quad (I.17)$$

где τ_n, τ_k - 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

$$\tau_3 = 0,25 \tau_n; \quad (I.18)$$

- кровли и почвы пласта:

I дорога

$$\tau_1 = 0,25 n_1 \tau_n; \quad (I.19)$$

II дорога

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

III дорога

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

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 (1.20) или (1.21).

1.1.11.3. Дав при крутом падении пласта:

- угольного забоя

$$\tau_z = 0,25 \tau_n ; \quad (1.22)$$

- кровли и почвы пласта

$$\tau_{k,n} = 0,25 n_{кр} \tau_n ; \quad (1.23)$$

- выработанного пространства

$$\tau_b = \frac{\tau_n [0,5 + n_{кр} + \sqrt{n_{кр}(n_{кр}+1)}]}{2} , \quad (1.24)$$

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

1.2. Расчет тепловыделений местных источников в горных выработках.

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

1.2.1.1. Тепловыделения от электрических потерь (Q_3). К ним относятся тепловыделения от трансформаторов, освещения, кабелей и др.

$$Q_3 = 860 N_n m_3 . \quad (1.25)$$

Коэффициент электрических потерь принимается для трансформаторов $m_3 = 0,05$, для осветительных приборов $m_3 = 1,0$, для кабелей $m_3 = 0,01$ на 1000 м длины кабеля.

1.2.1.2. Тепловыделения при работе лебедок:

- при подъеме груза по наклонным и вертикальным выработкам

$$Q_{лп} = 860 N \frac{A_{\phi}}{A_n} \varepsilon_n - 2,34 A_{\phi} \Delta H , \quad (1.26)$$

где A_{ϕ}, A_H — соответственно фактическая и номинальная нагрузка на лебедку, т/ч ;

ξ_A — эмпирический коэффициент, $\xi_A = 0,8$;
— при спуске груза

$$Q_{AO} = 860 N \frac{A_{\phi}}{A_H} \xi_A. \quad (1.27)$$

1.2.1.3. Тепловыделения при работе насосов

$$Q_H = 860 (1 - \gamma_M) N K_3, \quad (1.28)$$

где
$$\gamma_M = \gamma_P \cdot \gamma_{\phi}. \quad (1.29)$$

1.2.1.4. Тепловыделения при электровозной откатке

$$Q_{30} = 860 \frac{A_c L_0 K_{30}}{\tau_{30}}, \quad (1.30)$$

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

L_0 — длина участка транспортирования, км.

Расход электроэнергии на 1 т.км, в среднем принимается $K_{30} = 0,15 + 0,2$ кВт.ч.

1.2.1.5. Тепловыделение при работе электродвигателей конвейера:

— в пунктах установки приводных головок конвейера

$$Q_3 = 860 N \frac{A_{\phi}}{A_H} (1 - \gamma_{\phi} \gamma_P); \quad (1.31)$$

— от трения по длине конвейера

$$Q_{TP} = 860 N \frac{A_{\phi}}{A_H} \gamma_{\phi} \gamma_P \pm 2,34 A_{\phi} \Delta H. \quad (1.32)$$

В формуле (1.52) знак "+" принимается при перемещении ископаемого вниз, а знак "-" при транспортировке его вверх.

1.2.1.6. Тепловыделение при работе маслостанций гидросистем механизированных крепей

$$Q_{мс} = 860 N_m K_{мс}, \quad (1.33)$$

где N_m - мощность, расходуемая на создание энергии потока жидкости в гидросистеме, кВт;

$K_{мс}$ - коэффициент загрузки одновременно работающих электродвигателей маслостанции во времени; определяется по плану-графике работ лавы.

По источникам выделения тепла:

- в пункте размещения маслостанции

$$Q'_{мс} = 860 N_m K_{мс} (1 - \eta_{ф\eta_m}); \quad (1.34)$$

- гидросистем механизированных крепей в лаве

$$Q_{гс} = 860 N_m \eta_{ф\eta_m} K_{мс}, \quad (1.35)$$

где η_m - механический КПД маслонасоса.

Коэффициенты полезного действия механизмов принимаются по их техническим характеристикам.

1.2.1.7. Тепловыделение при работе комбайна или струговой установки

$$Q_k = 860 N_k \frac{A_{ф}}{A_n} \xi_k, \quad (1.36)$$

где ξ_k - эмпирический коэффициент, принимаемый при работе комбайна равным 0,5 + 0,6, при работе струга 0,8 + 0,85.

1.2.2. Тепловыделения от шахтной воды в канавках,

1.2.2.1. При открытой канавке

$$Q_b = F_b \alpha (t_b - t_1) + \beta (p_n^{t_b} - \varphi_{ср} p_n^{t_1}), \quad (1.37)$$

где β - коэффициент теплоотдачи испарения, ккал/м².ч. мм рт.ст.,

определяется по формуле

$$\beta = \alpha \frac{1500 + 2,75(t_2 + t_1)}{\rho} \quad (I.38)$$

Температура шахтной воды принимается по данным замеров. При отсутствии замеров в расчет принимается перепад температуры между шахтной водой и воздухом $\Delta t_2 = t_2 - t_1$:

- в выработках, расположенных на расстоянии до 500 м от ствола - $4 + 5^\circ\text{C}$;

- в выработках, удаленных на расстоянии до 1500 м от ствола - $3 + 4^\circ\text{C}$;

- в выработках, удаленных от ствола на расстояние свыше 1500 м - $1,5 + 2,5^\circ\text{C}$;

- в участковых откаточных выработках - $1,0 - 1,5^\circ\text{C}$.

Величина коэффициента теплоотдачи определяется по формуле

$$\alpha = 2 \varepsilon (\gamma v)^{0,7} \left(\frac{U}{S} \right)^{0,2} \quad (I.39)$$

Коэффициент шероховатости принимается для выработок с монолитной бетонной крепью $\varepsilon = 1,0$; для выработок с металлической, железобетонной и деревянной крепью со сплошной затяжкой $\varepsilon = 1,5$; с той же крепью без затяжки $\varepsilon = 2,0$; для выработок без крепи $\varepsilon = 2,5$; для лав $\varepsilon = 2,5 - 3,5$.

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

где $\rho_n^{\text{ср}}$ - среднее парциальное давление насыщенных водяных паров в диапазоне изменения температуры воздуха в выработке, мм рт.ст.;

определяется по табл. I.10 подраздела I.5.

Значения $\rho_n^{t_2}$ $\rho_n^{t_1}$ определяются по табл. П.2 или рассчитываются по формуле

$$\rho_n^t = \exp \left(\frac{360 + 18,7t}{236 + t} \right) \quad (I.41)$$

I.2.2.2. При закрытой канавке

$$Q_2 = F_2 K_2 (t_2 - t_1) \quad (I.42)$$

где

$$K_b = \frac{1}{\frac{1}{L} + \frac{\delta_k}{\lambda_k} + \frac{1}{L_1}}, \quad (I.43)$$

L - коэффициент теплоотдачи от поверхности покрытия к воздуху (общий для выработки в целом), ккал/м².ч.⁰С ;
 λ_k - коэффициент теплопроводности покрытия канавки, ккал/м.ч.⁰С ;
 L_1 - коэффициент теплоотдачи от воды к покрытию канавки, ккал/м².ч.⁰С ; определяется по формуле

$$L_1 = A_{t_k} \frac{(K_b v_k)^{0,8}}{d_{экв}^{0,2}}, \quad (I.44)$$

где A_{t_k} - коэффициент, учитывающий теплофизические свойства воды;
 $d_{экв}$ - эквивалентный диаметр канавки, принимаемый равным ширине канавки, м.

Коэффициент, учитывающий теплофизические свойства воды A_{t_k} , принимается по табл. 1.7.

Таблица 1.7.

Значения коэффициента A_{t_k}

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

1.2.3. Тепловыделения при работе пневматических механизмов

$$Q_n = 632 N_{пн} \frac{A_{\Phi}}{A_n} \pm 2,34 A_{\Phi} H - \Phi_n ; \quad (I.45)$$

$$\Phi_n = G_{сж} [c_p (t - t_{отр}) + r (\varphi d_t^n - d_{отр}^n)], \quad (I.46)$$

где t - температура окружающего воздуха в пункте размещения пневматической машины, ⁰С ;

d_t^n - влагосодержание насыщенного воздуха при температуре t , кг/кг;

$d_{\text{отр}}^{\text{н}}$ - влагосодержание насыщенного отработанного воздуха на выходе из пневмодвигателя при $t_{\text{отр}}$, кг/кг.

Температура отработанного воздуха

$$t_{\text{отр}} = (t_{\text{сж}} + 273) \left(\frac{P_{\text{отр}}}{P_{\text{сж}}} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 273, \quad (1.47)$$

$P_{\text{сж}}$, $P_{\text{отр}}$ - соответственно давление сжатого воздуха перед и после пневмодвигателя, кгс/см²;

K - показатель политропы, принимается равным $K \approx 1,2$.

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

1.2.4. Тепловыделения от транспортируемого ископаемого.

1.2.4.1. При конвейерной транспортировке в лаве

$$Q_{\lambda} = 1,2 K_{\tau_{\lambda}} \beta_{\lambda} L_{\kappa} (t_{\text{п}} - \Delta t' - t_1), \quad (1.48)$$

где L_{κ} - длина конвейера, м;

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

1.2.4.2. При конвейерной транспортировке по выработкам

$$Q_{\kappa\beta} = K_{\tau_{\tau}} U_{\tau} L_{\kappa} (t_1' - t_1), \quad (1.49)$$

где t_1' - температура транспортируемого ископаемого на расчетном участке, °C;

U_{τ} - периметр поперечного сечения насыпки ископаемого на конвейере, м.

Для всех видов конвейеров U_{τ} рассчитывается по формуле

$$U_{\tau} = 0,11 \sqrt{\frac{A_{\varphi}}{\nu_{\lambda}}}, \quad (1.50)$$

где A_{φ} - фактическая нагрузка на конвейер, т/ч.

В выработке, примыкающей к лаве, температура t_1' определяется

по формуле

$$t'_n = t_n - \Delta t' - \frac{Q_{\Delta}}{A_{\Phi} c_y} \quad (1.51)$$

Значение t'_n для следующих по направлению транспортирования расчетных участков находится из выражения

$$t'_{n_{i+1}} = t'_{n_i} - \frac{Q_{\kappa b_i}}{A_{\Phi} c_y} \quad (1.52)$$

где $Q_{\kappa b_i}$ — тепловыделение от транспортируемого ископаемого на последующем за расчетным участке, ккал/ч ;

t'_{n_i} — температура транспортируемого ископаемого на последующем за расчетным участке, °C.

1.2.4.3. При транспортировке полезного ископаемого по выработкам в вагонетках

$$Q_{\tau b} = A_{\Phi} c_y (\Theta_{\text{вн}} - \Theta_{\text{вк}}) (t'_n - t_1) \quad (1.53)$$

где A_{Φ} — фактическое количество транспортируемого ископаемого на расчетном участке, кг/ч ;

$\Theta_{\text{вн}}, \Theta_{\text{вк}}$ — средние по объему вагонетки безразмерные температуры ископаемого в начале и конце расчетного участка ;

t'_n — начальная температура ископаемого, загружаемого в вагонетки, °C.

На расчетном участке с погрузкой ископаемого у лавы температура t'_n определяется по формуле (1.51), у других пунктов — по формуле (1.52).

Расчет величин $\Theta_{\text{вн}}, \Theta_{\text{вк}}$ производится в следующем порядке:

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

$$v_{\text{отн}} = \frac{v_{\text{ср}} \tau_{\text{по}} + (v_{\text{ср}} \pm v_{\text{тр}}) (\tau_{\text{тр}} - \tau_{\text{по}})}{\tau_{\text{тр}}} \quad (1.54)$$

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

- время пребывания грузового состава на участке, ч.

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

где L - протяженность расчетного участка, м ;

$v_{\text{тр}}$ - 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:

$$\alpha_u = 3 (v_{\text{отн}})^{0,58} \left(\frac{U + U_g}{S - S_g} \right)^{0,42}; \quad (I.56)$$

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

$$Bi_n = Bi_k = \frac{\alpha_u R_g}{\lambda_y}; \quad (I.57)$$

$$Fo_n = \frac{a_y \tau_{\text{трн}}}{R_g^2}; \quad (I.58)$$

$$Fo_k = \frac{a_y \tau_{\text{трк}}}{R_g^2}, \quad (I.59)$$

где R_g - радиус эквивалентного вагонетке шара, м.

$$R_g = 0,62 \sqrt[3]{V_g}; \quad (I.60)$$

$\tau_{\text{трн}}, \tau_{\text{трк}}$ - соответственно продолжительность охлаждения вагонеток с ископаемым в начальном и конечном пунктах транспортирования ископаемого на расчетном участке, ч.

Значения a_y и λ_y принимаются по табл. П. 3.1.

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

Для следующих по направлению транспортирования вагонеток расчетных участков

$$\tau_{\text{ТР}_{\text{Н}_{i+1}}} = \tau_{\text{ТР}_{\text{Н}_i}}^0; \quad \tau_{\text{ТР}_{\text{К}_{i+1}}} = \tau_{\text{ТР}_{\text{Н}_{i+1}}} + \tau_{\text{ТР}}; \quad (1.61)$$

- по табл. П. 3.2 определяется безразмерная средняя по объему вагонетки температура полезного ископаемого в начале $\theta_{\text{ВН}}$ и в конце $\theta_{\text{ВК}}$ расчетного участка.

1.2.5. 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

$$Q_o = q_o U L. \quad (1.62)$$

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 участках выработках, пройденных по породе, удельное тепловыделение ориентировочно принимается равным 2-3 ккал/м².ч, а в выработках, пройденных по пласту - 4-5 ккал/м².ч.

1.2.6. Тепловыделения от работающих людей.

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

$$Q_p = 250 n_p, \quad (1.63)$$

где n_p - количество одновременно работающих чел.

1.3. Расчет коэффициентов теплопередачи трубопроводов с тепло- и хладоносителями в горных выработках.

1.3.1. Коэффициенты теплопередачи неизолированных трубопроводов

$$K_{\text{ТР}} = \frac{1}{\frac{d_{\text{Н}}}{\lambda_{\text{сд}} d_{\text{вн}}} + \frac{\delta_{\text{ТР}}}{\lambda_{\text{ТР}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{ТР}}}}, \quad (1.64)$$

Коэффициент теплоотдачи от стенки трубопровода к подвижному

агенту в трубе определяется по формуле

$$\mathcal{L}_\theta = A_\theta \frac{v^{0,8}}{d_{\text{вн}}^{0,2}}, \quad (1.65)$$

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

Значение коэффициента A_θ для различных хладоносителей определяется по формулам:

для воды

$$A_\theta = 1190 + 21,4 \theta_1; \quad (1.66)$$

для рассола NaCl , CaCl_2

$$A_\theta = (1190 + 21,4 \theta_1) [1 - 1,35(\gamma_x - 1)], \quad (1.67)$$

где γ_x — плотность хладоносителя, т/м³.

Коэффициент теплоотдачи от трубопровода к воздушному потоку

$$\mathcal{L}_{\text{тр}} = \xi \mathcal{L}_\kappa + \mathcal{L}_c, \quad (1.68)$$

Конвективная составляющая коэффициента теплоотдачи определяется по формуле

$$\mathcal{L}_\kappa = 3,16 \frac{v^{0,8}}{d_{\text{вн}}^{0,2}}, \quad (1.69)$$

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

$$v = a_{\text{т}} v_{\text{ср}}, \quad (1.70)$$

где $a_{\text{т}}$ — коэффициент, учитывающий место расположения трубопроводов хладоносителя в выработке принимается из табл. I.8

Таблица I.8

Значения коэффициента, учитывающего расположение трубопровода в выработке

Расстояние трубопровода от стенки выработки, м	Значение коэффициента α_T
Более 0,4	1,0
0,25 - 0,4	0,7 - 0,9
0,1 - 0,2	0,6

Коэффициент влаговыпадения для условий шахтных выработок рассчитывается по формуле

$$\xi = 1 + \frac{70,1}{p} \varphi_{cp} (10,54 + t_{cp}), \quad (I.71)$$

где t_{cp} - среднее значение температуры воздуха в выработке, °C.

Если температура подвижного агента в трубопроводе выше температуры воздуха в выработке, то $\xi = 1,0$.

Радикационная составляющая коэффициента теплоотдачи от трубопровода к воздуху определяется по формуле

$$\alpha_p = \frac{4,46 \left[\left(\frac{t_{cm} + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_{tr} + 273}{100} \right)^4 \right]}{t_1 - \theta_1}, \quad (I.72)$$

где
$$t_{cm} = t_1 + \frac{K_{tr}}{\alpha} (t_n - t_1); \quad (I.73)$$

$$t_{tr} = t_1 - \frac{K'_{tr}}{\alpha_k} (t_1 - \theta_1), \quad (I.74)$$

K'_{tr} - коэффициент теплопередачи от подвижного агента в трубопроводе к воздуху, ккал/м²·ч·°C.

$$K'_{tr} = \frac{1}{\frac{\alpha_n}{\alpha \theta \alpha_n} + \frac{\delta_{tr}}{\lambda_{tr}} + \frac{1}{\alpha_k}}. \quad (I.75)$$

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

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

1.4.1. Коэффициент нестационарного теплообмена в выработках, проветриваемых более года

$$\kappa_{\tau} = \frac{1}{1 + \frac{\lambda}{2\alpha R_0}} \left[\frac{\lambda}{2R_0} + \frac{\lambda}{\sqrt{\pi a \tau} \left(1 + \frac{\lambda}{2\alpha R_0} \right)} \right] \quad (1.76)$$

Для выработок, закрепленных всплошную (кирпич, бетон, дерево) коэффициент теплоотдачи α в формулах для коэффициента κ_{τ} следует заменить коэффициентом теплопередачи

$$\kappa' = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \frac{\delta_{кр}}{\lambda_{кр}}} \quad (1.77)$$

где κ' — коэффициент теплопередачи для выработок, закрепленных всплошную, ккал/м²·ч·°С.

Значения теплофизических свойств крепящих материалов приведены в табл. П.4.1.

1.4.2. Коэффициент нестационарного теплообмена в выработках, проветриваемых менее года

$$\kappa_{\tau} = \alpha \left[1 - \frac{Bi}{Bi'} f(z) \right], \quad (1.78)$$

где

$$Bi = \frac{\alpha R_0}{\lambda}; \quad (1.79)$$

$$Bi' = Bi + 0,375; \quad (1.80)$$

$$z = Bi' \sqrt{Fo}; \quad (1.81)$$

$$Fo = \frac{a \tau}{R_0^2}; \quad (1.82)$$

$f(z)$ — функция обобщенного числа голохронности.

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

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

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

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

Таблица I.9

Значения функции $f(z)$

z	f(z)	z	f(z)	z	f(z)	z	f(z)
0,0	0,0000	2,5	0,7928	11	0,9487	40	0,9859
0,1	0,0036	3,0	0,8207	12	0,9530	45	0,9875
0,2	0,0110	3,5	0,8454	13	0,9566	50	0,9887
0,3	0,0254	4,0	0,8634	14	0,9597	60	0,9906
0,4	0,03202	4,5	0,877	15	0,9624	70	0,9919
0,5	0,03843	5,0	0,8872	16	0,9647	80	0,9929
0,6	0,04823	5,5	0,8974	17	0,9668	90	0,9937
0,7	0,04741	6,0	0,9060	18	0,9686	100	0,9944
0,8	0,05100	6,5	0,9132	19	0,9703	110	0,9949
0,9	0,05435	7,0	0,9194	20	0,9718	120	0,9953
1,0	0,05724	7,5	0,9248	22	0,9744	130	0,9957
1,2	0,06214	8,0	0,9295	24	0,9765	140	0,9960
1,4	0,06114	8,5	0,9336	26	0,9783	150	0,9962
1,6	0,06975	9,0	0,9373	28	0,9799	160	0,9964
1,8	0,07217	9,5	0,9406	30	0,9812	180	0,9968
2,0	0,07434	10,0	0,9436	35	0,9839	200	0,9971

I.4.3. Коэффициент нестационарного теплообмена для лав на склонах пологого падения

$$K_{\tau} = K_{\tau_2} \frac{U_2}{U} + (K_{\tau_{n1}} + K_{\tau_{k1}}) \frac{U_1}{U} + (K_{\tau_{n2}} + K_{\tau_{k2}}) \frac{U_2}{U} + (K_{\tau_{n3}} + K_{\tau_{k3}}) \frac{U_3}{U} + K_{\tau_6} \frac{U_6}{U} . \quad (I.86)$$

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

$$K_T = K_{T_3} \frac{U_3}{U} + K_{T_{n1}} \frac{2U_1}{U} + K_{T_{n2}} \frac{2U_2}{U} + K_{T_{n3}} \frac{2U_3}{U} + K_{T_k} \frac{U_k}{U}, \quad (I.87)$$

где $K_{T_{n1}}, K_{T_{n2}}, K_{T_{n3}}, K_{T_{k1}}, K_{T_{k2}}, K_{T_{k3}}$ - коэффициенты нестационарного теплообмена соответственно почвы и кровли пласта для первой, второй и третьей дорог лавы, ккал/м².ч.⁰С;
 U_3, U_1, U_2, U_3, U_k - 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 $K_{T_3}, K_{T_{n1}}, \dots, K_{T_k}$ определяются по формуле (I.78) с учетом формул (I.18) - (I.21) и (I.39).

1.4.4. Коэффициент нестационарного теплообмена для лав на пластах крутого падения

$$K_T = K_{T_3} \frac{U_3}{U} + K_{T_n} \frac{U_n}{U} + K_{T_k} \frac{U_k}{U} + K_{T_b} \frac{U_b}{U}, \quad (I.88)$$

где U_3, U_n, U_k, U_b - длины участков периметра поперечного сечения призабойного пространства лавы соответственно угольного забоя, почвы, кровли, выработанного пространства, м.

1.4.5. Коэффициент нестационарного теплообмена между транспортируемым в лаве углем и воздухом

$$K_{T_A} = \frac{\lambda_y}{1,77 \sqrt{a_y \tau_A} + \frac{\lambda_y}{\alpha_A}}, \quad (I.89)$$

где α_A - коэффициент теплоотдачи от поверхности транспортируемого по лаве угля, ккал/м².ч.⁰С;

τ_A - длительность теплообмена отобитого угля, транспортируемого по лаве, с воздушным потоком, ч. Определяется по скорости удаления угля из лавы

$$\tau_A = \frac{L_A}{3600 V_A}, \quad (1.90)$$

где V_A - 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 (1.90), что рекомендуется учитывать при расчетах.

Теплофизические свойства угля принимаются по табл. П.3.1 в зависимости от выхода летучих и средней влажности ископаемого на конвейере.

Коэффициент теплоотдачи транспортируемого угля α_A определяется по формуле (1.39), в которую подставляется относительная скорость движения воздуха

$$V_{отн A} = V_i \pm V_A, \quad (1.91)$$

где V_i - скорость движения воздуха в лаве по дороге, на которой расположен конвейер, м/с.

В формуле (1.91) знак "+" принимается при встречном, знак "-" при попутном движении воздуха и транспортируемого угля.

1.4.6. Коэффициент нестационарного теплообмена между транспортируемыми по выработкам ископаемым и воздухом

$$\kappa_{\tau T} = \alpha_T \left[1 - f(Z_T) \right], \quad (1.92)$$

где α_T - коэффициент теплоотдачи от поверхности транспортируемого по выработке ископаемого, ккал/м²·ч·°C. Значение α_T определяется по формуле (1.39), в которую подставляется относительная скорость движения воздуха

$$V_{отн B} = V_{ср} \pm V_{AK}, \quad (1.93)$$

где U_{cp}, U_{lk} - соответственно средняя скорость воздуха в выработке и полотна конвейера, м/с. Знак "+" принимается при встречном, а "-" при попутном движении воздуха и полотна конвейера.

$$z_T = \frac{L_T}{\lambda} \sqrt{a_z \tau_b}, \quad (1.94)$$

где τ_b - длительность теплообмена угля на конвейере с воздушным потоком в выработке, ч; определяется по формуле (1.90).

1.4.7. 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

$$K'_T = \frac{\lambda}{R_0} K_{uT} + \frac{\alpha}{2} \frac{t_n - t}{t_n - t} (U_T - 1) \left[1 - f\left(\frac{z}{\delta}\right) \right], \quad (1.95)$$

где K_{uT} - безразмерный коэффициент нестационарного теплообмена.

Значение коэффициента $K_{uT} = f(Fo, Bi)$ определяется по номограмме, приведенной на рис. 1.2

$$Fo_1 = \frac{\alpha \tau'}{R_0^2}, \quad (1.96)$$

где τ' - расчетное время работы воздухоохладителя в пункте его установки, ч; определяется по формуле (1.17);

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

U_{CT} - безразмерная температура стенки. Значение $U_{CT} = f(Fo, Bi)$ определяется по номограмме на рис. 1.3.

$$z_1 = Bi' \sqrt{Fo_1}. \quad (1.97)$$

Значения критериев Bi и Bi' определяются по формулам (1.79) и (1.80), а функции $f(z_1)$ - по формулам (1.83) - (1.85) или табл. 1.9.



Рис. 1.2. Номограмма для определения безразмерного коэффициента нестационарного теплообмена между горным массивом и вентиляционным воздухом

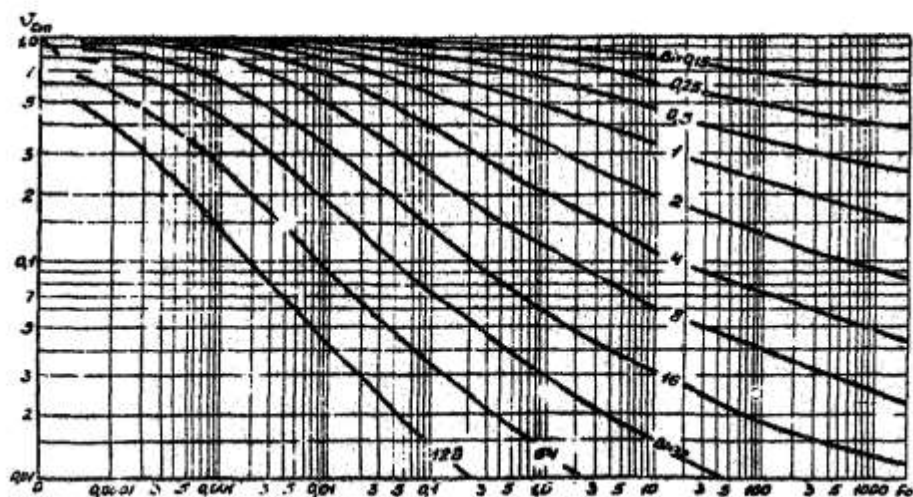


Рис. 1.3. Номограмма для определения переменной во времени температуры стенок мощных выработок $\vartheta = \frac{t_{ст} - t}{t_n - t}$

При времени работы воздухоохлаждителя в пункте его установки более 6 месяцев, коэффициент нестационарного теплообмена определяется по формуле (1.78) или (1.76).

1.5. Тепловой расчет горных выработок.

1.5.1. При отсутствии в выработках трубопроводов с тепло- и хладоносителями.

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

$$t_2 = t_1 B + \frac{1-B}{A + \Delta\varphi B} \left[E + \Delta\varphi B \varepsilon + \frac{\sum Q_{\text{ми}}}{G c_p} \pm L \sin \varphi (G \tau + 9,76 \cdot 10^3) \right], \quad (1.98)$$

где

$$B = \left[\frac{1 + B \varphi_1}{1 + B \varphi_2} \right]^{1 + \frac{A}{\Delta\varphi B}}, \quad (1.99)$$

при $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$; (1.100)

$$B = \exp \left(- \frac{A}{1 + \varphi B} \right), \quad (1.101)$$

при $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$; (1.102)

$$B = \frac{1542 \frac{n^k}{p - p_{\text{н}}}}{p - p_{\text{н}}} ; \quad (1.103)$$

$$A = \frac{\kappa_{\text{т}} U L}{G c_p} + \frac{\kappa_{\text{т}} U_{\text{н}} L}{G c_p} + \frac{1,2 \kappa_{\text{т}} b_{\text{н}} L}{G c_p} ; \quad (1.104)$$

$$E = \frac{\kappa_{\text{т}} U L}{G c_p} t_{\text{н}} + \frac{\kappa_{\text{т}} U_{\text{н}} L}{G c_p} t'_{\text{н}} + \frac{1,2 \kappa_{\text{т}} b_{\text{н}} L}{G c_p} (t_{\text{н}} - \Delta t') ; \quad (1.105)$$

$$T = \frac{\kappa_{\text{т}} U L [(A + \Delta\varphi B) - (1 + B \varphi_1)(1 - B)]}{G c_p (A + 2 \Delta\varphi B)(1 - B)}, \quad (1.106)$$

где n', ϵ' - коэффициенты уравнения аппроксимации зависимости давления насыщения водяных паров в воздухе от температуры при $\varphi = 1,0$, которые принимаются для огибаемого диапазона изменения температуры воздуха на участке. Значения коэффициентов n', ϵ' и величины $p_n^{\text{ср}}$ приведены в табл. I.10.

Таблица I.10

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

Диапазон изменения температуры, °C	n'	ϵ'	$p_n^{\text{ср}}$, мм рт.ст.
0-10	0,461	-9,50	6,7
5-15	0,622	-5,09	9,4
10-20	0,830	-0,69	13,0
15-25	1,094	3,70	17,8
20-30	1,425	8,07	24,2
25-35	1,837	12,43	32,3
30-40	2,345	16,77	42,7
35-45	2,965	21,11	55,0
40-50	3,710	25,40	72,7

В выражение для $\sum Q_{\text{ми}}$ не включаются тепловыделения от транспортируемого конвейерами по лапам и конвейерным выработкам ископаемого. Влияние ископаемого учитывается в комплексах А и Б.

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

$$t_r = t_e - \frac{1-B}{B(A+\Delta\varphi B)} \left[E + \Delta\varphi B \epsilon' + \frac{\sum Q_{\text{ми}}}{G_{\text{ср}}} \pm L \sin \varphi (6T + 9,76 \cdot 10^{-3}) \right]. \quad (I.107)$$

Из зависимостей (I.98)-(I.107) 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 (1.101);
- 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).

1.5.2. При наличии в выработках трубопроводов с тепло- и хладоносителями.

Температура воздуха в конце выработки определяется по формуле (1.98), а значения входящих в нее комплексов А и Е по формулам

$$A = \frac{(K_{\tau T} U + 1,2 K_{\tau A} b_A + K_{\tau T} U_T + K_{\tau TP} U_{\tau TP} + K_{\tau TP} U_{TP}) L}{G_{CP} \sigma}; \quad (1.108)$$

$$E = \frac{K_{\tau T} U L}{G_{CP}} t_{nT} + \frac{1,2 K_{\tau A} b_A L}{G_{CP}} (t_n - t') + \frac{K_{\tau T} U_T L}{G_{CP}} t'_{nT} + \\ + \frac{K_{\tau TP} U_{TP} L}{G_{CP}} \theta_{TCP} + \frac{K_{\tau TP} U_{\tau TP} L}{G_{CP}} \theta_{\chi CP}. \quad (1.109)$$

Значения комплексов В, Б и Т определяются по формулам (1.99) - (1.103) и (1.106), а коэффициентов n' , ε' , и $\rho_n^{\text{ср}}$ - по табл. 1.10.

Расчет средних значений температуры тепло- (θ_{TCP}) и хладоносителя ($\theta_{\chi CP}$) в трубопроводах на расчетном участке выработки производится по формуле

$$\theta_{CP} = \theta_1 + 0,5 A_{TP} L (t_1 - \theta_1). \quad (1.110)$$

Значение величины A_{TP} определяется по формуле

$$A_{TP} = \frac{(K_{TP} + \rho_n n' \varepsilon') U_{TP}}{G_{TP} C_{TP}}, \quad (1.111)$$

где β_n - коэффициент массоотдачи от влажного воздуха к поверхности трубопровода, $\text{ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{мм рт.ст.}$;
 n'_θ - коэффициент аппроксимации зависимости давления насыщения водяных паров в воздухе при температуре хладоносителя, определяется по табл. I.10.

$$\beta_n = 2,5 \mathcal{L}_k, \quad (I.112)$$

где $\mathcal{L}_k$ - коэффициент теплоотдачи, определяется по формуле (I.69).
 Температура воздуха в начале выработки при обратном тепловом расчете определяется по формуле (I.107).

В качестве средних температур θ_{cp} при определении коэффициента B по формуле (I.109) принимаются их значения, вычисленные по результатам прямого теплового расчета.

Знак "+" в формулах (I.98) и (I.107) 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.5.3.1. При неизолированных трубопроводах хладоносителя

$$\theta_{2_{x,T}} = \theta_{1_{x,T}} \exp(-A_{TP}L) + \frac{P}{H} \left[1 - \exp(-A_{TP}L) \right] \quad (I.113)$$

где

$$P = K_{TP} U_{TP} t_{cp} + \beta_n U_{TP} \rho_n^{t_{cp}} \varphi_{cp} + \beta_n U_{TP} n'_\theta \epsilon'_\theta; \quad (I.114)$$

$$H = K_{TP} U_{TP} + \beta_n n'_\theta U_{TP}; \quad (I.115)$$

$$t_{cp} = \frac{t_1 + t_2}{2}; \quad (I.116)$$

$$\varphi_{cp} = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}. \quad (I.117)$$

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

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

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

При теплоизолированных трубопроводах хладоносителя потери через трубы пренебрегают, т.е. $K_{\text{тр},\text{т}} = 0$.

1.6. 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 проверкой количества воздуха для проветривания участков глубоких горизонтов по тепловому фактору, рекомендуется изложенная ниже упрощенная методика.

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

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

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

$$\varphi_1' = \frac{760}{P_1} \varphi_1; \quad (\text{I.I21})$$

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

$$E_2 = A_1 t_{n_{\text{ср}}} + A_2 t_n' + 2B_1 \theta_{x_1} + 2B_2 \theta_{x_4} + \frac{\sum Q_{\text{ми}}}{G_{\text{ср}}} \pm 0,01 \Delta H; \quad (\text{I.I23})$$

$$B = 0,5 (A_1 + A_2) + B_1 + B_2; \quad (\text{I.I24})$$

$$A_1 = \frac{\kappa_L U_L}{G c_p} ; \quad (1.125)$$

$$A_2 = \frac{\kappa_{LT} U_{LT}}{G c_p} ; \quad (1.126)$$

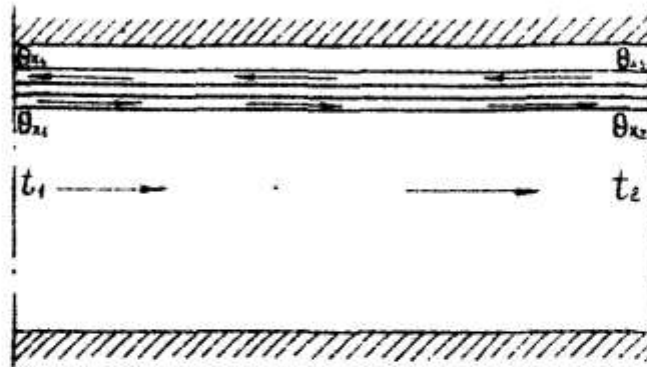


Рис. 1.4. Схема горной выработки с трубопроводами хладоносителя

$$B_1 = \frac{A_3}{2 + A_5} ; \quad (1.127)$$

$$B_2 = \frac{A_4}{2 - A_6} ; \quad (1.128)$$

$$A_3 = \frac{\kappa_x U_{mL}}{G c_p} ; \quad (1.129)$$

$$A_4 = \frac{\kappa_T U_{mL}}{G c_p} ; \quad (1.130)$$

$$A_5 = \frac{\kappa_x U_{mL}}{G_{TP} c_{TP}} ; \quad (1.131)$$

$$A_в = \frac{\kappa_T U_{\text{тр}} L_{\text{тр}}}{G_{\text{тр}} c_{\text{тр}}} , \quad (I.I32)$$

φ'_1, φ'_2 - относительная влажность воздуха соответственно в начале и конце выработки, приведенная к нормальному барометрическому давлению, в долях единицы;

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

$$d_t^H = \frac{622 p_H^t}{760 - p_H^t} . \quad (I.I33)$$

Значение величины p_H^t определяется по табл. П.2.

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

θ_{x_2} - температура хладоносителя в обратной (отопленной) 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	0,0560	555

Исходные данные, входящие в зависимости (I.119)-(I.133), определяются согласно рекомендаций и формул, приведенных в п.п. I.1 - I.4.

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

- в прямой ветви

$$\theta_{x_2} = \frac{2\theta_{x_1} + A_5(t_1 + t_2 - \theta_{x_1})}{2 + A_5}; \quad (I.134)$$

- в обратной ветви

$$\theta_{x_3} = \frac{2\theta_{x_4} - A_6(t_1 + t_2 - \theta_{x_4})}{2 - A_6}. \quad (I.135)$$

При отсутствии в выработке трубопроводов с хладоносителем в формулах (I.123) и (I.124) значения $B_1 = 0$ и $B_2 = 0$.

При тепловых расчетах лав в формулах (I.123) и (I.124) вместо значения A_2 (I.126) подставляется значение

$$A'_2 = \frac{1,2 K_{\tau \lambda} b L}{G c_p}. \quad (I.136)$$

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

$$t_1 = -N_1 + \sqrt{N_1^2 + \frac{1}{2,49 \varphi'_1 l_y} \left[(1+B) t_2 E_1 + 2,49 \varphi'_2 d_{t_2}^n \right] - \frac{m_y}{l_y}}, \quad (I.137)$$

где

$$N_1 = \frac{1-B+2,49 \varphi'_1 n_y}{4,98 \varphi'_1 l_y}; \quad (I.138)$$

$$E_1 = A_1 t_{n_{cp}} + A_2 t'_n + 2B_1 \theta_{x_2} + 2B_2 \theta_{x_3} + \frac{\sum Q_{ми}}{G c_p} \pm 0,01 \Delta H. \quad (I.139)$$

Остальные обозначения и физические величины в формулах (I.137)-(I.139) те же, что и в формуле (I.119).

Температура хладоносителя в начале выработки определяется по формулам:

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

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

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

1.7. Пример теплового расчета

1.7.1. Исходные данные.

Шахтное поле расположено в Донецко-Макеевском районе Донбасса и относится к геотермическому участку № 8 (таол. II.1.2). 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 таол. I.12.

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

1.7.2.1. Тепловые параметры воздуха на поверхности. Согласно схематической карте метеорологического районирования Донбасса (рис. I.1) шахта относится к Западному району. Для июля месяца в указанном районе среднемесячная температура воздуха на поверхности составляет $21,8^{\circ}\text{C}$, относительная влажность — 0,58 (таол. I.1) по таол. I.2 определяем поправки к параметрам воздуха, поступающего в шахту. Для шахты, расположенной в застроенной части города за промышленными объектами, температура воздуха, поступающего в шахту, принимается на $1,5^{\circ}\text{C}$ выше, а относительная влажность — на 0,04 ниже среднемесячных значений указанных параметров воздуха, тогда

$$t_1 = 21,8 + 1,5 = 23,3^{\circ}\text{C};$$

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

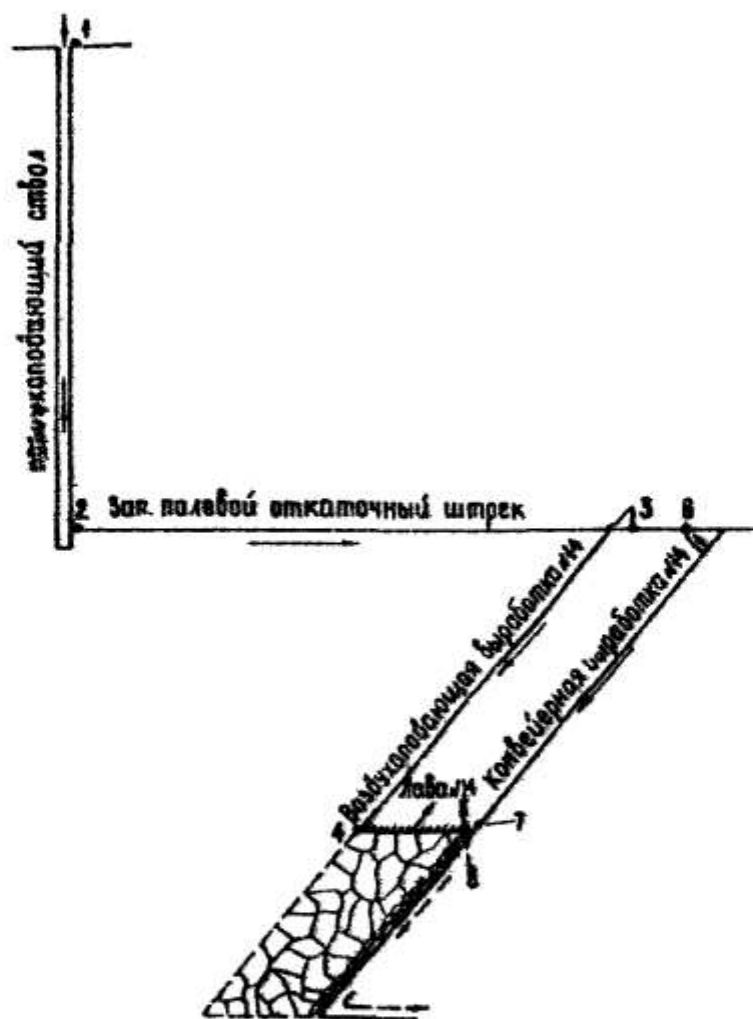


Рис. 1.5. Схема цепи горных выработок расчетного маршрута условной шахты

Таблица I.12.

Горногеологические и горнотехнические данные выработок расчетного маршрута

Наименование участков мар- шрута	Обозначение участка марш- рута на схеме	Глубина вы- работки, м		Длина, м	Сечение, м ²	Количество воздуха, м ³ /мин	Средняя скорость воздуха, м/с	Примечания
		Начало	Конец					
Воздухоподальный ствол	I-2	0	IOI2	IOI2	50,2	18100	6,0	Ствол сухой, круглого се- чения, диаметром 6 м, крепление бетонное
Западный полевой откаточный штрек	2-3	IOI2	IOI2	IO60	13,0	3980	5,1	Штрек закреплен арочной крепью с железобетонными затяжками.
Западный полевой откаточный штрек	3-6	IOI2	IOI2	160	13,0	2960	3,8	См. участок 2-3
Воздухоподающая выработка № I3	3-4	IOO7	IO57	600	8,5	IO20	2,0	Выработка сухая, закрепле- на арочной крепью с дере- вянными затяжками. Угол падения - 6°
Лава № I4	4-5	IO57	IO57	200	3,37	680	3,38	Лава оборудована комп- лексом КМ-87.
Конвейерная выре- ботка № I4	6-7	IOO7	IO57	640	9,2	570	1,05	Выработка закреплена арочной крепью с дере- вянными затяжками. Угол падения 6°.

1.7.2.2. 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. 1.3). 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 (1.12)

$$P_0 = 758,4 - \frac{258 \cdot 758,4}{8000 (1 + 0,004 \cdot 23,3)} = 736 \text{ мм рт.ст.}$$

1.7.2.3. Геометрические характеристики ствола:

– периметр круглого сечения

$$U = 3,14 \cdot 8 = 25,12 \text{ м};$$

– эквивалентный радиус $R_0 = 4$ м.

1.7.2.4. Геотермические показатели шахтного поля. Для геотермического участка № 8, расположенного в донецко Макеевском районе, согласно табл. П.1.1 температура земной поверхности $t_{за} = 8,4^\circ\text{C}$, геотермическая ступень $\Gamma_{ср} = 34,1$ м/ $^\circ\text{C}$. Естественная температура горного массива в околоствольном дворе согласно формуле (1.13)

$$t_n = 8,4 + \frac{1012}{34,1} = 38,1^\circ\text{C}.$$

Геотермический градиент для шахтного поля равен

$$\sigma = \frac{1}{34,1} = 0,0293^\circ\text{C/м}.$$

1.7.2.5. Теплофизические свойства окружающих горных пород принимаются из табл. 1.6. Суммарные мощности пород, пересекаемых стволом, согласно стратиграфическому разрезу составляют: песчаники – 264 м; глинистые и песчанистые сланцы – 707 м; известняки – 25 м; уголь – 16 м. Средневзвешенные по глубине значения теплофизических параметров окружающих горных пород составляют:

коэффициент теплопроводности (1.14)

$$\lambda_{\text{ср}} = \frac{2,2 \cdot 264 + 1,53 \cdot 707 + 0,846 \cdot 25 + 0,251 \cdot 16}{264 + 707 + 25 + 16} = 1,661 \frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}}$$

коэффициент температуропроводности (1.16)

$$\alpha_{\text{ср}} = \frac{0,00437 \cdot 264 + 0,00293 \cdot 707 + 0,0016 \cdot 25 + 0,00074 \cdot 16}{264 + 707 + 25 + 16} = 0,0032 \frac{\text{м}^2}{\text{ч}}$$

1.7.2.6. Барометрическое давление воздуха в околоствольном дворе согласно формуле (1.11) составляет

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

1.7.2.7. Относительная влажность воздуха в околоствольном дворе. Согласно пункту 1.1.7 при отсутствии притока шахтной воды в стволе, относительная влажность $\varphi_2 = 0,60$.

1.7.2.8. Расчетное время проветривания ствола. В соответствии с календарным планом строительства и эксплуатации шахты, время проветривания устья ствола $T_{\text{н}} = 18 \cdot 8760 = 157680$ ч, время проветривания конца ствола $T_{\text{к}} = 16 \cdot 8760 = 140160$ ч. Расчетное время проветривания ствола определяется по формуле (1.17)

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

1.7.2.9. Плотность рудничного воздуха в стволе определяется по формуле (1.40)

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

здесь

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

$$\varphi_{\text{ср}} = \frac{0,54 + 0,60}{2} = 0,57 - \text{средняя относительная влажность}$$

воздуха в стволе;

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

1.7.2.10. Коэффициент теплоотдачи от поверхности ствола к воздуху при $\varepsilon = 2$ согласно формуле (1.39)

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

1.7.2.11. Коэффициент теплопередачи от пород ствола к воздуху при толщине бетонной крепи $\delta = 1$ м и коэффициенте теплопроводности $\lambda = 0,9$ ккал/м.ч.°C согласно формуле (1.77)

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

1.7.2.12. Коэффициент нестационарного теплообмена в стволе согласно формуле (1.76)

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

$$= 0,194 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}.$$

1.7.2.13. Температура воздуха в околоствольном дворе согласно формуле (1.98)

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

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

Здесь значения $\eta = 1,425$; $\varepsilon' = 8,07$; $\rho_{\text{ср}}'' = 24,2$ мм рт.ст. приняты из табл. 1.10 для предполагаемого диапазона изменения температуры в стволе $20-30^{\circ}\text{C}$; величина B согласно формуле (1.103)

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

величина A 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 E согласно формуле (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 $t_{\text{зн}} = 8,4^{\circ}\text{C}$;

приращение относительной влажности согласно формуле (1.100)

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

величина B 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 T согласно формуле (1.106)

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

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 $5 \text{ м}^3/\text{ч}$ протекает в канавке, в перекрытой деревянным настилом толщиной $\delta = 0,05 \text{ м}$ с коэффициентом теплопроводности

$\lambda = 0,3 \text{ ккал/м.ч.}^\circ\text{С}$. Ширина канавки – $0,4 \text{ м}$, глубина – $0,3 \text{ м}$. Откатка угля по штреку электровозная в вагонетках ВШ-5Т емкостью $3,3 \text{ м}^3$. 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 ТНШП-320 мощностью 320 кВА . В штреке работает 6 часовиков по перекреплению выработки.

1.7.3.2. Геометрические характеристики штрека:

– периметр среднего сечения согласно формуле (1.2)

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

– эквивалентный радиус согласно формуле (1.3)

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

1.7.3.3. Естественная температура горных пород и геотермический градиент определяются согласно пункту 1.7.2.4.

$$t_n = 38,1^\circ\text{С};$$

$$G = 0,0293^\circ\text{С/м}.$$

1.7.3.4. Теплофизические свойства окружающих горных пород принимаются из табл. 1.6. При длине периметра поперечного сечения выработки, занимаемого песчаником, $\frac{1}{3} \cdot 13,7 = 4,57 \text{ м}$

и песчанистым сланцем $\frac{2}{3} \cdot 13,7 = 9,13 \text{ м}$ средневзвешенные по периметру значения теплофизических параметров окружающих горных пород составляют:

коэффициент теплопроводности по формуле (I.I4)

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

коэффициент температуропроводности по формуле (I.I6)

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

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

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

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 $\tau_n = 10 \text{ лет } 10 \text{ мес} = 94800 \text{ ч}$, конца штрека $\tau_k = 5 \text{ лет } 10 \text{ мес} = 51000 \text{ ч}$. Расчетное время проветривания штрека согласно формуле (I.I7)

$$\tau = \frac{94800 + 51000 + 2 \sqrt{94800 \cdot 51000}}{4} = 71200 \text{ ч}.$$

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

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

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

$$Q_{\text{э}} = 860 \cdot 32 \cdot 0,05 = 13760 \text{ ккал/ч}.$$

I.7.3.10. Тепловыделения при электровозной откатке согласно формуле (I.30)

$$Q_{\text{ав}} = 860 \cdot \frac{1700 \cdot 1,06 \cdot 0,2}{18} = 17200 \text{ ккал/ч}.$$

1.7.3.11. Тепловыделение от тахтной воды в канавках согласно формуле (1.42)

$$Q_8 = 1060 \cdot 0,4 \cdot 3,88 (29,8 - 25,8) = 6580 \text{ ккал/ч},$$

здесь коэффициент теплопередачи согласно формуле (1.43)

$$K_8 = \frac{1}{\frac{1}{13,42} + \frac{0,05}{0,3} + \frac{1}{60,84}} = 3,88 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C} ;$$

коэффициент теплоотдачи в выработке при $\varepsilon = 1,5$ согласно формуле (1.39)

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

коэффициент теплоотдачи от воды к покрытию канавки согласно формуле (1.44)

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

скорость движения в канавке

$$v_8 = \frac{5}{0,4 \cdot 0,3 \cdot 3600} = 0,0116 \text{ м/с} ;$$

коэффициент, учитывающий теплофизические свойства воды, принят из таблицы 1.7 методом интерполирования для температуры 25°C

$$A_{tg} = 7,13.$$

1.7.3.12. Тепловыделение от угля при транспортировке в вагонетках согласно формуле (1.53)

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

Здесь количество транспортируемого ископаемого

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

теплоемкость угля определяем по табл. П.3.1 (принимая уголь марки УК, влажность которого в результате орошения на конвейерном штрэке повысилась до 5%)

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

Температура угля, загружаемого в вагонетки, составляет

$$t'_{n2-6} = t'_{n4-7} - \frac{Q_{кв6-7}}{A_{кв6-7} C_{y6-7}} = 36,1 - \frac{29,30}{85000 \cdot 0,33} = 35,04^{\circ}\text{C}.$$

Температура горного массива на глубине выемки угля в лаве в соответствии с (I.13)

$$t_r = 8,4 + \frac{1057}{34,1} = 39,4^{\circ}\text{C}.$$

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

$$Q_A = 1,2 \cdot 4,87 \cdot 0,63 \cdot 200 (39,4 - 3,0 - 26,0) = 7660 \text{ ккал/ч,}$$

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

Коэффициент K_c согласно (I.89) при значениях теплофизических свойств угля с влажностью до 3% (табл. П.3.1).

$$K_c = \frac{0,093}{1,77 \sqrt{0,000369 \cdot 0,18} + \frac{0,093}{19,8}} = 4,87 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч.}^{\circ}\text{C}.$$

Коэффициент теплоотдачи α_A определяется по (I.39) при $\epsilon = 3,0$, количестве воздуха в лаве $680 \text{ м}^3/\text{мин}$ (формула I.4), скорости движения воздуха по I технологической дороге $V_1 = 1,12 \cdot 3,38 = 3,78 \text{ м/с}$ (формула I.5) с учетом относительной скорости движения воздуха $V_{отн} = 3,78 - 0,92 = 2,86 \text{ м/с}$ (формула I.91);

$$\alpha_A = 2 \cdot 3,0 (1,26 \cdot 2,86)^{0,8} \left(\frac{9,48}{3,37} \right)^{0,2} = 19,8 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч.}^{\circ}\text{C}.$$

Расчетное время охлаждения отбитого угля в лаве определяем согласно (1.90) с учетом технологии работ (остановок комбайна и конвейера)

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

Температура угля на конвейере в конце лавы при $A_{\text{ф}} = \frac{1700000}{20} = 85000 \text{ кг/ч}$ и теплоемкости угля при влажности 3% (табл. П.3.1) согласно (1.51), составит

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

Тепловыделения от транспортируемого угля в конвейерном штреке

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

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

Коэффициент $K_{\tau\tau}$ рассчитывается по формуле (1.92)

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

Коэффициент теплоотдачи α_{τ} от поверхности транспортируемого угля определяется по (1.39) при $\epsilon = 1,5$, относительной скорости воздуха $V_{\text{отнб}} = 1,05 + 1,6 = 2,65 \text{ м/с}$ (формула 1.93)

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

значение Z_{τ} при теплофизических свойствах транспортируемого угля с влажностью 5% (табл. П.3.1) определяется по (1.94)

$$Z_{\tau} = \frac{10,52}{0,109} \sqrt{0,000412 \cdot 0,11} = 0,6466 ;$$

длительность теплообмена угля на конвейере с воздухом согласно (1.90)

$$\tau_b = \frac{640}{3600 \cdot 1,6} = 0,11 \text{ ч};$$

функция $f(z_T)$ рассчитывается по формуле (1.83)

$$f(z_T) = \frac{1,0774 \cdot 0,6466 - 0,0064}{0,6466 + 0,8773} = 0,4529;$$

термометр поперечного сечения насыпки угля на конвейере

$$u_T = 0,11 \sqrt{\frac{1700}{20}} = 0,8 \text{ м.}$$

Средняя скорость движения воздуха в выработке относительно вагонеток определяется по формуле (1.54)

$$v_{отн} = \frac{5,1 \cdot 1,0 + (5,1 + 4,16)(1,1 - 1,0)}{1,1} = 5,4 \text{ м/с,}$$

где скорость движения воздуха в выработке $v_{ср} = 5,1 \text{ м/с}$ (табл. 1.12)

скорость движения вагонеток к уголю по выработке

$$v_{тр} = 15 \text{ км/ч} = \frac{15000}{3600} = 4,16 \text{ м/с};$$

продолжительность пребывания вагонеток с углем ориентировочно принимаем $\tau_{по} = 1,0 \text{ ч};$

время общего пребывания вагонеток в выработке рассчитывается по формуле (1.55)

$$\tau_{тр_{2-6}} = 1 + \frac{1220}{3600 \cdot 4,16} = 1,08 \text{ ч.}$$

Коэффициент теплоотдачи от поверхности вагонеток по формуле (1.56)

$$\alpha_u = 3(1,26 \cdot 5,4)^{0,58} \left(\frac{13,7 + 4,62}{13 - 1,32} \right)^{0,47} = 11 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C},$$

где 13,7 и 4,62 – периметры соответственно выработки и вагонетки, м;

13 и 1,32 – сечения соответственно выработки и вагонетки, м².

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

$$Bi_n = Bi_k = \frac{11 \cdot 0,924}{0,109} = 93,25 ;$$

$$Fo_n = 0, Fo_k = \frac{1,000412 \cdot 1,08}{0,924^2} = 0,00052,$$

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

$$\tau_n = 0 \quad \text{и} \quad \tau_k = 1,08$$

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

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

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

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

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

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

$$K_{\tau} = \frac{1}{1 + \frac{1,75}{2 \cdot 13,33 \cdot 1,89}} \left[\frac{1,75}{2 \cdot 1,89} + \frac{1,75}{\sqrt{3,14 \cdot 0,0033 \cdot 71200} \cdot x} \right] = 0,507 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C},$$

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

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

1.7.3.16. Температура воздуха в конце расчетного участка штрека 2-3 согласно формуле (1.98)

$$t_2 = 25,8 \cdot 0,8358 + \frac{1 - 0,8358}{0,102 + 0,15 \cdot 2,737} \left[3,886 + 0,15 \cdot 2,737 \cdot 8,07 + \right. \\ \left. + \frac{53860}{300900 \cdot 0,24} \right] = 24,10^\circ\text{C}.$$

Здесь комплекс В согласно формуле (1.99)

$$B = \left(\frac{1 + 2,737 \cdot 0,6}{1 + 2,737 \cdot 0,75} \right) \left(1 + \frac{0,102}{0,15 \cdot 2,737} \right) = 0,8358.$$

Комплекс В в диапазоне изменения температуры воздуха $20-30^\circ\text{C}$ и соответствующих ему значениях коэффициентов $\epsilon' = 8,07$; $\mu = 1,425$; $\rho_{\text{ср}}^H = 24,2$ мм рт.ст. (табл. 1.10) определяется по формуле (1.103)

$$B = \frac{1542 \cdot 1,425}{827 - 24,2} = 2,737.$$

Комплекс А определяется по формуле (1.104), т.к. $K_{\text{хтр}} = 0$ и $K_{\text{ттр}} = 0$

$$A = \frac{0,507 \cdot 13,7 \cdot 1060}{300900 \cdot 0,24} = 0,102,$$

где весовой расход воздуха составляет

$$G = 3980 \cdot 60 \cdot 1,26 = 300900 \text{ кг/ч}.$$

Комплекс В по формуле (1.105), т.к. $K_{\text{хтр}} = 0$ и $K_{\text{ттр}} = 0$

$$B = \frac{0,507 \cdot 13,7 \cdot 1060}{300900 \cdot 0,24} \cdot 35,1 = 3,886.$$

1.7.4. Расчет воздухоподатной выработки № 14 (участок 3-4).

1.7.4.1. Характеристика выработки. Воздухоподатная выработка пройдена по пласту с верхней подрывкой. Угол наклона пласта 6° . Породы кровли – глинистые сланцы, почвы – песчанистые сланцы. Мощность пласта – 1,57 м. Глубина расположения выработки: у устья – 1007 м, у лавы – 1057 м. Воздух по выработке движется

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

1.7.4.2. Геометрические характеристики выработки:

- периметр среднего сечения согласно формуле (1.2)

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

- эквивалентный радиус согласно формуле (1.3)

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

1.7.4.3. Естественная температура горных пород согласно формуле (1.13) составляет:

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

под лавой

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

1.7.4.4. 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 оланцами - $11,1 - 3,14 = 7,96$ м.

Средневзвешенные по периметру значения теплофизических параметров составляют:

коэффициент теплопроводности согласно формуле (1.14)

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

коэффициент температуропроводности согласно формуле (1.16)

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

1.7.4.5. Барометрическое давление воздуха в выработке согласно формуле (1.11)

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

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

1.7.4.6. Относительная влажность воздуха. Согласно пункту 1.1.7 принимаем $\varphi_1 = 0,75$, $\varphi_2 = 0,705$.

1.7.4.7. Расчетное время проветривания выработки. По плану горных работ время проветривания начала выработки составляет $\tau_n = 9,5 \text{ мес} = 6978 \text{ ч}$; $\tau_k = 5,5 \text{ мес} = 4026 \text{ ч}$. Расчетное время проветривания согласно формуле (1.17)

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

1.7.4.8. Плотность воздуха в выработке при $P_{\text{ср}} = 829 \text{ мм рт.ст.}$, $t_{\text{ср}} = 25^\circ\text{C}$ и $\varphi_c = 0,72$ согласно формуле (1.40) и табл. П.2.1

$$\gamma = 0,464 \frac{829 - 0,72 \cdot 23,76}{273 + 25} = 1,26 \text{ кг/м}^3.$$

1.7.4.9. Тепловыделение в пункте размещения маслостанции при $K_{\text{мс}} = 1,0$, $\gamma_{\text{г}} = 0,9$ и $\gamma_{\text{м}} = 0,55$ согласно формуле (1.34)

$$Q'_{\text{мс}} = 860 \cdot 39,5 \cdot 1,0 (1 - 0,9 \cdot 0,55) = 17150 \text{ ккал/ч.}$$

1.7.4.10. Коэффициент нестационарного теплообмена согласно формуле (1.78)

$$K_{\tau} = 6,62 \cdot \left[1 - \frac{8,724}{9,099} \cdot 0,973 \right] = 0,444 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C},$$

здесь коэффициент теплоотдачи от поверхности выработки к воздуху согласно формуле (1.39)

$$\alpha = 2 \cdot 1,5 (1,26 \cdot 2,0)^{0,8} \left(\frac{11,1}{8,5} \right)^{0,2} = 6,62 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C};$$

критерий Бисс согласно формулам (1.79) и (1.80)

$$Bi = \frac{6,62 \cdot 1,53}{1,161} = 8,724; \quad Bi' = 8,724 + 0,375 = 9,099;$$

критерий Фурье согласно формуле (1.82)

$$Fo = \frac{0,0023 \cdot 5400}{1,53^2} = 5,3;$$

величина z согласно формуле (1.81)

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

функция $f(z)$ согласно формуле (1.84)

$$f(z) = \frac{1,0011 \cdot 20,93 - 0,2575}{20,93 + 0,3406} = 0,973.$$

1.7.4.II. Температура воздуха в конце выработки согласно формуле (1.98)

$$t_{\text{в}} = 24,1 \cdot 0,9877 + \frac{1 - 0,9877}{0,160 + (-0,045) \cdot 2,730} \cdot \left[6,253 + (-0,045) \cdot \right. \\ \left. \cdot 2,730 \cdot 8,07 + \frac{17150}{1020 \cdot 60 \cdot 1,26 \cdot 0,24} + 600 \cdot 0,1045 (0,0293 \cdot 0,0493 + \right. \\ \left. + 0,00976) \right] = 26,0^{\circ}\text{C}.$$

Вдоль комплекса В согласно формуле (1.99)

$$B = \left(\frac{1 + 2,730 \cdot 0,75}{1 + 2,730 \cdot 0,705} \right) \left(1 + \frac{0,160}{(-0,045) \cdot 2,730} \right) = 0,9877 ,$$

а изменение относительной влажности согласно формуле (1.100)

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

Комплекс Б для диапазона температур $20 + 30^{\circ}$ и соответствующих ему значениях коэффициентов по табл. 1.10 $\mu = 1,425 ;$

$\epsilon' = 8,07 ; \quad p''_{\text{в}} = 24,2 \text{ мм рт.ст. согласно формуле (1.103)}$

$$B = \frac{1542 \cdot 1,425}{829 - 24,2} = 2,730 ;$$

Комплекс А согласно формуле (1.104)

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

Комплекс Е согласно формуле (1.105)

$$E = \frac{0,444 \cdot 11,1 \cdot 600}{1020 \cdot 60 \cdot 1,26 \cdot 0,24} \cdot 37,9 = 6,06,$$

Комплексы Т согласно формуле (I.106)

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

$$= 0,0493.$$

1.7.5. Расчет лавы (участок 4-5) . ,

1.7.5.1. Характеристика лавы:

мощность пласта - 1,57 м;
 пласт марки $\mathcal{K}$, естественная влажность до 3%;
 вмещающие пласт породы: почва-песчанистый сланец, кровля-глинистый сланец;
 влажностное состояние окружающего горного массива - почва и кровли пласта сухие, каплеж в лаве не наблюдается;
 глубина ведения очистных работ - 1057 м ;
 систем разработки-столбовая, (длинные столбы по восстановлению);
 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 - 1700 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) - 105 кВт ;
 способ доставки угля в лаву - конвейером СПМ-87 ;
 количество электродвигателей конвейера - 3 ;
 мощность электродвигателей конвейера $N = 1 \times 45$ кВт - в начале лавы, $N = 2 \times 45$ кВт - в конце лавы;
 режим работы лавы - 10 часов в сутки по добыче и 4 часа ремонт.

1.7.5.2. Температура горного массива согласно 1.7.3.12.

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

1.7.5.6. Теплофизические параметры горного массива принимаются в соответствии с данными табл. 1.6:

$$\begin{aligned} \text{коэффициенты теплопроводности } \lambda_y &= 0,251 \text{ ккал/м.ч.}^\circ\text{C}; \\ \lambda_n = \lambda_k &= 1,52 \text{ ккал/м.ч.}^\circ\text{C}; \\ \text{коэффициенты температуропроводности } a_y &= 0,00074 \text{ м}^2/\text{ч}; \\ a_n = a_k &= 0,00293 \text{ м}^2/\text{ч}. \end{aligned}$$

1.7.5.7. Относительная влажность воздуха. Согласно данным табл. 1.4 для "сухих" лав на период добычной смены относительная влажность воздуха принимается:

$$\begin{aligned} \text{на входе в лаву } \varphi_1 &= 0,705; \\ \text{на выходе из лавы } \varphi_2 &= 0,705 + \frac{200}{100} \cdot 0,038 = 0,78. \end{aligned}$$

1.7.5.8. Расчетное время проветривания. Средняя продолжительность выемки комбайном одной полосы угля шириной 0,63 м при суточной добыче 1700 т, добыча за один цикл $200 \cdot 1,57 \cdot 0,63 \times 1,275 = 252,2$ т и количестве снимаемых за сутки полос $\frac{1700}{252,2} = 7$, составляет $\tau_n = \frac{24}{7} = 3,43$ ч. С учетом геометрических

размеров призабойного пространства лавы количество полос по ширине технологических дорог лавы составляет

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

принимаем для расчета по I дороге 4 полосы;

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

принимаем к расчету по II дороге 2 полосы.

Тогда для угольного забоя согласно формуле (1.18)

$$\tau_3 = 0,25 \cdot 3,43 = 0,86 \text{ ч};$$

для пород кровли и почвы I дороги согласно формуле (1.19)

$$\tau_4 = 0,25 \cdot 4 \cdot 3,43 = 3,43 \text{ ч};$$

для пород кровли и почвы II дороги и выработанного пространства согласно формуле (1.20)

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

1.7.5.9. Тепловыделения, связанные с конвейерной транспортировкой угля в лаве,

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

общее сечение призабойного пространства лавы - $3,37 \text{ м}^2$;
 периметр сечения призабойного пространства лавы - $9,48 \text{ м}$;
 сечение I технологической дороги лавы - $2,6 \text{ м}^2$;
 периметр сечения I технологической дороги - $7,34 \text{ м}$;
 сечение II технологической дороги лавы - $0,77 \text{ м}^2$;
 периметр II технологической дороги - $4,8 \text{ м}$;
 ширина I технологической дороги лавы - $2,37 \text{ м}$;
 ширина II технологической дороги лавы - $1,1 \text{ м}$.

Эквивалентный радиус поперечного сечения согласно формуле (1.3) для I технологической дороги:

$$R_{01} = \frac{2 \cdot 2,6}{7,34} = 0,71 \text{ м} ;$$

для II технологической дороги

$$R_{02} = \frac{2 \cdot 0,77}{4,8} = 0,32 \text{ м}.$$

1.7.5.4. Количество воздуха, проходящего по рабочему пространству лавы, при $K_{\text{ушг}} = 1,5$ согласно формуле (1.4)

$$Q_3 = \frac{1020}{1,5} = 680 \text{ м}^3/\text{мин} ;$$

весовой расход воздуха по рабочему пространству лавы при $\gamma = 1,26 \text{ кг/м}^3$

$$G = 680 \cdot 60 \cdot 1,26 = 51410 \text{ кг/ч}.$$

1.7.5.5. Скорость воздуха по технологическим дорогам призабойного пространства лавы при $V_{\text{ср}} = 3,38 \text{ м/с}$ (см. табл. I.12) в соответствии с формулами (1.5) и (1.6) составляет:

$$\text{I дорога } V_1 = 1,12 \cdot 3,38 = 3,78 \text{ м/с} ;$$

$$\text{II дорога } V_2 = 0,62 \cdot 3,38 = 2,1 \text{ м/с}.$$

1.7.5.10. Тепловыделение при работе комбайна производительностью $A_{\text{ф}} = 85 \text{ т/ч}$, $A_{\text{н}} = 168 \text{ т/ч}$, $\xi = 0,5$ согласно формуле (1.36)

$$Q_{\text{к}} = 860 \cdot 105 \cdot \frac{85}{168} \cdot 0,5 = 22900 \text{ ккал/ч.}$$

1.7.5.11. Тепловыделение гидросистем механизированной крепи в лаве при коэффициенте загрузки электродвигателей $K_{\text{мс}} = 1,0$, к.п.д. электродвигателя маслонасоса $\eta_{\text{д}} = 0,9$, механическом к.п.д. маслонасоса $\eta_{\text{м}} = 0,55$ согласно формуле (1.35)

$$Q_{\text{гс}} = 860 \cdot 39,5 \cdot 1,0 \cdot 0,9 \cdot 0,55 = 16800 \text{ ккал/ч.}$$

1.7.5.12. Тепловыделения одновременно работающих в лаве людей ($n = 6 \text{ чел}$) согласно формуле (1.63)

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

1.7.5.13. Суммарные тепловыделения местных источников

$$\Sigma Q_{\text{ми}} = 39400 + 22900 + 16800 + 1500 = 80600 \text{ ккал/ч.}$$

1.7.5.14. Коэффициент нестационарного теплообмена (средневзвешенный) призабойного пространства лавы согласно формуле (1.86)

$$K_{\text{т}} = 5,293 \cdot \frac{1,3}{9,48} + 7,86 \cdot \frac{4,74}{9,48} + 4,68 \cdot \frac{2,2}{9,48} + 4,68 \cdot \frac{1,24}{9,48} = 6,3 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}}.$$

Здесь коэффициент нестационарного теплообмена угольного забоя определен по формуле (1.78)

$$K_{\text{тз}} = 25,3 \left(1 - \frac{71,57}{71,945} \cdot 0,795 \right) = 5,293 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C} ;$$

коэффициент теплоотдачи поверхностей окружающего горного массива для I технологической дороги по формуле (1.39)

$$\alpha_1 = 2 \cdot (1,26 \cdot 3,78)^{0,8} \left(\frac{7,34}{2,6} \right)^{0,2} = 25,3 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C} ;$$

критерий Био по формулам (1.79) и (1.80)

$$Bi = \frac{25,3 \cdot 0,71}{0,251} = 71,57 ; \quad Bi' = 71,57 + 0,375 = 71,945 ;$$

критерий Фурье по формуле (1.82)

$$Fo = \frac{0,00074 \cdot 0,86}{0,71^2} = 0,001260 ;$$

значение числа z по формуле (1.81)

$$z = 71,945 \sqrt{0,001260} = 2,554 ;$$

функция $f(z)$ по формуле (1.84)

$$f(z) = \frac{1,0011 \cdot 2,554 - 0,2575}{2,554 + 0,3406} = 0,795.$$

Коэффициент нестационарного теплообмена для пород почвы и кровли I технологической дороги лавы согласно формуле (1.78)

$$\alpha_{\tau_{n_1, n_1}} = 25,3 \left(1 - \frac{11,82}{12,195} \cdot 0,711 \right) = 7,86 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C} ;$$

критерий Био по формулам (1.79) и (1.80)

$$Bi = \frac{25,3 \cdot 0,71}{1,52} = 11,82 ; \quad Bi' = 11,82 + 0,375 = 12,195 ;$$

критерий Фурье по формуле (1.82)

$$Fo = \frac{0,00293 \cdot 3,43}{0,71^2} = 0,01993 ;$$

число z по формуле (1.81)

$$z = 12,195 \sqrt{0,01993} = 1,719 ;$$

функция $f(z)$ по формуле (1.83)

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

Коэффициент нестационарного теплообмена для пород и кровли
II технологической дороги согласно формуле (1.78)

$$K_{\tau_{п_2,к_2}} = 18,86 \left(1 - \frac{3,971}{4,346} \cdot 0,823\right) = 4,68 ;$$

коэффициент теплоотдачи поверхностей окружающего горного массива
для II технологической дороги определяется по формуле (1.39)

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

критерий Био по формулам (1.79) и (1.80)

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

критерий Фурье по формуле (1.82)

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

число z по формуле (1.81)

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

функция $f(z)$ по формуле (1.84)

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

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

1.7.5.15. Температура воздуха в конце лавы в соответствии с формулой (1.98) равна

$$t_2 = 26,0 + 0,665 + \frac{1 - 0,665}{1,028 + 0,075 \cdot 2,724} \left[40,32 + 0,075 \cdot 2,724 \cdot 8,07 + \frac{80600}{51410 \cdot 0,24} \right] = 30,5^\circ\text{C}.$$

Здесь комплекс В согласно формуле (1.99)

$$B = \left(\frac{1 - 2,724 \cdot 0,705}{1 + 2,724 \cdot 0,78} \right) \left(1 + \frac{1,028}{0,075 \cdot 2,724} \right) = 0,665 ;$$

изменение относительной влажности в лаве согласно формуле (1.100)

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

комплекс Б для диапазона изменения температуры 20-30°C и соответствует ему коэффициентов $n = 1,425$; $\epsilon' = 8,07$ и $p_{\text{ср}}'' = 24,2$ мм рт.ст. (табл. 1.10) согласно формуле (1.103)

$$B = \frac{1542 \cdot 1,425}{831 - 24,2} = 2,724 ;$$

комплекс А согласно формуле (1.104) и п. 1.7.3.12

$$A = \frac{6,3 \cdot 9,48 \cdot 200}{51410 \cdot 0,24} + \frac{1,2 \cdot 4,87 \cdot 0,63 \cdot 200}{51410 \cdot 0,24} = 1,028 ;$$

комплекс Е согласно формуле (1.105)

$$E = \frac{6,3 \cdot 9,48 \cdot 200}{51410 \cdot 0,24} \cdot 39,4 + \frac{1,2 \cdot 4,87 \cdot 0,63 \cdot 200}{51410 \cdot 0,24} (39,4 - 3,0) = 40,32.$$

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

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

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

Тепловыделения местных источников в лаве принимаются согласно п.п. I.7.5.9 - I.7.5.12

$$\sum Q_{\text{ми}} = 80600 \text{ ккал/ч.}$$

тогда согласно (I.123)

$$E_2 = 0,9681 \cdot 39,4 + 0,0597 \cdot 36,4 + \frac{80600}{51410 \cdot 0,24} = 46,85 ;$$

$$d_{t_1}'' = \frac{622 \cdot 25,22}{760 - 25,22} = 21,35.$$

I.8.3.3. Температура воздуха в конце лавы определяется по формуле (I.119)

$$t_2 = -5,31 + \sqrt{(5,31)^2 + \frac{1}{2,49 \cdot 0,713 \cdot 0,0347} \left[46,85 + (1 - 0,5139) 26,0 + \right.}$$

$$\left. + 2,49 \cdot 0,645 \cdot 21,35 - 303 \right]} = 30,0^\circ\text{C}.$$

Отклонение температуры воздуха в конце лавы по упрощенному способу расчета в сравнении с основным составило $-0,5^\circ\text{C}$,

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

1.8.2.2. Температура воздуха в конце воздухоподающей выработки № 14 определяется по (1.119)

$$t_2 = -2,72 + \sqrt{(2,72)^2 + \frac{I}{2,49 \cdot 0,645 \cdot 0,0347} \left[7,611 + (1-0,08) \cdot \right. \\ \left. \cdot 24,1 + 2,49 \cdot 0,689 \cdot 18,98 \right] - 303} = 26,0^\circ\text{C}.$$

1.8.3. Расчет лавы № 14 (участок 4-5)

1.8.3.1. Температура и относительная влажность воздуха на входе в лаву составляют

$$t_1 = 26,0; \quad \varphi_1 = 0,705.$$

Остальные исходные данные принимаем из п.1.7.5.1, табл. 1.12 и 1.4

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

1.8.3.2. Вычисление комплексов, входящих в основную формулу (1.119), производится по формулам (1.120)-(1.126) и (1.133) с учетом данных табл. 1.11, 1.12 и п.2.1 и п. 1.7.3.12

$$A_1 = \frac{6,3 \cdot 9,48 \cdot 200}{51410 \cdot 0,24} = 0,9681;$$

$$A_2 = \frac{1,2 \cdot 4,87 \cdot 0,63 \cdot 200}{51410 \cdot 0,24} = 0,0597;$$

$$\varphi_1' = \frac{760}{891} \cdot 0,705 = 0,645;$$

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

$$\varphi'_1 = \frac{760}{827_0} \cdot 0,75 = 0,689 ;$$

$$\varphi'_2 = \frac{760}{831} \cdot 0,705 = 0,645 ;$$

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

$A_2 = 0$ (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

$$d''_{t_1} = \frac{622 \cdot 22,51}{760 - 22,51} = 18,98 \text{ г/кг}$$

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

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

$$\sum Q_{\text{ми}} = 17170 \text{ ккал/ч (см. п. I.7.4.9)} ;$$

$$E_2 = 0,160 \cdot 38,65 + \frac{17170}{51410 \cdot 0,24} + 0,01 \cdot (1057 - 1007) = 7,611.$$

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

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

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 (1.107) вычисляется температура воздуха в начале лавы при заданном нормативном значении ее в конце лавы. При этом все исходные данные в формуле (1.107) принимаются те же, что и при прямом расчете.

С учетом полученного значения температуры воздуха в начале лавы по формуле (1.107) производится обратный тепловой расчет выработки 3-4 до предполагаемого места установки воздухоохладителя. При этом относительная влажность воздуха принимается согласно рекомендаций, приведенных в п. 1.1.8, коэффициент нестационарного теплообмена рассчитывается по формулам, приведенным в п. 1.4.7, а остальные исходные данные принимаются те же, что и при прямом расчете. Затем по данным прямого и обратного расчетов рассчитывается необходимая холодопроизводительность воздухоохладителя.

1.8. Пример теплового расчета по упрощенному способу.

1.8.1. В процессе эксплуатации глубоких горизонтов может возникнуть необходимость в определении ожидаемых температур воздуха в участковых выработках и лавы при известных температурах на групповых воздухоподающих выработках. В этом случае ИПР шахты может воспользоваться упрощенным методом теплового расчета изложенным в разделе 1.6. Для его оценки произведем тепловые расчеты по шахте с исходными горногеологическими и горнотехническими данными, приведенными в п. 1.7, для воздухоподающей выработки (участок 3-4) и лавы № 14 (участок 4-5) рис. 1.5. Все исходные данные по упрощенной методике определяются по тем же зависимостям, что и для основной методики.

1.8.2. Расчет воздухоподающей выработки № 14 (участок 3-4).

1.8.2.1. Тепловые параметры воздуха в начале штрека принимаем по результатам расчетов, выполненных в п. 1.7

$$t_1 = 24,1^{\circ}\text{C}, \quad \varphi_1 = 0,75, \quad \varphi_2 = 0,705.$$

Вычисление комплексов, входящих в основную расчетную зависимость (1.119), производится по формулам (1.120), (1.125) и (1.126).

2. МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ШАХТ В ОСЛОЖНЕННЫХ УСЛОВИЯХ

2.1. Выбор исходных данных

Под осложненными условиями понимают сложный (сильнопере-
сеченный, гористый) рельеф поверхности, складчатое и нарушенное зале-
гание горных пород, наличие в горном массиве источников тепла по-
стоянной во времени температуры в виде восходящих потоков термаль-
ных вод. Перечисленными условиями характеризуются Ткибули-Шаорское
(сложный рельеф поверхности, складчатое и нарушенное залегание
горных пород) и Тиварчельское (сложный рельеф поверхности, склад-
чатое и нарушенное залегание горных пород, восходящие потоки тер-
мальных вод) каменноугольные месторождения. Поэтому особенности
методики теплового расчета выработок в осложненных условиях изла-
гаются 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 поверхно-
стного слоя земной коры не прямая линия, а кривая, тангенс угла
наклона которой к оси ординат (геотермический градиент) с увеличе-
нием глубины от поверхности неуклонно повышается (рис. 2.1). В
разных точках месторождения эта кривая различна, т.е. геотерми-
ческий градиент претерпевает изменение не только по глубине, но
и по площади. Поэтому искомым температуру пород нельзя определить
пря помощи осредненного значения геотермической ступени, а необ-
ходимо иметь предварительно построенное температурное поле место-
рождения в целом или его характерных стратиграфических разрезов,
охватывающих все воздухоподающие выработки вентиляционной сети.

2.1.1. 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

$$\Gamma_{пр} = \Gamma_0 + \alpha' \Delta h, \quad (2.1)$$

- где $\Gamma_{пр}$ - приведенная геотермическая ступень для данной точки, $м/^\circ C$;
 Γ_0 - геотермическая ступень низменности, примыкающей к рассматриваемому месторождению со сложным рельефом поверхности, $м/^\circ C$;
 Δh - превышение отметки поверхности над данной точкой (по вертикали) относительно плоскости сравнения (отметки взятой низменности H_0), м ;
 α' - эмпирический коэффициент, учитывающий приращение геотермической ступени при повышении высоты местности на 1 м, $1/^\circ C$.

При сложном рельефе поверхности и спокойном залегании пород в среднем значение коэффициента $\alpha' = 0,012$.

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 $\alpha' = 0,02$;

- при согласованных изгибах пород и рельефа $\alpha' = 0,006$.

Для Тимбули-Евдорского и Тиварчельского каменноугольных месторождений $\Gamma_0 = 27 м/^\circ C$, а отметка, при которой она определена $H_0 = 500 м$.

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

$$t_n = t_0 - \alpha'' \Delta h, \quad (2.2)$$

а глубина h залегания

$$h_n = h_0 + \alpha''' \Delta h, \quad (2.3)$$

где t_0, h_0 - соответственно температура и глубина залегания нейтрального температурного слоя низменности, примыкающей к месторождению со сложным рельефом поверхности, $^{\circ}\text{C}$ и м;

α'' - коэффициент, учитывающий снижение температуры этого слоя при повышении высоты местности на I м, $^{\circ}\text{C}/\text{м}$;

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

Значения коэффициентов α'' и α''' зависят от климатических условий местности, наличия и вида поверхностного покрова и от свойств почвы или пород, составляющих зону выше нейтрального слоя.

Для Ткибули-Шорского и Ткварчельского месторождений

$\alpha'' = 0,008^{\circ}\text{C}/\text{м}$, а $\alpha''' = 0,0218$

Температура и глубина залегания нейтрального температурного слоя в низменности принимаются: для Ткибули $t_0 = 13,7^{\circ}\text{C}$,

$h_0 = 24,0$ м; для Ткварчели $t_0 = 10,7^{\circ}\text{C}$, $h_0 = 25,0$ м.

2.1.3. 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

$$\Gamma_T = \frac{H_{T_0} - H'}{t_{T_1} - t_{T_0}}, \quad (2.4)$$

где Γ_T - геотермическая ступень в зоне движения термальных вод, $\text{м}/^{\circ}\text{C}$;

H_{T_0} - отметка выхода термальных вод на поверхности, м;

H' - наименьшая отметка точки термических наблюдений, м;

t_{T_0} - температура термальных вод у выхода на дневную поверхность, $^{\circ}\text{C}$;

t_{T_1} - температура термальных вод на глубине H_1 , $^{\circ}\text{C}$.

Для Ткварчельского месторождения $t_{T_0} = 32,0^{\circ}\text{C}$, $H_{T_0} = 1200$ м. При отсутствии результатов термических наблюдений и при расчетах можно принимать $\Gamma_T = 70 \text{ м}/^{\circ}\text{C}$.

Таблица 2.1

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

№	Наименование горных пород	Плотность		Теплофизические свойства					
		γ , кг/м ³		$\alpha \cdot 10^4$, м ² /ч		C , ккал/кг.°C		λ , ккал/м.ч.°C	
		Ткибули	Ткварчели	Ткибули	Ткварчели	Ткибули	Ткварчели	Ткибули	Ткварчели
1.	Песчаники угленосной свиты	2600	2720	37,2	44,4	0,210	0,203	2,00	2,46
2.	Угольная толща	1400	1300	12,4	6,12	0,260	0,250	0,45	0,198
3.	Листоватые сланцы	2400	-	20,9	-	0,209	-	0,99	-
4.	Песчаники порфиритовой свиты байоса	2530	2700	24,5	35,7	0,210	0,200	1,35	1,926
5.	Дробленные закладочные материалы:								
	сухие	1800	-	8,2	-	0,193	-	0,28	-
	влажные (с влажн.4%)	2000	-	24,3	-	0,224	-	1,10	-

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

$$t_n = t_n - \frac{H - h_n}{\Gamma_{np}}. \quad (2.5)$$

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

$$t_{nr} = t_r = t_{r_0} + \frac{H}{\Gamma_r}. \quad (2.5)$$

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

2.1.6. Средние значения теплофизических свойств основных горных пород (теплопроводность, температуропроводность, удельная теплоемкость) даны в таблице 2.1.

При необходимости, средневзвешенные значения теплофизических свойств пород определяются по формулам (1.14)–(1.16).

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, °C			Относительная влаж., доли ед.		
	Ткибули, H=540 м	Шаорск., плато H=1131 м	Ткварч., H=480 м	Ткибули, H=540 м	Шаорск., плато H=1131 м	Ткварчел., H=480 м
	1	2	3	4	5	6
Январь	3,0	-4,2	1,5	0,73	0,81	0,76
Февраль	3,3	-3,8	1,5	0,74	0,79	0,74
Март	5,1	-0,5	3,0	0,73	0,76	0,74
Апрель	10,9	5,7	7,4	0,66	0,74	0,73
Май	16,2	12,1	11,3	0,69	0,73	0,77
Июнь	19,3	15,4	14,8	0,72	0,75	0,80

	1	2	3	4	5	6	7
Июль	20,9	17,7	17,2	0,76	0,77	0,84	
Август	21,4	17,5	17,1	0,76	0,77	0,82	
Сентябрь	18,1	13,2	14,6	0,74	0,80	0,80	
Октябрь	13,3	7,6	9,4	0,72	0,81	0,77	
Ноябрь	9,2	2,9	6,1	0,67	0,79	0,73	
Декабрь	5,0	-2,3	6,1	,60	0,79	0,72	
Средне- год.	12,1	6,8	9,1	0,72	0,78	0,77	

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

2.1.8.1. Для Тхибули - в околоствольном дворе горизонта штормы - 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.

2.1.8.2. Для Тиварчели - в околоствольном дворе горизонта штормы - 0,88 - 0,90; в околоствольном дворе откаточного горизонта - 0,97 - 0,98; на входе в очистную выработку - 0,98 (при отработке горизонта выше штормы); в конце капитального квершлага - 0,94-0,95; в конце уклона - 0,96 и в начале лавы 0,98 (при отработке уклонных полей).

2.1.9. Все остальные исходные данные - тепловыделение местных источников тепла, коэффициенты теплопередачи трубопроводов с тепло- и хладоносителями, коэффициенты нестационарного теплообмена между горячим 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.

2.2.1. 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.2.1).

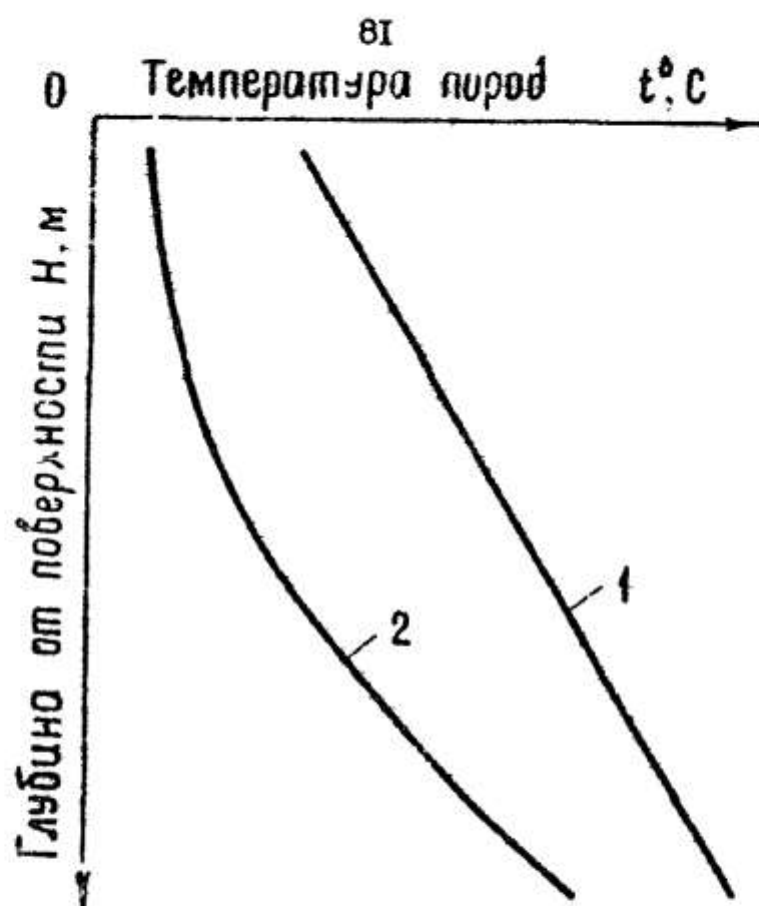


Рис. 2.1. Общий вид изменения температуры верхнего слоя земной коры с увеличением глубины от поверхности: I-при ровном рельефе поверхности (низменном районе); 2 -при сложном рельефе поверхности (под высоким хребтом).

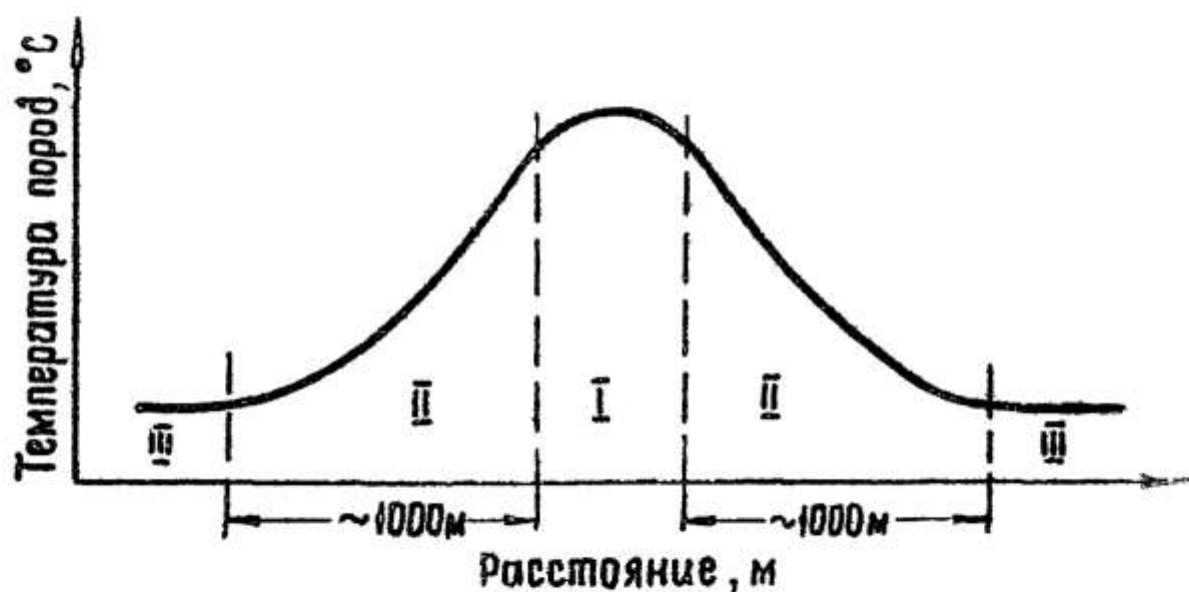


Рис. 2.2. Общий вид распределения температуры на горизонте при наличии термальных вод: I-зона восходящего движения вод; II-область их теплового влияния; III-возмущенная термами область.

2.2.2. Рассчитывается относительный дебит термальных вод в выработке

$$G'_T = \frac{G_T}{G} \quad (2.7)$$

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

$$t_{T\text{ср}} = 0,25 t_T (1 + \sqrt{G'_T})^2, \quad (2.8)$$

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

(Δt_g) 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 ψ , в зависимости от выбранного способа водоотвода, по значениям критериев Fo и Bi определяется из рис. 2.4, 2.5 или рассчитывается по эмпирической зависимости

$$\psi = \kappa'_T \left[a_T + (1 - a_T) \exp\left(-\frac{c_T Fo}{Bi}\right) \right], \quad (2.9)$$

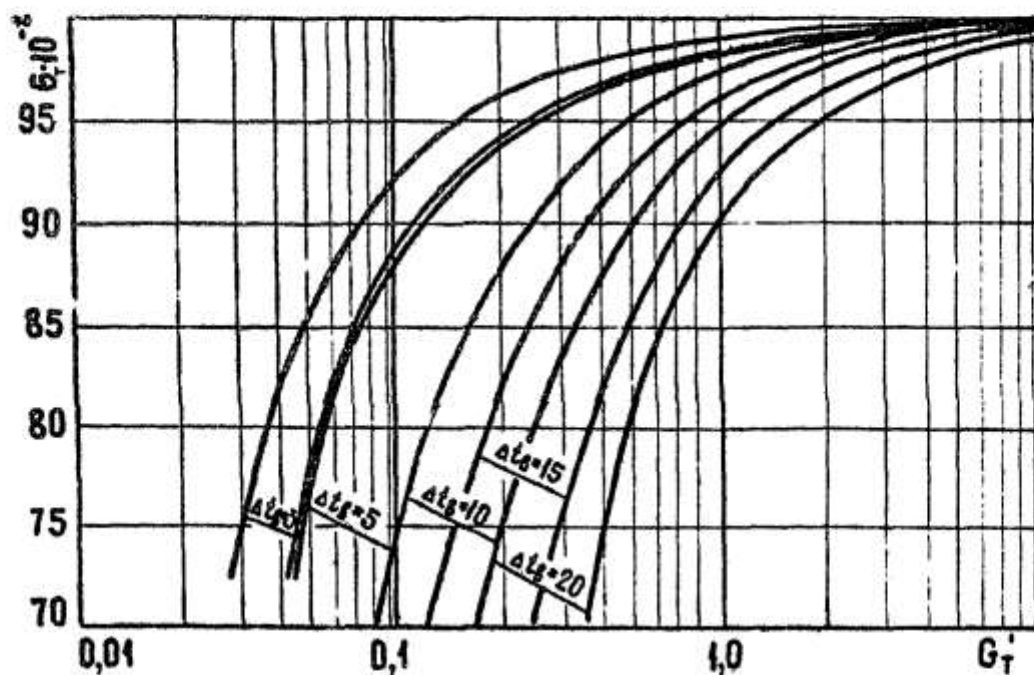


Рис. 2.3. Зависимость коэффициента G_T от относительного дебита термальных вод при разном приращении температуры воздуха в выработке ($\Delta t_g = 3 + 20^\circ\text{C}$). Для каждого приращения левая кривая соответствует температуре термальных вод 100°C , а правая — 50°C .

где K_T' - коэффициент, учитывающий способ водоотвода; при отводе термальных вод канавой в простом бетонном перекрытием $K_T' = 1$, а при теплоизоляционном перекрытии - $K_T' = 0,952$;

α_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 независимой от этого критерия. Поэтому для любого значения Bi , превышающего 50, в формуле (2.9) следует подставлять $Bi = 50$.

Таблица 2.3.

Значения коэффициента α_T , в зависимости от Bi

Bi	3	6	8	20	40	50 и более
α_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

$$t_2 = t_1 B + \frac{1-B}{A + \Delta \varphi B} \left[E + \Delta \varphi B E' + \frac{\sum Q_{ни}}{G_{ср}} \pm L \sin \psi \left(\frac{T}{T_г} + 9,76 \cdot 10^{-3} \right) \right]. \quad (2.10)$$

В формуле (2.10):

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

$$A = \frac{\alpha \vartheta U L}{G_{ср}} + \frac{\kappa_{тл} U_{тл} L}{G_{ср}}; \quad (2.11)$$

$$E = \frac{\alpha \vartheta U L}{G_{ср}} t_{тср} + \frac{\kappa_{тл} U_{тл} L}{G_{ср}} t_{нл}; \quad (2.12)$$

- при наличии на расчетном участке трубопроводов с тепло- и

Таблица 2.4.

Значения коэффициента C_T в зависимости от критериев

$$Bi \approx Fo$$

$Fo \backslash Bi$	3	6	8	20	40	50 и более
0,02	10,5	31	68	268	340	1275
0,03	8,5	40	85	353	900	1365
0,04	8,5	40	90	377	920	1275
0,05	9,0	41	99	298	856	1170
0,06	9,5	40	97	336	787	1068
0,07	9,5	38	94	317	737	993
0,08	9,5	38	91	297	680	912
0,09	9,5	36	87	286	650	878
0,1	9,0	35	82	266	596	830
0,2	8,7	28	59	192	428	575
0,3	7,8	24	48	156	358	465
0,4	6,9	21	41	132	304	390
0,5	6,3	19	37	117	228	340
0,6	6,0	18	31	111	202	298
0,7	5,6	17	29	99	216	272
0,8	5,2	16	28	88	205	256
0,9	4,8	15	26	79	195	250
1,0	4,6	13	25	72	184	255
2,0	3,6	10	17	42	104	155
3,0	2,8	8	13	34	81	115
4,0 и более	2,8	6,5	13	30	75	92

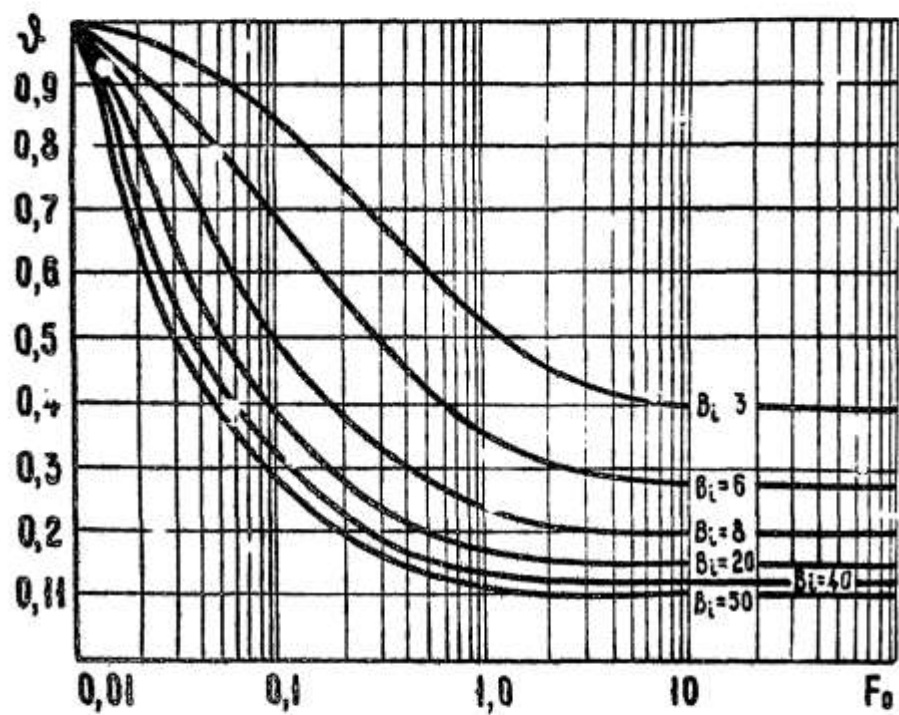


Рис. 2.4. Критеральные кривые для определения безразмерной температуры при отводе термальных вод канавой с простым перекрытием

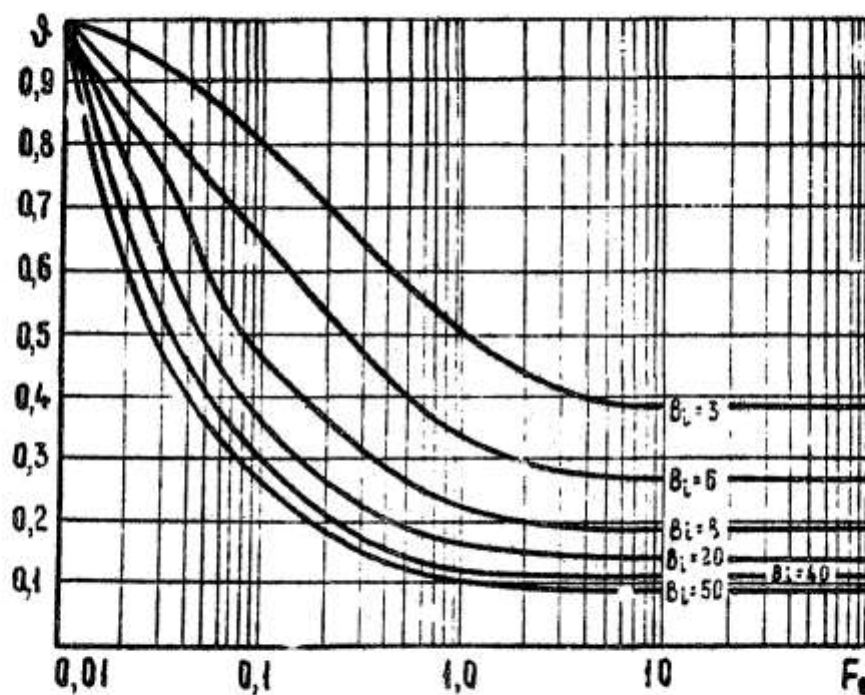


Рис. 2.5. Кра. эрмальные кривые для определения безразмерной температуры при отводе тепмальных вод канавой с теплоиоляционным перекрытием

$$A = \frac{L}{G_{cp}} (\alpha \vartheta U + K_{\lambda TP} U_{\lambda TP} + K_{TPP} U_{TPP} + K_{CT} U_T), \quad (2.13)$$

$$E = \frac{L}{G_{cp}} (\alpha \vartheta U t_{Tco} + K_{\lambda TP} U_{\lambda TP} \theta_{\lambda TP} + K_{TPP} U_{TPP} \theta_{TPP} + K_{CT} U_T t_{n_i}). \quad (2.14)$$

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

$$t_1 = \frac{\vartheta_2}{B} - \frac{1-B}{B(A+\Delta\varphi C)} \left[E + \Delta\varphi B E' + \frac{\sum Q_{mi}}{G_{cp}} \pm L \sin \varphi \left(\frac{T}{T} + 9,76 \cdot 10^{-3} \right) \right]. \quad (2.15)$$

Значения комплексов B , B^0 и T в формулах (2.10)–(2.15), коэффициентов и величин $\theta_{\lambda co}$, θ_1 и θ_2 определяются по формулам подраздела 1.5.

2.3. Пример теплового расчета выработки с термальными водами.

2.3.1. Исходные данные. Расчет проводится на примере шахты "Тиварчельская" 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 $t_1 = 18^\circ\text{C}$, $t_2 = 27,2^\circ\text{C}$; 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 $Q = 900$ м³/мин, $P = 722,5$ мм рт.ст.,; $S = 12,6$ м²; дебит термальных вод $G_T = 370000$ кг/ч.

2.3.1.1. Расчетный участок расположен в порфиритовой свите байоса; согласно табл. 2.1 теплофизические свойства горных пород $c = 0,2$ ккал/кг.⁰C; $\alpha = 0,00357$ м²/ч;

$\lambda = 1,926$ ккал/м.ч.⁰C и плотность горных пород $\gamma = 2700$ кг/м³; 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 $t_T = 42^\circ\text{C}$.

2.3.1.2. Геометрические характеристики выработки: периметр вычисляется по формуле (1.2)

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

эквивалентный радиус сечения горной выработки по формуле (1.3)

$$R_0 = \frac{2 \cdot 12,6}{13,5} = 1,87 \text{ м.}$$

2.3.1.3. Плотность воздуха на расчетном участке определяется по формуле (1.10)

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

2.3.1.4. Весовой расход воздуха на расчетном участке

$$G = 900 \cdot 1,102 \cdot 60 = 59508 \text{ кг/ч.}$$

2.3.1.5. Естественная температура термальных вод на гор. +504м определяется по формуле (2.6)

$$t_T = 32 + \frac{700}{70} = 42^\circ\text{C.}$$

2.3.1.6. 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 $G_T = 0,99$.

2.3.1.7. Средняя температура термальных вод на расчетном участке определяется по формуле (2.8)

$$t_{T_{ср}} = 0,25 \cdot 42 (1 + \sqrt{0,99})^2 = 41,83^\circ\text{C.}$$

2.3.1.8. Расчетное время проветривания участка определяется по формуле (1.17)

$$\tau = \frac{36000 + 19200 + 2\sqrt{36000 \cdot 19200}}{4} = 26950 \text{ ч.}$$

2.3.1.9. Средняя скорость воздуха на расчетном участке определяется по формуле (1.10)

$$V_{\text{ср}} = \frac{0,900}{60 \cdot 12,6} = 1,2 \text{ м/с.}$$

2.3.2. Коэффициент теплоотдачи рассчитывается по формуле (1.39)

$$\alpha = 2,1,5 (1,102 \cdot 1,2)^{0,8} \cdot \left(\frac{13,5}{12,6} \right)^{0,2} = 3,80 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C},$$

где коэффициент шероховатости принят $\varepsilon = 1,5$ согласно п.1.2.2.1

2.3.3. Тепловыделение от местных источников тепла. Местные источники тепла, кроме окислительных процессов, отсутствуют. По формуле (1.62)

$$\sum Q_{\text{ми}} = Q_0 = 3 \cdot 13,5 \cdot 1400 = 56700 \text{ ккал/ч}$$

принято, что $Q_0 = 3 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч}$.

2.3.4. Значение критериев Био и Фурье определяется по формулам (1.79) и (1.82)

$$Bi = \frac{3,80 \cdot 1,87}{1,926} = 3,7 ;$$

$$Fo = \frac{0,00357 \cdot 26950}{1,87^2} = 27,5 .$$

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)

$$\vartheta = 1,0 \left[0,37 + (1 - 0,37) e^{-\frac{3,663 \cdot 27,5}{3,7}} \right] = 0,37,$$

где значения коэффициентов $\alpha_{\tau} = 0,37$ и $C_{\tau} = 3,663$ 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 (2.11) и (2.12) $K_{\tau} = 0$, тогда

$$A = \frac{3,80 \cdot 0,365 \cdot 13,5 \cdot 1400}{59508 \cdot 0,24} = 1,82 ;$$

$$B = 1,82 \cdot 41,83 = 76,172.$$

2.3.7. По формуле (1.103) определяется значение комплекса Б.

$$B = \frac{1542 \cdot 1,425}{722,5 - 24,2} = 3,147.$$

2.3.8. Приращение относительной влажности на расчетном участке согласно (1.100) составляет

$$\Delta \varphi = 0,99 - 0,97 = 0,02.$$

2.3.9. Так как $\Delta \varphi \neq 0$, то комплекс В вычисляется по формуле (1.99)

$$B = \left(\frac{1 + 3,147 \cdot 0,97}{1 + 3,147 \cdot 0,99} \right) \left(1 + \frac{1,82}{0,02 \cdot 3,147} \right) = 0,636.$$

2.3.10. Расчетный участок горизонтальный, поэтому значение величины Т не вычисляется. По формуле (2.10) определяется температура воздуха в конце расчетного участка.

$$t_2 = 18,0,636 + \frac{1 - 0,636}{1,82 + 0,02 \cdot 3,147} \left[76,172 + 0,02 \cdot 3,147 \times \right. \\ \left. \times 8,07 + \frac{56700}{59508 \cdot 0,24} \right] = 27,0^\circ \text{C}.$$

3. МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ ШАХТ СКВЕРА

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 тепло-влажностных 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, °C		
	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
Джебариканская (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
Тиком (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

$$t = t_{\text{ср год}} + A_t \sin \frac{2\pi\tau'}{\omega'}; \quad (3.1)$$

$$\varphi = \varphi_{\text{ср год}} + A_\varphi \sin \frac{2\pi\tau'}{\omega'}, \quad (3.2)$$

где $t_{\text{ср год}}, \varphi_{\text{ср год}}$ — 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.

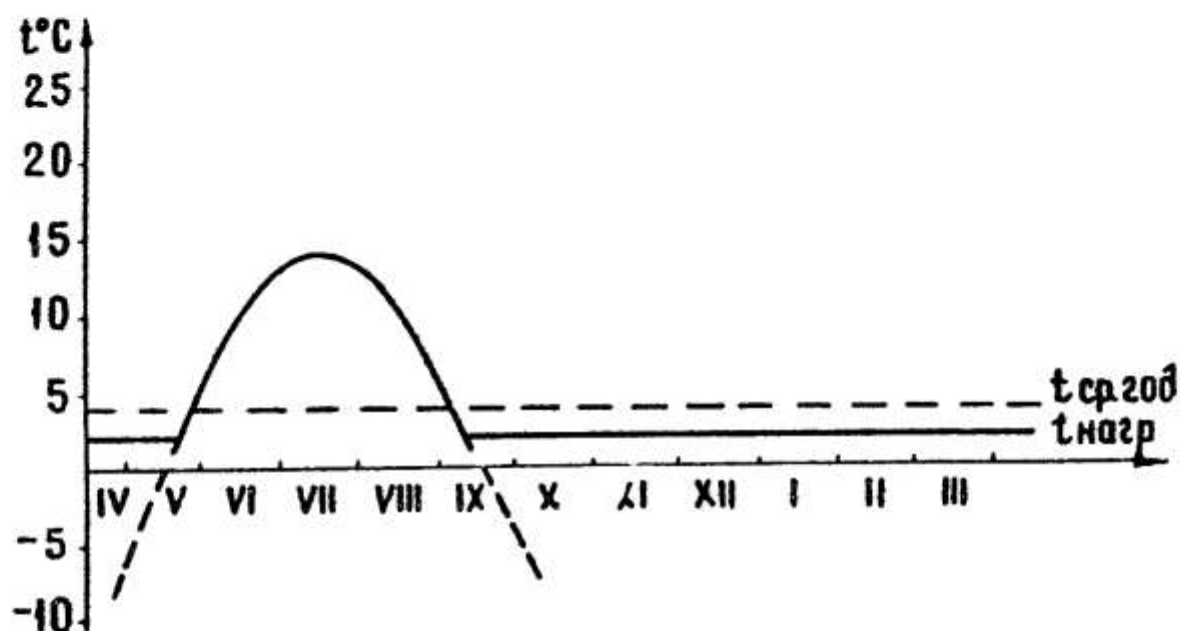


Рис. 3.1. Сочетание гармонического и линейного законов изменения температуры воздуха

3.1.3. 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 $+2^{\circ}\text{C}$ относительная влажность смеси воздуха, подаваемого в стволы 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.

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

3.1.5. Значения расходов воздуха в выработках принимаются по данным проекта вентиляции или шахтных замеров.

3.1.6. Естественная температура горных пород в начале каждой выработки (отсчет следует вести по направлению движения свежей струи) определяется по формуле

$$t_n = t_0 + G(H - h_0), \quad (3.3)$$

где t_0 — температура горных пород на глубине залегания нейтрального слоя (зоны постоянной температуры), принимается близкой к среднегодовой температуре атмосферного воздуха для данной местности, $^{\circ}\text{C}$;
 h_0 — 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, $^{\circ}\text{C}$	Мощность многолетней мерзлоты, м	Геотермический градиент, $^{\circ}\text{C}/\text{м}$
1	2	3	4
Согинское (Тикси)	-10,5	600–700	0,020
Наташкинское (рудник им. Матросова)	-4,0	500	0,022
Джебарик-Хая	-5,0–6,0	350–450	0,027
Кангалааское	-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
Аркагадинское	-7,0–4,0	30–250	0,031
Аллах-Юнь	-4,0	200	0,026
Им. Лазо	-9,0–3,0	150–110	0,022

I	1	2	1	3	1	4
Печерский угольный бассейн (Вс.жута)	до -1,5			до 120		0,020
Чульмаканское	до -1,0			до 150		0,030
Анадырское	-6,0-5,0			90-150		0,028

3.1.7. Теплофизические свойства горных пород – теплопроводность, температуропроводность, удельная теплоемкость, их плотность и влажность (льдистость) – принимаются в соответствии с данными исследований, полученными для соответствующих горно-промышленных 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 α следует использовать их эффективные значения ($c\gamma$) эф, λ эф и α эф.

3.1.7.1. 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

$$(c\gamma)_{эф} = \frac{\sum_{i=1}^n c_i \gamma_i V_i}{\sum_{i=1}^n V_i}, \quad (3.4)$$

где V_i – объемы различных пород в зоне влияния выработки, м³.

3.1.7.2. Коэффициент теплопроводности λ эф определяется в зависимости от типа неоднородностей и места их расположения относительно выработки (рис. 3.2).

Теплофизические характеристики горных пород

Наименование горной породы	Влаж- ность W , %	Плотность γ , кг/м ³	Теплофизические свойства в состоя- нии талом/мерздом		
			$\alpha \cdot 10^3$, м ² /ч	λ , ккал/м.ч. °С	C , ккал/кг. °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
Супесъ	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 плот- ный	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 слан- цы	2	2500	3,0/3,0	1,5/1,5	0,2
	6	2500	2,9/3,1	1,6/1,7	0,22

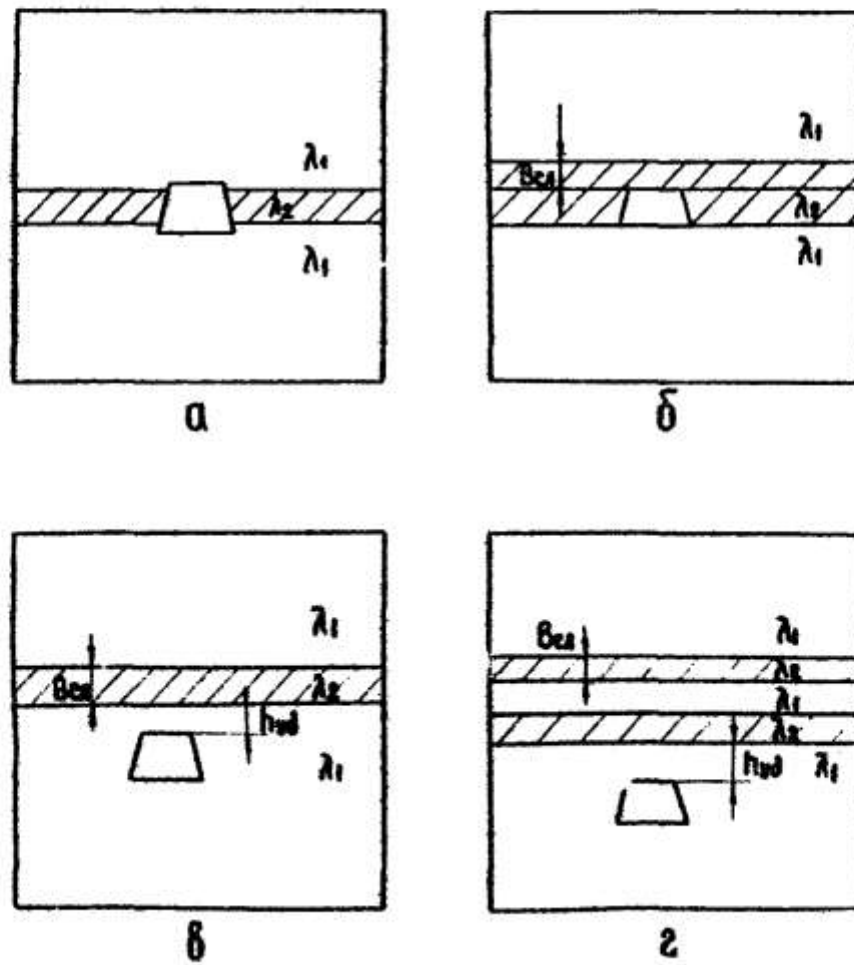


Рис. 3.2. Схемы и расчету эффективной теплопроводности неоднородного массива

Выработка пройдена по тонкому слою (рис. 3.2, а)

- при $\lambda_1 \leq 3 \lambda_2$

$$\lambda_{эф} = \frac{\lambda_1 U_n + \lambda_2 U_y}{U_n + U_y}, \quad (3.5)$$

- при $\lambda_1 > 3 \lambda_2$

$$\lambda_{эф} = \frac{\lambda_1 (U - U_y) + \lambda_2 U_y}{U - 0,5 U_y}, \quad (3.6)$$

где λ_1, λ_2 - соответственно коэффициенты теплопроводности пород и угля, ккал/м.ч.⁰С ;

U_n, U_y - 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)

$$\lambda_{эф} = K_{стр} \frac{\lambda_{эфк} (U - U_y + \lambda_2 U_y)}{U}, \quad (3.7)$$

где $K_{стр}$ - структурный коэффициент, учитывающий неоднородность теплофизических характеристик

$$K_{стр} = 0,7 + 0,5 \frac{\lambda_2}{\lambda_1}, \quad (3.8)$$

где $\lambda_{эфк}$ - эффективный коэффициент теплопроводности пород кровли (почвы)

$$\lambda_{эфк} = \frac{6 \lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 b_{сл} + \lambda_2 (6 - b_{сл})}, \quad (3.9)$$

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)

$$\lambda_{эф} = K_{стр} \frac{\lambda_{эфк} U_k + \lambda_1 (U - U_k)}{U}, \quad (3.10)$$

где U_k - ширина кровли выработки, м

- при $h_{чд} < 4$ м

$$K_{стр} = 0,8 + 0,07 h_{чд}, \quad (3.11)$$

- при $h_{чд} \geq 4$ м

$$K_{стр} = 1,08, \quad (3.12)$$

где $h_{чд}$ - расстояние от слоя до кровли (почвы) выработки, м.

$\lambda_{эфк}$ определяется по формуле (3.9).

В кровле (почве) выработки равномерно перемеживаются породные прослойки с λ_1 и λ_2 (рис. 3.2, г)

$$\lambda_{эф} = K_{стр} \frac{\lambda_{эфк} U_k + \lambda_1 (U - 1,5 U_k)}{U - 0,5 U_k}, \quad (3.13)$$

$$K_{стр} = 0,51 + 0,07 h_{чд} - 0,2 \frac{b_{сд}}{\sum b_{сд}}, \quad (3.14)$$

где $\sum b_{сд}$ - суммарная мощность прослоек угля, залегающих в кровле (почве) выработки, м.

3.1.7.3. Эффективный коэффициент температуропроводности определяется по формуле

$$\alpha_{эф} = \frac{\lambda_{эф}}{(c\gamma)_{эф}}. \quad (3.15)$$

3.1.8. Расчетное время проветривания.

Расчетное время проветривания горных выработок определяется по формулам, приведенным в п.1.1.11.

3.2. Расчет тепловыделений местных источников в горных выработках.

3.2.1. Тепловыделения при работе электрических машин, механизмов и оборудования определяются по формулам, приведенным в разделе 1.2. В последующих пунктах настоящего раздела приведены зависимости по определению тепловыделений, характерных для условий разработки шахт Севера.

3.2.2. Тепловыделение при работе погрузочных машин

$$Q_{\text{пг}} = 860 K_z N - 2,34 A_{\text{ф}} h_r, \quad (3.16)$$

где K_z — коэффициент загрузки машины во времени, принимается равным $K_z = 0,3 - 0,7$;

$A_{\text{ф}}$ — фактическая производительность погрузочной машины, т/ч;

h_r — высота погрузки, м.

3.2.3. Тепловыделения от работы машины с дизельным приводом

$$Q_{\text{диз}} = K_z G_{\text{диз}} q_{\text{диз}}, \quad (3.17)$$

где $G_{\text{диз}}$ — средний расход дизельного топлива, кг/ч;

$q_{\text{диз}}$ — теплота сгорания 1 кг дизельного топлива, ккал/кг.

3.2.4. Тепловыделения от адиабатического сжатия воздуха

$$Q_{\text{ад}} = \frac{G(H_2 - H_1)}{427}, \quad (3.18)$$

где

$$G = 3600 \gamma v \delta. \quad (3.19)$$

Плотность воздуха γ определяется по формуле (1.40).

3.2.5. Теплообмен воздушного потока с подземными трубопроводами.

Теплопотери от трубопровода определяются по формуле

$$Q_{\text{тр}} = \kappa_{\text{три}} U_{\text{тр}} (t - \theta_{\text{ср}}) L, \quad (3.20)$$

где $\theta_{\text{ср}}$ - средняя температура подвижного агента в трубопроводе, $^{\circ}\text{C}$;

$$U_{\text{три}} = 3,14 (d_{\text{вн}} + 2\delta_{\text{тр}} + 2\delta_{\text{из}}), \quad (3.21)$$

где $\delta_{\text{тр}}, \delta_{\text{из}}$ - толщины соответственно стенки трубопровода и теплоизоляции, м;

$\kappa_{\text{три}}$ - коэффициент теплопередачи от подвижного агента в теплоизолированном трубопроводе к воздуху, $\text{ккал}/\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C}$;

$$\kappa_{\text{три}} = \frac{1}{\frac{d_{\text{вн}}}{\lambda_{\theta} d_{\text{вн}}} + \frac{\delta_{\text{тр}}}{\lambda_{\text{тр}}} + \frac{\delta_{\text{из}}}{\lambda_{\text{из}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{тр}}}}, \quad (3.22)$$

где $\lambda_{\text{из}}$ - коэффициент теплопроводности материала изоляции, $\text{ккал}/\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C}$;

$$\lambda_{\theta} = 0,023 \frac{\lambda_a (\omega d_{\text{вн}})^{0,25}}{v_a} \left(\frac{v_a}{\alpha_a} \right)^{0,2}, \quad (3.23)$$

где v_a - кинематическая вязкость подвижного агента, $\text{м}^2/\text{ч}$;

λ_a, α_a - коэффициенты теплопроводности, температуропроводности подвижного агента, $\text{ккал}/\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C}$, $\text{м}^2/\text{ч}$;

ω - скорость подвижного агента в трубопроводе, м/с.

Коэффициент теплоотдачи от трубопровода к воздушному потоку определяется по формуле

$$\alpha_{\text{тр}} = \alpha_k + \alpha_p + \alpha_m. \quad (3.24)$$

Значение конвективной составляющей коэффициента теплоотдачи определяется по формуле (1.69), а радиационной составляющей — по формуле (1.72), в которой

$$t_{ст} = t_1 + \frac{K_{\tau}}{\alpha} (t_n - t_1); \quad (3.25)$$

$$t_{тр} = t_1 - \frac{K'_{трн}}{\alpha_K} (t_1 - \theta_1); \quad (3.26)$$

$$K'_{трн} = \frac{1}{\frac{d_n}{\alpha_{\theta} d_{вн}} + \frac{\delta_{тр}}{\lambda_{тр}} + \frac{\delta_{из}}{\lambda_{из}} + \frac{1}{\alpha_K}}. \quad (3.27)$$

Коэффициент нестационарного теплообмена K_{τ} в выражении (3.25) определяется по формулам (1.71), (3.36) или (3.37) в зависимости от времени проветривания выработки.

Массообменная составляющая коэффициента теплоотдачи определяется по формуле

$$\alpha_m = 2,5 \alpha_n \frac{\varphi_1 p_n^{t_1} - p_n^{t_{тр}}}{t_1 - \theta_1}, \quad (3.28)$$

где $p_n^{t_1}, p_n^{t_{тр}}$ — парциальное давление водяного пара соответственно при температуре воздуха и стенки трубопровода, мм рт.ст.; определяется по табл. П.2 или рассчитывается по формуле (1.41).

3.3. Нестационарный теплообмен воздушного потока с горным массивом.

3.3.1. Тепловой поток от горного массива к воздушному потоку в общем виде можно записать

$$Q_n = K_{\varphi} K_{\tau} K_{\alpha_{гр}} [t_n - t(\tau)] \alpha L, \quad (3.29)$$

где K_{φ} — коэффициент, учитывающий разницу между расчетным параметром и действительной теплообменной поверхностью выработки. Для выработок без крепи $K_{\varphi} = 1,5$; при дере-

вальной крепи взбегу $K_p = 1,3$, сплошную — $K_p = 1,2$;
 K_{agr} — коэффициент, учитывающий интенсификацию теплообмена в период оттаивания (промерзания) окружающих выработку мерзлых (талых) пород. При одинаковом знаке температур воздуха и окружающих пород следует принимать $K_{agr} = 1$.

При постоянной температуре воздуха K_{agr} определяется по формуле

$$K_{agr} = 1 + \frac{1 - K_E K_p (1 + K_T)}{K_E K_p (1 + K_T) (1 + 0,5 \sqrt{Fo_T})}, \quad (3.30)$$

где K_E — коэффициент теплопроводности талого грунта по отношению к его промерзшей части;

$$K_E = \sqrt{\frac{\lambda_T c_T \rho_T}{\lambda_M c_M \rho_M}}, \quad (3.31)$$

Fo_T — критерий Фурье;

$$Fo_T = \frac{a_M \tau_T}{R_0^2}, \quad (3.32)$$

$\lambda_M, c_M, \rho_M, \lambda_T, c_T, \rho_T$ — теплофизические характеристики соответственно мерзлой и талой породы;

τ_T — время оттаивания (замерзания), ч;

K_T — температурный симплекс;

$$K_T = \frac{t_n - t_a}{t_a - t}, \quad (3.33)$$

t_a — температура агрегатных переходов (таяния, замерзания воды, рассола), °C

При переменной температуре воздуха в горной выработке за период оттаивания (замерзания) τ_T за t принимается средняя температура воздуха.

K_p — коэффициент, являющийся функцией значения K_T и критерия Лоссовича

$$K_p = \frac{\tau' W \rho_T}{c_M \rho_M (t_a - t)}, \quad (3.34)$$

где W — влажность породы (доли единицы);

Значение коэффициента K_p определяется по табл. П.5. Для ориентировочных расчетов K_p в диапазоне изменения $K_T = 0,5 \div 16$ можно использовать формулу

$$K_p = \left[6,43 K_T^{1,36} + (0,133 K_T + 1,77) K_0 \right]^{-0,5} \quad (3.35)$$

3.3.2. Коэффициент нестационарного теплообмена рассчитывается в зависимости от закона изменения температуры поступающего в выработки воздуха.

3.3.2.1. При постоянной температуре поступающего воздуха в течение всего срока существования выработок, проветриваемых до года, и расчете среднегодовых температур коэффициент K_T определяется по формуле (1.78).

В выработках, проветриваемых более года, коэффициент K_T определяется по формулам:

$$K_T = 0,75 \frac{\mathcal{L}_{кр}^{0,06} \lambda_{зп}^{0,71}}{(R_0 + \delta_{кр})^{0,48}} \left(\frac{c_{зп}}{\tau} \right)^{0,23}; \quad \tau = 1 \div 10 \text{ лет}; \quad (3.36)$$

$$K_T = 0,63 \frac{\mathcal{L}_{кр}^{0,05} \lambda_{зп}^{0,71}}{(R_0 + \delta_{кр})^{0,59}} \left(\frac{c_{зп}}{\tau} \right)^{0,18}; \quad \tau > 10 \text{ лет}, \quad (3.37)$$

где $\mathcal{L}_{кр}$ — коэффициент теплоотдачи от поверхности выработки к воздуху с учетом термического сопротивления крепи, ваттики и забутовки, ккал/м²·ч·°С.

$$\mathcal{L}_{кр} = \frac{1}{U} \left[(U - U_{кр}) \mathcal{L} + \frac{\frac{d_{кр}}{l_{кр}} U_{кр}}{\frac{1}{\mathcal{L}} + \frac{\delta_{кр}}{\lambda_{кр}} + \frac{\delta_{зат}}{\lambda_{зат}} + \frac{\delta_{зав}}{\lambda_{зав}}} + \frac{U_{кр} - \frac{d_{кр}}{l_{кр}} U_{кр}}{\frac{1}{\mathcal{L}} + \frac{\delta_{зат}}{\lambda_{зат}} + \frac{\delta_{зав}}{\lambda_{зав}}} \right], \quad (3.38)$$

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 затылки и забутовки, м;
 $\lambda_{зат}, \lambda_{заб}$ - коэффициенты теплопроводности соответственно материалов затылки и забутовки, ккал/м.ч.°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 (минимальные температуры)

при $t_{ср год} < t(\tau)$

$$K_{\tau} = \rho \left[6,4 + 0,1 L_{кр} + \frac{t_{n1} + t_{n2}}{t_{ср1} + t_{ср2}} + n_1 \operatorname{ctg} \frac{2\pi(\tau_1 - \delta\tau_t)}{8760} \right]; \quad (3.39)$$

для зимнего периода

при $t_{ср год} > t(\tau)$

$$K_{\tau} = \rho \left[1,02 + 0,1 L_{кр} - 2,6 \frac{t_{n1} + t_{n2}}{t_{ср1} + t_{ср2}} + n_3 \operatorname{ctg} \frac{2\pi(\tau_1 - \delta\tau_t)}{8760} \right], \quad (3.40)$$

где

$$\rho = \frac{0,8 + 0,59 \lambda}{8,2 + 4,5 R_0}; \quad (3.41)$$

$$n_1 = 3 + 0,07 L_{кр} + 3,6 \frac{\tau_1 - \delta\tau_t}{8760}; \quad (3.42)$$

$$n_3 = 4,6 + 0,09 L_{кр} - 3,6 \frac{\tau_1 - \delta\tau_t}{8760}; \quad (3.43)$$

$\delta\tau_t$ - фазовое отставание сезонных колебаний температуры на расстоянии $\sum L$ от начала вентиляционного пути. Рекомен-

мендуется учитывать только для шахт, пройденных в вечно-мерзлых породах;

$$\delta\tau_t = 5 \cdot 10^{-4} \frac{\sum L}{G}; \quad (3.44)$$

t_{n_1}, t_{n_2} - естественная температура горных пород в начале и конце выработки, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{сг_1}, t_{сг_2}$ - температуры поверхности выработки в начале и конце, $^{\circ}\text{C}$.

$$t_{сг_1} = t_{1\text{ср год}} + \frac{K_{\text{агр}} K_{\tau}}{\mathcal{L}_{\text{кр}}} (t_{n_1} - t_{1\text{ср год}}); \quad (3.45)$$

$$t_{сг_2} = t_{2\text{ср год}} + \frac{K_{\text{агр}} K_{\tau}}{\mathcal{L}_{\text{кр}}} (t_{n_2} - t_{2\text{ср год}}). \quad (3.46)$$

Значения коэффициентов $K_{\text{агр}}$, K_{τ} в формулах (3.45) и (3.46) определяются по уравнениям (3.30)–(3.35) и (1.78), в котором вместо $\mathcal{L}$ подставляется значение $\mathcal{L}_{\text{кр}}$ вычисленное по формуле (3.38).

За расчетную температуру горного массива следует принимать среднегодовое значение температуры рудничного воздуха ($t_{\text{ср.год}}$).

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. 3.1). 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

$$K_{\tau} = K'_{\tau} \frac{t_{n_1} - t_{1\text{ср год}}}{t_{n_1} - t_1} + K_{\tau_1} \frac{t_{1\text{ср год}} - t_1}{t_{n_1} - t_1}, \quad (3.47)$$

где K'_{τ} , K_{τ_1} - определяются соответственно при значениях времени τ и τ_1 по формулам (1.78) и (3.30)–(3.35);
 t'_1 - текущее средневзвешенное значение температуры воздуха за время τ_1 в начале каждого расчетного участка, $^{\circ}\text{C}$.

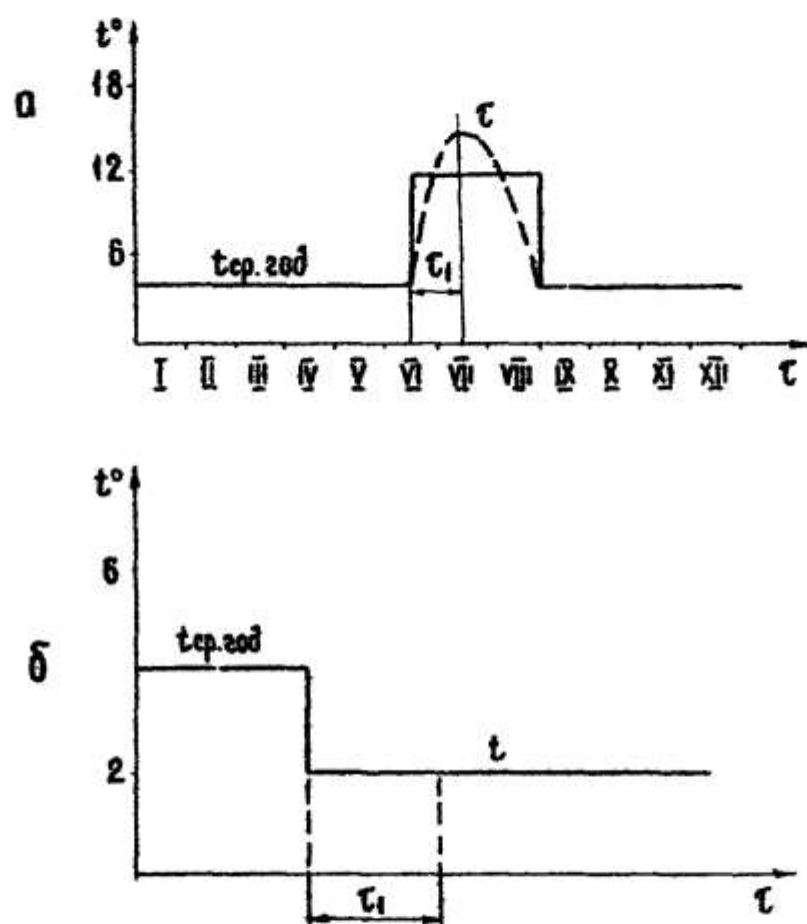


Рис. 3.3. Расчетная схема и определение K_τ при сложном законе изменения температуры рудничного воздуха: а - в летний период; б - в зимний период.

За расчетную температуру горного массива принимается естественная температура горных пород (t_n).

Зависимость (3.47) может быть также использована для нахождения коэффициента нестационарного теплообмена в случае усте овки в начале расчетного участка в момент времени $\tau - \tau_1$ воздухоохлаждителя (калорифера).

3.3.2.4. Коэффициент нестационарного теплообмена для выработок, пройденных в неоднородном массиве при небольшом времени проветривания ($\tau < 100$ ч), рассчитывается по формулам (1.86) - (1.87) или (1.88).

3.3.3. Нестационарный теплообмен воздушного потока с добытым полезным ископаемым.

Удельный тепловой поток от транспортируемого ископаемого к воздуху равен

$$q_{\tau} = K_{\text{агрт}} K_{\tau} U_{\tau c} (t'_n - t), \quad (3.48)$$

где q_{τ} - удельное тепловыделение от транспортируемого ископаемого, ккал/ч.м.;

$U_{\tau c}$ - периметр теплообмена транспортируемого ископаемого с воздухом, м;

$$U_{\tau c} = b_{\tau c} A_{\tau}; \quad (3.49)$$

A_{τ} - грузопоток транспортируемого ископаемого, т/ч;

$b_{\tau c}$ - коэффициент перехода от грузопотока к средней по времени ширине "полосы" транспортируемого ископаемого; для конвейеров принимается $b_{\tau c} = 0,016$, для вагонеток $b_{\tau c} = 0,001$.

При скреперной доставке и в очистных забоях со взрывной отбойкой вместо $b_{\tau c}$ и A_{τ} в формулы (3.48) и (3.49) подставляется средняя ширина поверхности отбитого ископаемого.

K_{τ} - коэффициент нестационарного теплообмена между транспортируемым ископаемым и воздушным потоком, ккал/м².ч.°С; для лав рассчитывается по формуле (1.89), для других выработок - по формуле (1.92).

t'_n - температура транспортируемого ископаемого, °С. Ориентировочно принимается равной естественной температуре горных пород t_n ;

$K_{агрт}$ - коэффициент интенсивности теплообмена при изменении агрегатного состояния в промерзающем (или оттаивающем) транспортируемом ископаемом;

$$K_{агрт} = 1 + 0,09 \left(\frac{W_T}{C_T} \right)^{0,73}, \quad (3.50)$$

где W_T - весовая влажность (льדיстость) транспортируемого ископаемого, %;

C_T - удельная теплоемкость транспортируемого ископаемого, ккал/кг.°С.

При одинаковом знаке абсолютных величин температур воздуха (t) и транспортируемого ископаемого (t_T) $K_{агрт} = 1,0$.

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

$$t_2 = B t_{n2} - \frac{B t_{n1} t_1 - \frac{B-BK}{A} [\exp(AL) - 1]}{\exp(AL)}, \quad (3.51)$$

где

$$A = \frac{1}{m} [K_\phi K_{агрт} K_\tau U + K_{агрт} K_\tau U_{тс} + K_{тр} U_{тр} + K_b U_b]; \quad (3.52)$$

$$B = \frac{K_\phi K_{агрт} K_\tau U}{Am}; \quad (3.53)$$

$$K = \frac{t_{n2} - t_{n1}}{L}; \quad (3.54)$$

$$B = \frac{1}{m} [K_{агрт} K_\tau U_{тс} t'_n + K_{тр} U_{тр} \theta_{ср} + \sum q_a - G(\tau + \tau') \alpha_1 \beta]; \quad (3.55)$$

III

$$m = G \left[c_p + (1 + \gamma) n_c \varphi_2 \frac{760}{P_2} \right]; \quad (3.56)$$

$$\Sigma q_a = \frac{Q_{a2} + Q_3 + Q_m + Q_A + Q_b}{L}; \quad (3.57)$$

$$\beta_c = \frac{P_1 \varphi_2 - P_2 \varphi_1}{P_2 \varphi_1 L}; \quad (3.58)$$

$$d_1 = 622 \frac{\varphi_1 P_n^{t_1}}{P_1 - \varphi_1 P_n^{t_1}}, \quad (3.59)$$

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, °C	n_c	Диапазон изменения температуры, °C	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 $\Delta t \leq 5^\circ\text{C}$ в диапазоне температур от 0 до 35°C коэффициент n_c можно рас-

считывать по формуле

$$n_c = 0,00125 t_1^2 + 0,0095 t_1 + 0,341, \quad (3.60)$$

Расчет средней температуры подвижного агента в трубопроводе ($\theta_{ср}$), входящей в комплекс В, производится по формуле (1.110) в которой значение величины $A_{тр}$ для теплоизолированного трубопровода определяется по формуле

$$A_{тр} = \frac{K_{тр} U_{тр}}{G_{тр} C_{тр}}, \quad (3.61)$$

где $U_{тр}$ — 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_{n_1} , t_{n_2}), а коэффициент нестационарного теплообмена рассчитывается в зависимости от срока существования выработок по формулам (1.3) или (3.36) и (3.37). Остальные параметры, характеризующие тепловой режим выработок, следует принимать равными среднемугодовым 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. 3.1) 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

$$t_1 = B t_{n_1} - (B t_{n_2} - t_2) \exp(AL) + \frac{B - BK}{A} [\exp(AL) - 1]. \quad (3.62)$$

В качестве средних температур $\theta_{\text{ср}}$ 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

$$\theta_2 = t_2 - \frac{t_1 - \theta_1 + \frac{t_2 - t_1}{A_{\text{тр}} L} [\exp(A_{\text{тр}} L) - 1]}{\exp(A_{\text{тр}} L)}. \quad (3.63)$$

Значение величины $A_{\text{тр}}$ определяется по формуле (3.61).

После определения величины θ_2 производится сопоставление результатов расчетов с принятой величиной допустимой погрешности, согласно условию (1.118). При величине ошибки большей заданного значения $\Delta\theta$, расчеты по определению B , t_2 и θ_2 повторяются пока не будет удовлетворено условие (1.118).

3.5. Пример теплового расчета угольной шахты Севера.

3.5.1. 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 r зимой и летом. Закон изменения температуры подаваемого воздуха (3.1)

$$t = -10 + 30 \sin \tau \cdot \frac{2\pi\tau}{8760}, \quad ^\circ\text{C};$$

б) подогрев воздуха в холодный период года до $+2^\circ\text{C}$ с увлажнением воздуха до $\varphi_0 = 0,6$. Изменение температуры воздуха, подаваемого в выработки, показано на рис. 3.4. Среднегодовая температура воздуха $+4^\circ\text{C}$. Среднегодовая температура $+12^\circ\text{C}$. Продолжительность

Таблица 3.5

Основные исходные данные выработок расчетного маршрута

Исходные данные	Участок маршрута				
	0-поверх- ность	I-ствол	2-квер- шлаг	3-штрек	4-лава
Глубина, м	0	400	400	400	280
Длина, м	-	400	1040	1150	200
Сечение, м ²	-	8,6	10,4	6,0	6,0
Периметр, м	-	12,4	13,6	10,0	10,0
Температура пород- ного массива в кон- це участка, °C	-10,5	-2,7	-0,5	-0,5	-1,7
Время проветрива- ния, ч	-	140000	130000	40000	0 + 72
Скорость воздуха, м/с	-	3,1	2,5	2,2	2,0
Производительность транспорта по вы- работке, т/ч	-	100	100	30	30
Вид транспорта	-	скиповой подъем	электровозн. откатка	Электро- возн. от- катка	само- тек
Средняя продолжи- тельность тран- спортирования по- род от забоя до участка, ч	-	0,3	0,25	0,15	0,02
Мощность электро- оборудования 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 влаж- ность воздуха					
среднегодовая	0,7	0,65	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 $\approx 4,5$ мес.

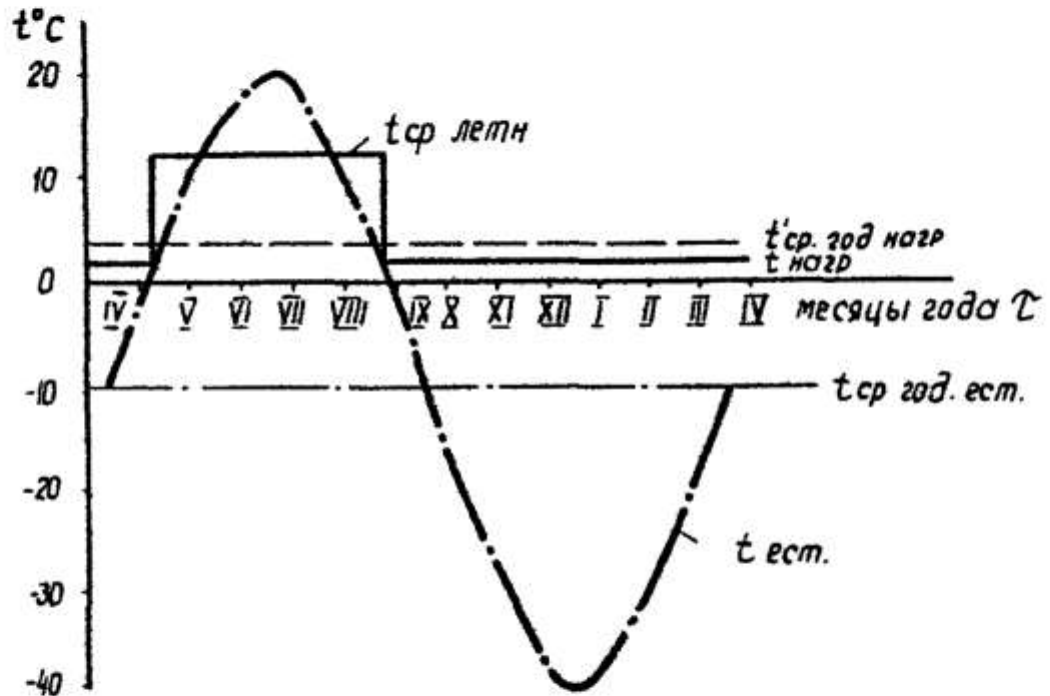


Рис. 3.4. Графики изменения температуры воздуха, поступающего в шахту в течение года

3.5.2. Расчет максимальной температуры воздуха при естественном тепловом режиме.

3.5.2.1. Ствол. Парциальное давление насыщенного пара в воздухе, подаваемом в ствол для среднегодового значения температуры $t_{ср год} = -10^\circ\text{C}$, определяется по формуле (1.41).

$$p_{н1} = \exp \frac{360 - 18.7 \cdot 10}{236 - 10} = 2,1 \text{ мм рт.ст.}$$

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 (1.40)

$$\gamma = 0,464 \frac{760 - 0,7 \cdot 2,1}{-10 + 273} = 1,4 \text{ кг/м}^3.$$

Весовой расход воздуха (3.19)

$$G = 3600 \cdot 1,4 \cdot 3,1 \cdot 8,6 = 133000 \text{ кг/ч}.$$

Тепловыделения от адиабатического сжатия воздуха в стволе (3.18)

$$Q_{ad} = \frac{133000 \cdot 400}{427} = 125000 \text{ ккал/ч}.$$

Тепловыделения от электрооборудования в стволе (кабели), с учетом коэффициента потерь $m_3 = 0,004$ (1.25)

$$Q_3 = 860 \cdot 0,004 \cdot 20 = 34,4 \text{ ккал/ч}.$$

Удельные абсолютные тепловыделения (3.57)

$$\Sigma q_a = \frac{125000 + 34,4}{400} = 314 \text{ ккал/ч}$$

В диапазоне ожидаемых изменений температуры воздуха в стволе от -10 до 0°C по табл. 3.4 определяется коэффициент $n_c = 0,19$.

Коэффициент m (3.56)

$$m = 133000 \cdot \left[0,24 + (0,59 + 0,08) \cdot 0,19 \cdot 0,85 \frac{760}{796} \right] = 45200.$$

При $t < 0^\circ\text{C}$ и $t_n < 0^\circ\text{C}$ величина $K_{agr} = 1$.

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 $\varepsilon = 1$ определяется по формуле (1.39)

$$\alpha_s = 2 \cdot 1 \cdot (1,4 \cdot 3,1)^{0,8} \left(\frac{12,4}{8,6} \right)^{0,2} = 7,1 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}.$$

Коэффициент нестационарного теплообмена для ствола определяется по формуле (3.37), так как $\tau > 10$ лет

$$K_\tau = 0,63 \frac{7,1^{0,05} (2,2)^{0,77}}{1,7^{0,59}} \left[\frac{-500}{140000} \right]^{0,18} = 0,26 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}.$$

Коэффициент теплоотдачи транспортируемого полезного ископаемого при периметре скипа $U_\tau = 8 \text{ м}^2$ и площади его сечения $S_\tau = 4 \text{ м}^2$ по формуле (1.39) с учетом (1.93)

$$\alpha_\tau = 2 \cdot 1 \left[1,4 (3,1+7) \right]^{0,8} \cdot \left(\frac{8}{4} \right)^{0,2} = 19,13 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}.$$

Коэффициент теплопроводности транспортируемого ископаемого при коэффициенте разрыхления $K_p = 1,2$ и коэффициенте теплопроводности угля в массиве $\lambda_y = 0,25 \text{ ккал/м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}$ (табл. 3.3) равен

$$\lambda_y = \frac{0,25}{1,2} = 0,21 \text{ ккал/м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}.$$

Коэффициент температуропроводности транспортируемого угля (табл. 3.3)

$$a_y = 0,0007 \text{ м}^2/\text{ч}.$$

Параметр z_τ определяется по (1.94)

$$z_\tau = \frac{19,13}{0,21} \sqrt{0,0007 \cdot 0,3} = 1,32.$$

По (1.83) находится значение $f(z_\tau)$

$$f(z_\tau) = 0,644.$$

Коэффициент $K_{\tau\tau}$ между транспортируемым ископаемым и воздушным потоком в стволе (1.92)

$$K_{\tau\tau} = 19,13 (1 - 0,644) = 6,8 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}.$$

$$K_{\text{агр}} = 1.$$

При величине $\ell_{1c} = 0,001$ (скип-вагонетка), средний периметр поверхности транспортируемого ископаемого (3.49)

$$U_{\text{тс}} = 0,001 \cdot 100 = 0,1 \text{ м}.$$

Параметр А (3.52)

$$A = \frac{1}{45200} [1 \cdot 1 \cdot 0,26 \cdot 12,4 + 1 \cdot 6,8 \cdot 0,1] = 8,6 \cdot 10^{-5}.$$

Параметр Б (3.53)

$$B = \frac{1 \cdot 1 \cdot 0,26 \cdot 12,4}{5200 \cdot 8,6 \cdot 10^{-5}} = 0,835.$$

Параметр В (3.55)

$$B = \frac{1}{45200} [1 \cdot 0,1 \cdot 6,5 \cdot (-1,1) + 314 - 133000 \cdot 0,675 \cdot 1 \cdot 2,4 \cdot 10^{-4}] = 0,006.$$

Параметр К (3.54)

$$K = \frac{-2,7 + 10,5}{400} = 0,0195 \text{ } ^\circ\text{C/м}.$$

Среднегодовая температура воздуха в конце ствола (3.51)

$$t_2 = 0,835 \cdot (-2,7) - \frac{0,835(-10,5) - (-10) - \frac{0,006 - 0,0195 \cdot 0,835}{8,6 \cdot 10^{-5}} \left[\exp(8,6x \rightarrow x \cdot 10^{-5} \cdot 400) - 1 \right]}{\exp(8,6 \cdot 10^{-5} \cdot 400)} = -6,3^\circ\text{C}.$$

Температура поверхности выработки в начале ствола (3.45)

$$T_1 = -10 + \frac{1 \cdot 0,26}{7,1} (-10,5 + 10) = -10^\circ\text{C}.$$

Температура поверхности выработки в конце ствола (3.46)

$$T_p = -6,3 + \frac{I \cdot 0,26}{7,1} (-2,7 + 6,3) = -6,2^\circ\text{C}.$$

Выполним расчеты по изложенной выше методике для летнего периода
 $t_1 = 20^\circ\text{C}$, $\varphi_1 = 0,8$, $\varphi_2 = 0,9$ (табл. 3.5).

$$\rho_n^t = \exp\left(\frac{360 + 18,2 \cdot 20}{236 + 20}\right) = 18,2 \text{ мм рт.ст.};$$

$$d_1 = 622 \frac{0,8 \cdot 18,2}{760 - 0,8 \cdot 18,2} = 12,3 \text{ г/кг};$$

$$\beta_c = \frac{760 \cdot 0,9 - 796 \cdot 0,8}{796 \cdot 0,8 \cdot 400} = 0,00018;$$

$$\gamma = 0,464 \frac{760 - 0,8 \cdot 18,2}{20 + 273} = 1,18 \text{ кг/м}^3;$$

$$G = 3600 \cdot 1,18 \cdot 3,1 \cdot 8,6 = 115000 \text{ кг/ч};$$

$$Q_{a9} = \frac{115000 \cdot 400}{427} = 108000 \text{ ккал/ч};$$

$$Q_3 = 34,4 \text{ ккал/ч};$$

$$\Sigma Q_a = \frac{108000 + 34,4}{400} = 270 \text{ ккал/ч.м};$$

$$n_c = 0,83 \text{ (} t \text{ от 15 до } 20^\circ\text{C)};$$

$$m = 115000 \left[0,24 + 0,59 \cdot 0,83 \cdot 0,9 \cdot \frac{760}{796} \right] = 74000.$$

Коэффициент K_E (3.31), $K_E = 1$.

$\tau_r = 1460$ — время оттаивания пород (определяется по времени от пелюхота t через 0°C до расчетного момента).

Критерий Фурье (3.32)

$$F_{0T} = \frac{4,4 \cdot 10^{-8} \cdot 1460}{1,7^2} = 2,3.$$

Средняя температура воздуха за период оттаивания пород $t_{\text{оттаив}} = 10^\circ\text{C}$.
Температурный симплекс K_T (3.33)

$$K_T = \frac{-10}{-10} = 1.$$

Критерий Коссовича (K_0) (3.34)

$$K_0 = \left| \frac{80 \cdot 0,03 \cdot 2500}{0,2 \cdot 2500 (0-10)} \right| = 1,2.$$

Из табл. II. 5 находим значение κ_β

$$\kappa_\beta = 0,35.$$

Коэффициент интенсификации теплообмена в выработке за счет агрегатных переходов (3.30)

$$K_{\text{агр}} = 1 + \frac{1 - 1 \cdot 0,35 (1 + 1)}{1 \cdot 0,35 (1 + 1) (1 + 0,5 \sqrt{2,3})} = 1,22.$$

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)

$$n_1 = 3 + 0,07 \cdot 7,1 + 3,6 \frac{2190 - 1}{8760} = 4,427.$$

Так как $\frac{2190 - 87}{8760} = 0,24 < 0,3$, принимаем $\frac{t - \delta\tau_t}{8760} = 0,3,$

$$n_1 = 4,627$$

Коэффициент β (3.41)

$$\beta = \frac{0,8 + 0,59 \cdot 2,2}{8,2 + 4,5 \cdot 1,7} = 0,13.$$

Коэффициент нестационарного теплообмена (3.39) $\frac{\tau_1 - \delta \tau_\tau}{8760} = 0,3$

$$K_\tau = 0,13 \left[6,4 + 0,1 \cdot 1 + \frac{-10,5 - 2,7}{-10 - 6,2} + 4,627 \operatorname{ctg}(2\pi \cdot 0,3) \right] =$$

$$= 0,835 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}.$$

$$K_{\tau\tau} = 6,8 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}.$$

Для малых значений времени $Fo \rightarrow 0$ зависимость (3.30) для определения K_{agr} может быть упрощена

$$K_{agr} = \frac{1}{K_\epsilon \cdot K_\beta (1 + K_\tau)};$$

$$K_\epsilon = 1; \quad K_\tau = \frac{-1 \cdot 1}{-20} = 0,05.$$

По (3.34)

$$K_0 = \frac{80 \cdot 0,05 \cdot 1400}{0,25 \cdot 1400(-20)} = 0,8;$$

$$K_\beta = 0,7;$$

$$K_{agr} = \frac{1}{1 \cdot 0,7 (1 + 0,05)} = 1,4.$$

По формулам (3.52), (3.53), (3.55), (3.54), (3.51) рассчитываются значения:

$$A = \frac{1}{74000} \left[1,22 \cdot 1 \cdot 0,835 \cdot 12,4 + 1,4 \cdot 6,5 \cdot 0,1 \right] = 1,83 \cdot 10^{-4};$$

$$B = \frac{1,22 \cdot 1 \cdot 0,835 \cdot 12,4}{2,4 \cdot 10^{-4} \cdot 74000} = 0,93 ;$$

$$B = \frac{1}{74000} \left[1,4 \cdot 6,5 \cdot 0,1 \cdot (-1,1) + 270 - 115000 \cdot 0,595 \cdot 12,4 \cdot 0,00018 \right] = 0,0018 ;$$

$$K = \frac{-6,2 + 10}{400} = 0,01 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{м} ;$$

$$t_2 = 0,93(-6,2) - \frac{0,93(-10) - 20 - \frac{0,0018 - 0,01 \cdot 0,93}{1,83 \cdot 10^{-4}} \left[\exp(1,83 \cdot 10^{-4} \cdot x \cdot 400) - 1 \right]}{\exp(1,83 \cdot 10^{-4} \cdot 400)} = 18,6^\circ\text{C} .$$

3.5.2.2. Определение температуры воздуха для кварцага в штреке производится аналогичным образом. В штреке, пройденном по пласту угля, по формулам (3.6, 3.4, 3.16), определяются эффективные значения тепловых свойств пород:

$$\lambda_{\text{эф}} = \frac{2,2(6-2,4) + 0,25 \cdot 2,4}{6 - 0,5 \cdot 2,4} = 1,75 \text{ ккал/м.ч.}^\circ\text{C} ,$$

$$(c\gamma)_{\text{эф}} = \frac{0,2 \cdot 2500 \cdot 0,88 + 0,25 \cdot 1400 \cdot 0,12}{1} = 480 \text{ ккал/м}^3 \cdot ^\circ\text{C} ;$$

$$a_{\text{эф}} = \frac{1,75}{480} = 3,65 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{ч} .$$

Данные расчетов при определении среднегодовой температуры воздуха по участкам приведены ниже.

Кварцага:
 $\rho_{\text{ш}}^{\text{т}} = 2,8 \text{ мт.ст.}$
 $d_{\text{ш}} = 1,9 \text{ г/кг}$
 $\beta_{\text{ш}} = 1,7 \cdot 10^{-4}$

Откаточный штрек
 3 мт.ст.
 $2,1 \text{ г/кг}$
 0

$\Sigma q_a = 16$ ккал/м.ч	15 ккал/м.ч
$\gamma = 1,4$ кг/м ³	1,4 кг/м ³
$G = 130000$ кг/ч	67000 кг/ч
$m = 45500$	22000
$K_{wp} = 1$	1
$R_o = 1,8$ м	1,4 м
$\alpha = 5,7$ ккал/м ² .ч. ⁰ С	10,8 ккал/м ² .ч. ⁰ С
$K_T = 0,27$ ккал/м ² .ч. ⁰ С	0,32 ккал/м ² .ч. ⁰ С
$\alpha_T = 30$ ккал/м ² .ч. ⁰ С	31 ккал/м ² .ч. ⁰ С
$R_T = 0,7$ м	0,7 м
$\lambda_y = 0,21$ ккал/м.ч. ⁰ С	0,21 ккал/м.ч. ⁰ С
$\alpha_y = 0,7 \cdot 10^{-8}$ м ² /ч	$0,7 \cdot 10^{-8}$ м ² /ч
$z_T = 1,9$	1,45
$f(z) = 0,73$	0,67
$K_{TT} = 4,5$ ккал/м ² .ч. ⁰ С	10 ккал/м ² .ч. ⁰ С
$U_T = 0,1$ м	0,03 м
$A = 9,1 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$
$B = 0,89$	0,95
$B = 0$	$6,7 \cdot 10^{-4}$
$K = 0,002^{\circ}\text{C}/\text{м}$	0
$t_2 = -5,7^{\circ}\text{C}$	$-4,0^{\circ}\text{C}$
$t_{n1} = -6,1^{\circ}\text{C}$	$-5,5^{\circ}\text{C}$
$t_{n2} = -5,5^{\circ}\text{C}$	$-5,9^{\circ}\text{C}$

Данные расчетов при определении среднесильской температуры воздуха

Кверцлаг

$\rho_n^{t_1} = 15$ мм рт.ст.
$d_1 = 10,8$ г/кг
$\beta_c = 0$
$\gamma = 1,25$ кг/м ³
$G = 11800$ кг/ч
$\Sigma q_a = 16$ ккал/м.ч
$m = 84000$
$K_E = 7$
$\tau_T = 1460$ ч
$F_{OT} = 2,0$
$K_{TT} = 1,1$

Откаточный агрегат

11,5 мм рт.ст.
8,3 г/кг
0
1,25 кг/м ³
60000 кг/ч
15 ккал/м.ч.
36000
1
1460
2,7
0,8

$$\begin{aligned}
 |K_0| &= 1,3 \\
 K_\beta &= 0,3 \\
 K_{arp} &= 1,35 \\
 \delta\tau_t &= 190 \text{ ч} \left(\frac{\tau_t - \delta\tau_t}{8760} = 0,3 \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n_1 &= 8,1 \\
 p &= 0,13 \\
 K_T &= 1,3 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C} \\
 K_{T_T} &= 4,5 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C} \\
 K_E &= 1 \\
 K_{T_T} &= 0,06 \\
 |K_0| &= 0,9 \\
 K_\beta &= 0,75 \\
 K_{arp} &= 1,25 \\
 A &= 2,9 \cdot 10^{-4} \\
 B &= 0,99 \\
 B &= 1,8 \cdot 10^{-4} \\
 K &= 0,002^\circ\text{C/м} \\
 t_2 &= 12,0^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &2,3 \\
 &0,3 \\
 &1,4 \\
 &1700 \text{ ч} \left(\frac{\tau_t - \delta\tau_t}{8760} = 0,3 \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &11,8 \\
 &0,12 \\
 &1,4 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C} \\
 &10 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C} \\
 &1 \\
 &0,06 \\
 &1,2 \\
 &0,6 \\
 &1,5 \\
 &1,2 \cdot 10^{-4} \\
 &1 \\
 &4 \cdot 10^{-4} \\
 &0 \\
 &8,3^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

3.5.2.3. Тепловой расчет лавы производится по аналогичной методике, но коэффициент нестационарного теплообмена рассчитывается, как средневзвешенный по периметру при разном 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.

$$\begin{aligned}
 \rho_H^{t_1} &= 8,2 \text{ мм рт.ст.} \\
 d_1 &= 5,4 \text{ г/кг} \\
 \beta_c &\approx 0,00006 \\
 \gamma &= 1,2 \text{ кг/м}^3 \\
 G &= 60000 \text{ кг/ч} \\
 \sum q_d &= 0 \\
 m &= 36000
 \end{aligned}$$

$$\text{Ствол } K_T = 0,26 \frac{-10,5-4}{-10,2-12} + 0,9 \frac{4-12}{-10,5-12} = 0,5 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}.$$

$$\text{Квершлаг } K_T = 0,27 \frac{-2,7-5,3}{-2,7-12,0} + 0,8 \frac{5,3-12}{-2,7-12} = 0,6 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}.$$

$$\text{Итрек } K_T = 0,32 \frac{-0,5-4,3}{-0,5-11} + 0,95 \frac{4,3-11}{-0,5-11} = 0,7 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}.$$

Таблица 3.6

Результаты теплового расчета выработок шахты

Параметр	Значения расчетных параметров на участке			
	ствол	квершлаг	откаточный итрек	лава
$t_1, ^\circ\text{C}$	20	20,1	19,5	13,1
$\rho_{\text{п.ст.}}^{\text{т.п.}}$, 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
Σq_d , ккал/м.ч	270	16	15	0
m	74000	84000	36000	36000
$K_{\text{итр}} (t_{\text{ср}}=4^\circ\text{C})$	1,1	1,12	1,2	2,5
K_T , ккал/м ² ·ч·°C (формула (1.78))	0,26	0,27	0,32	-
τ_1 , ч	1490	1490	1490	-
Z	7,8	7,0	14,8	-
$f(Z)$	0,928	0,92	0,96	-
Bi	4,9	4,4	8,6	-
K_1 , ккал/м ² ·ч·°C (формулы (3.30-3.35))	0,9	0,8	0,95	-
K_T , ккал/м ² ·ч·°C (формула (3.7))	0,7	0,6	0,7	3,0
A	$1 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$3,1 \cdot 10^{-4}$	0,0036
B	0,9	0,9	0,98	0,86
B	0,0018	0,00018	0,0004	$-6 \cdot 10^{-4}$
ζ , °C/м	0,0195	0,002	0	-0,006
t_2 , °C	20,1	19,5	13,1	5,5

$$\begin{aligned}
 R_{\text{агр}} &= 2,5 \\
 R_0 &= 1,4 \text{ м} \\
 \mathcal{L}_1 &= 16 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C} \\
 \mathcal{L}_2 &= 13 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C} \\
 K_{\tau_3} &= 1,5 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C} \\
 K_{\tau_1} &= 5,4 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C} \\
 K_{\tau_2} &= 4,0 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C} \\
 K_{\tau_6} &= 3,2 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Средневзвешенное значение K_{τ} по периметру (1.86)

$$K_{\tau} = \frac{1,75 \cdot 2}{10} + \frac{5,4 \cdot 3,0}{10} + \frac{4,0 \cdot 3,0}{10} + \frac{3,2 \cdot 2}{10} = 3,81 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}.$$

$$\begin{aligned}
 R_0 &= 0,17 \text{ м} \\
 \lambda_y &= 0,21 \text{ ккал/м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C} \\
 \alpha_y &= 0,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{ч} \\
 z_{\tau} &= 0,03 \\
 f(z_{\tau}) &= 0,03 \\
 K_{\tau_{\lambda}} &= 15,5 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C} \\
 b_{\lambda} &= 0,5 \text{ м} \\
 A &= 0,0036 \\
 B &= 0,86 \\
 B &= -0,0006 \\
 K &= -0,0060 ^\circ\text{C/м} \\
 t_2 &= 3,6 ^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

3.5.3. Расчет максимальной температуры воздуха при подгреве 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, кверзлага и штрека производится с учетом среднего значения температуры воздуха за период интенсивного нагрева, соответственно: 12°C ; 12°C ; 11°C .

4. МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ В ВЫРАБОТКАХ, ПРОВЕТРИВАЕМЫХ С ПОМОЩЬЮ ВЕНТИЛЯ- ТОРОВ МЕСТНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ

Основные условные обозначения

- t_n, t_{n_3} - естественная температура горных пород соответственно в середине и в забое тупиковой выработки, $^{\circ}\text{C}$;
- 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, $^{\circ}\text{C}$;
- $t_{пр}$ - предельно допустимая в рабочем забое, $^{\circ}\text{C}$;
- 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, $\text{м}^3/\text{ч}$.
- $Q_{утп}$ - утечки воздуха из трубопровода в тупиковой выработке, $\text{м}^3/\text{ч}$;
- α_g, α_z - приведенный коэффициент теплоотдачи от горных пород к воздуху соответственно в выработке и призабойной зоне, $\text{ккал}/\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C}$;
- α_1, α_2 - коэффициенты теплоотдачи соответственно у внутренней и наружной поверхности трубопровода, $\text{ккал}/\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C}$;
- τ_p - расчетное время проветривания соответствующего участка тупиковой выработки, ч ;
- τ_1, τ_3, τ_4 - время существования соответственно устья, забоя и начала призабойной зоны тупиковой выработки, ч ;
- $K_{т_1}$ - коэффициент нестационарного теплообмена между горным массивом и воздухом для участка от устья тупиковой выработки до призабойной зоны; $K_{т_2}$ - для призабойной зоны, $\text{ккал}/\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C}$;

- $\Sigma Q_b, \Sigma Q_z$ - суммарные тепловыделения местных источников соответственно на участке от призабойной зоны до устья выработки и в призабойной зоне, ккал/ч;
- U - скорость воздуха: U_b - средняя в тупиковой выработке; U_T - средняя в трубопроводе; U_o - на выходе из тупика прохода; U_z - 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;
- $l_{z.т}$ - длина призабойной зоны (расстояние от забоя до конца трубопровода), м;
- $d_{тф}$ - диаметр трубопровода, м;
- U_T - периметр трубопровода, м;
- S_T - площадь поперечного сечения трубопровода, м² ;
- 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.

4.1. 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 тепловых 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.

4.1.1. Сечение, периметр и эквивалентный радиус участка тупиковой выработки от устья до призабойной зоны определяется согласно п. 1.1.1.

Площадь призабойной зоны рассчитывается по формуле

$$F_z = 1,35 S + U l_{z,тр} . \quad (4.1)$$

4.1.2. 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 1 или 2.

4.1.3. 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

$$Q_2 = Q_1 - Q_{ут} . \quad (4.2)$$

Утечки воздуха из трубопровода рассчитываются по формуле

$$Q_{ут} = Q_1 \left(1 - \frac{1}{K_{ут,тр}} \right) , \quad (4.3)$$

где $K_{ут,тр}$ — коэффициент утечек воздуха для данного типа трубопровода.

Значения коэффициентов утечек воздуха для разных 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

$d_{тр}, м$	$\alpha_{азр} \cdot 10^4$	$d_{тр}, м$	$\alpha_{азр} \cdot 10^4$
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

$$K_{\text{ут.тр}} = \left(\frac{1}{3} K_{\text{ут.ст}} d_{\text{тр}} \frac{l_{\text{тр}}}{l_{\text{з}}} \sqrt{R_{\text{тр}}} + 1 \right)^2. \quad (4.4)$$

где $K_{\text{ут.ст}}$ — 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;

$l_{\text{тр}}$ — длина металлического трубопровода в целостке, м;

$l_{\text{з}}$ — длина звена, м;

$R_{\text{тр}}$ — аэродинамическое сопротивление трубопровода без учета утечек, км

$$R_{\text{тр}} = \frac{6,5 \alpha_{\text{аэ}} l_{\text{тр}}}{d_{\text{тр}}^5}. \quad (4.5)$$

где $\alpha_{\text{аэ}}$ — коэффициент аэродинамического сопротивления трубопровода, кгс²/м⁴; принимается по табл. 4.4.

4.1.4. Температура воздуха в трубопроводе после ВМП рассчитывается по формуле

$$t_1 = t_0 + \Delta t_{\text{вент}}, \quad (4.6)$$

где $\Delta t_{\text{вент}}$ — приращение температуры воздуха от работы ВМП, °С
— для осевых вентиляторов

$$\Delta t_{\text{вент}} = \frac{860 N_3}{APQ_1 \eta_{\text{ф}}}; \quad (4.7)$$

— для центробежных вентиляторов

$$\Delta t_{\text{вент}} = \frac{860 N_3}{APQ_1}. \quad (4.8)$$

где A — коэффициент, определяемый по табл. 4.5;

$\eta_{\text{ф}}$ — КПД двигателя ВМП;

N_3 — мощность на валу электродвигателя, кВт.

$$N_3 = \frac{Q_1 h_t}{367200 \eta_t}. \quad (4.9)$$

где h_a — напор ВМП, мм рт.ст.;
 η_b — КПД ВМП.

Таблица 4.5.

Значения коэффициентов аппроксимации теплосодержания воздуха
 A, D и D_v для различных диапазонов изменения температуры

диапазон изменения тем- пературы, °C	$A \cdot 10^3$	D	D_v
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 фактным замерам, а при их отсутствии может быть принята ориентировочно согласно табл. 4.6.

Относительная влажность воздуха после ВМП рассчитывается по формуле

$$\varphi_1 = \frac{D t_0 + D_v}{D t_1 + D_v} \varphi_0. \quad (4.10)$$

Коэффициенты D и D_v принимаются по табл. 4.5.

Относительная влажность после воздухоохладителя принимается равной $0,95 + I,0$. На выходе из трубопровода относительная влажность $\varphi_2 = (0,95 + I,1) \varphi_4$, 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 установ- ки воздухоохла- дителя (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

4.1.6. Барометрическое давление воздуха для различных пунктов тупиковой выработки рассчитывается согласно п.1.1.3.

4.1.7. Естественная температура горных пород для середины тупиковой выработки и для забоя рассчитывается согласно п. 1.1.9.

4.1.8. Теплофизические характеристики горных пород определяются согласно п. 1.1.10.

4.1.9. Расчетное время проветривания различных участков тупиковой выработки определяется согласно п.1.1.II. При этом время существования расчетных пунктов на действующих шахтах принимается по данным маршейдерских замеров.

4.2. Расчет тепловыделений местных источников.

4.2.1. Тепловыделения при работе машин с электроприводом (погрузочных машин, проходческих комбайнов, бурильных установок) рассчитывается по формуле

$$Q_m = 860 N_m K_z, \quad (4.11)$$

где N_m - суммарная установленная мощность электродвигателей, кВт;
 K_z - коэффициент загрузки машин во времени $K_z = 0,3 - 0,5$.

4.2.2. При конвейерном транспорте в тупиковых выработках тепловыделение от охлаждения транспортируемой горной массы, в отличие от метода п. 1.2.4.2, рассчитывается по формуле

$$Q_n = \Delta t_k A_{\phi} c_n, \quad (4.12)$$

где Δt_k - охлаждение транспортируемого материала, $^{\circ}\text{C}$;
 A_{ϕ} - фактическая производительность конвейера, кг/ч;
 c_n - теплоемкость горной массы, ккал/кг. $^{\circ}\text{C}$, определяется согласно табл. П.3.1.

Величина Δt_k рассчитывается по эмпирической формуле

$$\Delta t_k = 0,0024 L_k^{0,8} \left(t_{np} - \frac{t_0 + t_1}{2} \right), \quad (4.13)$$

где L_k - длина конвейера на расчетном участке, м;
 t_{np} - температура ископаемого при его погрузке на конвейер, $^{\circ}\text{C}$

$$t_{np} = t_{пз} - (7 \div 11). \quad (4.14)$$

В формуле (4.14) разность $t_{пз} - t_{np}$ принимается равной 7°C при $t_{пз} < 35^{\circ}\text{C}$; 9°C при $35^{\circ}\text{C} < t_{пз} < 45^{\circ}\text{C}$; 11°C при $t_{пз} > 45^{\circ}\text{C}$.

4.2.3. Тепловыделения других местных источников рассчитываются по зависимостям п. 1.2.

4.3. Расчет коэффициентов теплопередачи вентиляционных трубопроводов в тупиковых выработках.

4.3.1. Коэффициент теплопередачи трубопроводов неохлажденно-го воздуха рассчитывается по формуле

$$K_T = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_T}{\lambda_T} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (4.15)$$

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·°С (для металлических, прорезиненных типа "М" и пластиковых трубопроводов λ_T соответственно равны 50; 0,135 и 0,12),

Коэффициент теплоотдачи у внутренней поверхности рассчитывается по формуле

$$\alpha_1 = 3,7 \frac{V_T^{0,8}}{d_{TP}^{0,2}}. \quad (4.16)$$

Коэффициент теплоотдачи у наружной поверхности рассчитывается по эмпирической формуле

$$\alpha_2^0 = 5,52 + 3,7 \frac{V_2^{0,8}}{d_{TP}^{0,2}}. \quad (4.17)$$

4.3.2. Коэффициент теплопередачи трубопровода с охлажденным воздухом рассчитывается по формуле

$$K_T' = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_T}{\lambda_T} + \frac{1}{\xi \alpha_2}}, \quad (4.18)$$

где ξ - коэффициент влаговыведения, который определяется по формуле (1.71).

4.4. Расчет коэффициентов нестационарного теплообмена между горным массивом и воздухом.

4.4.1. Коэффициент нестационарного теплообмена для участка от привальной зоны до устья выработки рассчитывается по формуле (1.78) или (1.76), а для осложненных условий - согласно п. 2.2.5. при этом для тупиковых выработок коэффициент теплоотдачи от поверхности выработки к воздушной среде вычитается по эмпирической формуле

$$\alpha_8 = 6,45 + 2,52 \varepsilon \frac{V_8^{0,8}}{R_0^{0,2}}. \quad (4.19)$$

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

$$K_{\tau_3} = \frac{2,51\lambda}{\sqrt{F_3}} + \frac{1,13\lambda}{\sqrt{\alpha}(\sqrt{\tau_3} + \sqrt{\tau_4})}, \quad (4.20)$$

а при средних для условий шахт Донбасса значениях теплофизических характеристик горных пород

$$K_{\tau_3} = \frac{3,82}{\sqrt{F_3}} + \frac{31,8}{\sqrt{\tau_3} + \sqrt{\tau_4}}. \quad (4.21)$$

4.4.3. При сухой поверхности призабойной зоны коэффициент нестационарного теплообмена рассчитывается по формуле

$$K_{\tau_3} = \frac{\lambda \sqrt{1 + 1,77\sqrt{Fo_3}}}{1,77 R_3^3 \sqrt{Fo_3} + \frac{\lambda \sqrt{1 + 1,77\sqrt{Fo_3}}}{\alpha_3}}, \quad (4.22)$$

где R_3^3 — эквивалентный радиус призабойной зоны, м;

$$R_3^3 = \sqrt{R_o l_3 + R_o^2}; \quad (4.23)$$

$$Fo_3 = \frac{\alpha \tau_3}{(R_3^3)^2}, \quad (4.24)$$

Fo_3 — критерий Фурье для призабойной зоны, причем $\tau_{3\text{ЛБ}}$ определяется по формуле (1.16);

$$\alpha_3 = 6,35 \frac{v_3^{0,8}}{(R_3^3)^{0,2}}. \quad (4.25)$$

Расчетное значение скорости воздуха у поверхности стенок призабойной зоны

$$v_3 = \frac{\bar{v}_1 (0,54 l_3 + 1,35 S) + v_2 0,54 l_3}{F_3}, \quad (4.26)$$

где $\bar{v}_1$ — среднеинтегральная скорость воздуха у поверхности стенок призабойной зоны в прямом потоке

$$\overline{v}_1 = -\frac{v_0}{\omega} \left(A_T + 1,15 \lg \frac{1 - A_T}{1 + A_T} \right); \quad (4.27)$$

$\overline{v}_2$ — то же, в обратном потоке

$$\overline{v}_2 = \frac{v_0}{\omega} \left[(\sqrt{\omega} - \frac{0,75 T_1}{\sqrt{1 + \psi_p}}) \ln \left| \frac{1 + \psi_p}{\psi_p} + \frac{2 \operatorname{arctg} \sqrt{d_{тр} \omega}}{\sqrt{d_{тр}}} - 2\sqrt{\omega} \right| \right]. \quad (4.28)$$

В формулах (4.26) — (4.28) коэффициенты ψ_p и T_1 зависят от величины поперечного отклонения струи

$$\text{при } \frac{S_T}{S} \geq 0,04 \quad \psi_p = 3,56 \frac{S_T}{S} - 0,063; \quad (4.29)$$

$$T_1 = 0,476 \psi_p + 0,0295; \quad (4.30)$$

$$\text{при } \frac{S_T}{S} < 0,04 \quad \psi_p = 25 \left(\frac{S_T}{S} \right)^{1,8}; \quad (4.31)$$

$$T_1 = 0,284 \psi_p^{0,55}. \quad (4.32)$$

Кроме того

$$\omega = \frac{\sqrt{1 + \psi_p} - \sqrt{\psi_p}}{\sqrt{\psi_p(1 + \psi_p)}}; \quad (4.33)$$

$$A_T = \frac{1}{\sqrt{1 + \psi_p}}. \quad (4.34)$$

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.

$$t_2 = \frac{[t_1(1 - N_T) \pm 0,01 \Delta H] \Pi_3 + 2 N_T \Pi_3}{\Pi_3 + N_T (\Pi_3 + 2 N_3 - 2)}; \quad (4.35)$$

$$t_4 = \frac{\Pi_3 + t_2(1 - N_3)}{\Pi_3}; \quad (4.36)$$

$$t_5 = \frac{N_6 t_n + (1 - 2N_T - 0.5N_6 + n_T \varphi_4) t_4 + N_T(t_1 + t_2) - m_T(\varphi_5 - \varphi_4) + 0.01 \Delta H + \frac{\sum Q_6}{G_{cp}}}{1 + 0.5N_6 + n_T \varphi_5} \quad (4.37)$$

где

$$N_T = \frac{K_T U_T L K_g}{2 G_{cp} c_p}; \quad (4.38)$$

$$N_3 = \frac{K_{\tau 3} F_3}{2 G_2 c_p}; \quad (4.39)$$

$$N_6 = \frac{K_{\tau 6} U L}{G_{cp} c_p}; \quad (4.40)$$

$$\Pi_3 = 1 + N_3 + n_T \varphi_4; \quad (4.41)$$

$$\Pi_3 = 2N_3 t_{n_3} + \frac{\sum Q_3}{G_2 c_p} + m_T(\varphi_1 - \varphi_4) + n_T t_1 \varphi_1; \quad (4.42)$$

$$G_{cp} = 0.5(G_1 + G_2); \quad (4.43)$$

$$K_g = \frac{G_2}{G_1}; \quad (4.44)$$

$$n_T = \frac{1890}{P} n_6; \quad (4.45)$$

$$m_T = \frac{1890}{P} m_6. \quad (4.46)$$

В формулах (4.35) - (4.46):

K_g - коэффициент доставки воздуха; величина барометрического давления воздуха P принимается для середины выработки;

значения коэффициентов аппроксимации влагосодержания насыщенного воздуха n_g , m_g , в зависимости от ожидаемого диапазона изменения температуры, определяются по табл. 4.7.

Таблица 4.7

Коэффициенты аппроксимации влагосодержания насыщенного воздуха

Диапазон изменения температуры, °C	m_g	n_g
0 - 10	3,595	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^{в)}, приведена на рис.4.2.

Температура воздуха рассчитывается по формулам

$$t_2 = \frac{a+c(1+\varphi_g) - \left(1 + \frac{E}{N_T}\right)t_1 + \frac{\Delta t_{\text{сое}}}{N_T} - \frac{Q_{\text{вн}} D_g \varphi_1}{Q_1 N_T}}{1 + \frac{AP}{N_T} - \varphi_3(1+\varphi_g) - \beta}; \quad (4.47)$$

$$t_4 = c + \varphi_3 t_2; \quad (4.48)$$

^{в)} При установке кондиционера вблизи тупиковой выработки принимается, что он установлен в ее устье.

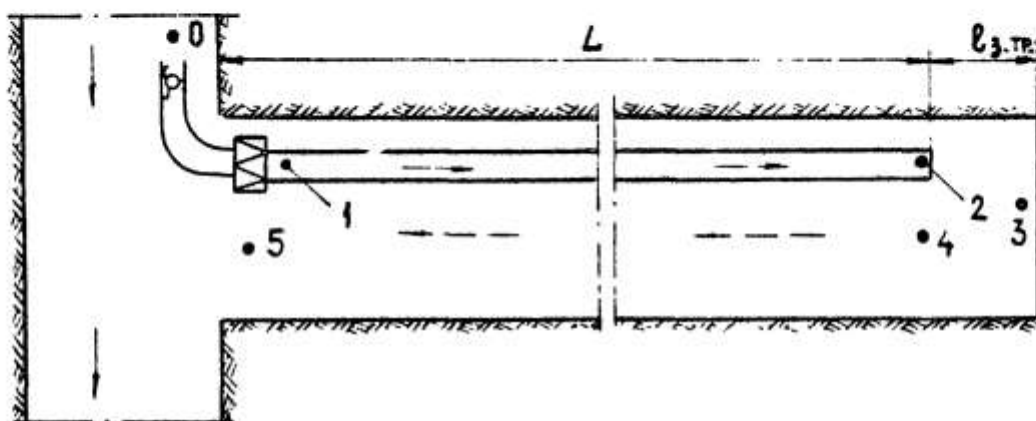


Рис. 4.2. Схема расположения характерных точек при установке воздухоохладителя (кондиционера) в начале тупиковой выработки

$$M_4 = AP + D\varphi_4 ; \quad (4.60)$$

$$M_5 = AP + D\varphi_5 ; \quad (4.61)$$

$$c = \frac{\Pi_3}{\Pi_3} (1 - \Phi_3) ; \quad (4.62)$$

$$\Pi_3 = N_3 t_{n_3} + \frac{\sum Q_3}{Q_2} - D_b (\varphi_4 - \varphi_2) ; \quad (4.63)$$

$$\Pi_3 = N_3 + D (\varphi_4 - \varphi_2) ; \quad (4.64)$$

$$N_3 = \frac{K\tau_3 F_3}{Q_2} ; \quad (4.65)$$

$$\Phi_3 = \left(\frac{M_4}{M_2} \right)^{-\frac{\Pi_3}{D(\varphi_4 - \varphi_2)}} ; \quad (4.66)$$

$$M_2 = AP + D\varphi_2 . \quad (4.67)$$

Значения исходных данных, входящих в зависимости (4.47)–(4.67), принимаются или рассчитываются согласно п.п. 4.1–4.4. Величина барометрического давления P рассчитывается для середины выработки. Коэффициенты аппроксимации теплосодержания воздуха A , d , D_b 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)

$$t_1 = \frac{M_0 t_0 - D_8 (\varphi_1 - \varphi_0) + A P_\Delta t_{вент}}{M_1} - \frac{Q_x}{M_1 Q_1}, \quad (4.68)$$

где $M_0 = A P_0 + D \varphi_0;$ (4.69)

$$M_1 = A P_0 + D \varphi_1, \quad (4.70)$$

Q_x – фактическая производительность воздухоохладителя, ккал/ч;
 P_0 – барометрическое давление воздуха в пункте установки воздухоохладителя, мм рт.ст.

Температура и 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 $\varphi_1 = 0,95 + 1,0$. Если ожидаемый перепад температуры в воздухоохладителе превышает диапазон аппроксимации табл. 4.5, коэффициенты A, D, D_8 , входящие в (4.68)–(4.70), принимаются по табл. 4.8.

Таблица 4.8.

Значения коэффициентов аппроксимации теплоемкости воздуха для соответствующих диапазонов температуры

Диапазон изменения температуры, °C	$A \cdot 10^3$	D	D_2
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 требуемую 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

$$Q_x = Q_1 [M_0 t_0 - M_1 t_1 - D_b (\varphi_1 - \varphi_0) + AP \Delta t_{\text{вент}}]. \quad (4.71)$$

Температура воздуха после воздухоохладителя с учетом заданного значения $t_{\text{ц}} = t_{\text{пр}}$ рассчитывается по формуле

$$t_{\text{ц}} = \frac{\frac{P_b}{L_b} (1 - \Phi_b) + (1 + \Phi_b) t_{\text{пр}} - (1 + \frac{AP}{N_T} - b) t_2 - \frac{Q_{\text{ум}} D_b \varphi_1}{Q_1 N_T} + \frac{\Delta t_{\text{сн}}}{N_T}}{\frac{P_b}{L_b}} \quad (4.72)$$

где
$$t_2 = \frac{t_{np} - c}{\varphi_3} . \quad (4.73)$$

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 $\Delta t_{сж}/N_T$ 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

$$t_5 = \frac{\Pi_b}{\Lambda_b} (1 - \varphi_b) + \varphi_b t_{np} + \frac{b(t_{np} - c)}{\varphi_3} + \frac{n_1(1 - \varphi_b)t_1}{\Lambda_b} . \quad (4.74)$$

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. необходимая холодопроизводительность рассчитывается по формуле

$$Q_x = Q_7 [M_7 t_7 - M_6 t_6 - D_b(\varphi_6 - \varphi_7)] , \quad (4.75)$$

где
$$M_7 = AP_0 + D\varphi_7 ; \quad (4.76)$$

$$M_6 = AP_0 + D\varphi_6 ; \quad (4.77)$$

$$Q_7 = Q_2 + \frac{lQ_{um}}{L} . \quad (4.78)$$

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 $t_4 = t_{np}$ определяется по формуле

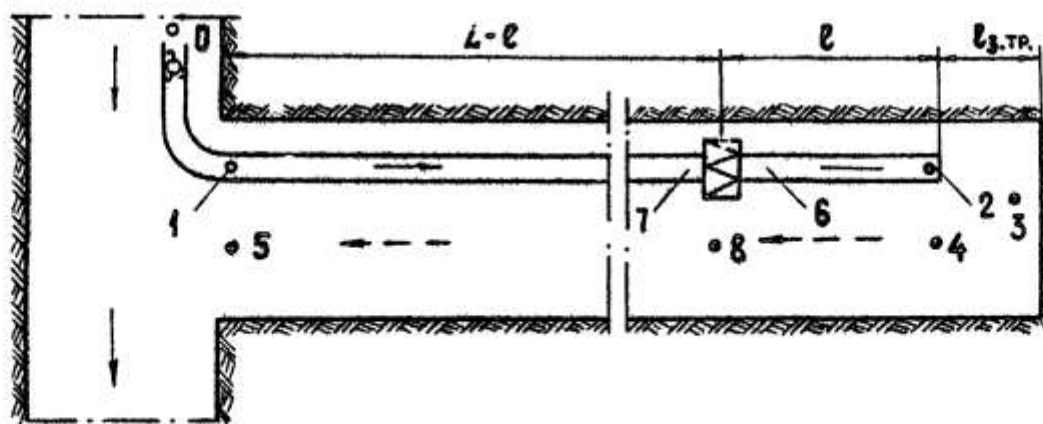


рис. 4.3. Схема расположения характерных точек при установке воздухоохладителя (кондиционера) на заданном расстоянии от заоса тупиковой выработки

$$M_4 = AP + \Phi \varphi_4 \cdot \quad (4.91)$$

Температура воздуха на выходе из трубопровода (t_2) рассчитывается по формуле (4.73).

Значения коэффициентов A, D, D_p 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 $\Delta t'_{сж}/N'_T$ 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

$$\varphi_8 = \varphi_4 + \frac{(\varphi_5 - \varphi_4)l}{L} + (0,02 \div 0,04). \quad (4.92)$$

Температура воздуха перед воздухоохладителем (t_7) рассчитывается по формуле

$$t_7 = \frac{\alpha'' + (1 + \Phi_b'')t_2 - (1 - \frac{AP}{N_{ср}''})t_1 \pm \frac{\Delta t_{сж}''}{N_1''}}{1 + \frac{AP}{N_{ср}''} - b''}, \quad (4.93)$$

где
$$\alpha'' = \frac{\Pi_b'' + n_1'' t_1}{\Pi_b''} (1 - \Phi_b''); \quad (4.94)$$

$$\Pi_b'' = N_b'' t_n'' + \frac{\sum Q_b''}{Q_1} \mp \Delta t_{сж}'' - \Phi_b (\varphi_5 - \varphi_0); \quad (4.95)$$

$$\Pi_b'' = N_b'' + 2N_T'' + \Phi (\varphi_5 - \varphi_8); \quad (4.96)$$

$$n'' = N'' \frac{AP}{Q_{ум}}$$

$$\varphi_b'' = \left(\frac{M_5}{M_8} \right)^{-\frac{\Pi_b''}{\Phi(\varphi_5 - \varphi_8)}}; \quad (4.98)$$

$$b'' = \frac{N_T'' + AP \frac{Q_{ym}''}{2Q_1}}{\Pi_b''} (1 - \varphi_b''); \quad (4.99)$$

$$\Delta t_{сж}'' = 0,01 AP \frac{Q_{ср}''}{Q_1} \Delta H''; \quad (4.100)$$

$$N_1'' = \frac{\kappa_T'' U_T (L - l)}{2Q_1}; \quad (4.101)$$

$$N_{ср}'' = \frac{\kappa_T'' U_T (L - l)}{2Q_{ср}''}; \quad (4.102)$$

$$N_b'' = \frac{\kappa_T'' U (L - l)}{Q_1}; \quad (4.103)$$

$$Q_{ym}'' = \left(1 - \frac{l}{L} \right) Q_{ym}; \quad (4.104)$$

$$Q_{ср}'' = Q_{ср} + \frac{Q_{ym} l}{2L}. \quad (4.105)$$

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

$$t_8 = \frac{\Pi_b + n_1' t_6}{\Pi_b'} (1 - \varphi_b') + b' t_2 + \varphi_b' t_{np}. \quad (4.106)$$

Комплексы Π'_B , Δ'_B , δ'_B , Φ'_B , Π'_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 воздухоохлаждителя (t_6) – по формуле (4.79). Коэффициенты A , D и D_B , входящие в комплексы (4.95)–(4.100), принимаются по табл. 4.5.

Перед слагаемым $t_{сж}$ 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 воздухоохлаждителя, определенной по формуле (4.75), температура воздуха в устье тупиковой выработки рассчитывается по формуле

$$t_5 = a'' + b''t_7 + \Phi''t_8. \quad (4.107)$$

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 воздухоохлаждителя, а с индексом ('') – к участку от пункта установки воздухоохлаждителя 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 воздухоохлаждителя 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 ($\lambda = 1,52$ ккал/м.ч. $^{\circ}\text{C}$; $\alpha = 0,00293$ м 2 /ч). Сечение выработки в свету $S = 12,2$ м 2 ; крепь металлическая арочная. К расчетному моменту длина вентиляционного трубопровода составляет $L = 800$ м, отставание трубопровода от забоя – 8 м. Абсолютная отметка устья воздухоподводящего 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, $S_{т} = 0,385$ м². Перед вентилятором температура воздуха $t_0 = 23,0^{\circ}\text{C}$ и относительная влажность $\varphi_0 = 0,85$. 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)

$$R_0 = \frac{2 \cdot 12,2}{13,3} = 1,83 \text{ м.}$$

Эквивалентный радиус призабойной зоны (4.23)

$$R_z = \sqrt{1,83 \cdot 8 + 1,83^2} = 4,25 \text{ м.}$$

Поверхность призабойной зоны (4.1)

$$F_z = 1,35 \cdot 12,2 + 13,3 \cdot 8 = 123 \text{ м}^2.$$

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.

$$Q_{ум} = 18000 \left(1 - \frac{1}{1,96}\right) = 8820 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Количество воздуха на выходе из трубопровода (4.2)

$$Q_2 = 18000 - 8820 = 9180 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Средний расход воздуха в выработке

$$Q_{\text{ср}} = \frac{18000 + 9180}{2} = 13590 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

4.7.2.3. Среднемесечное (в июле) барометрическое давление воздуха, поступающего в шахту, согласно таол. I.2, I.3 и по формуле (I.I2)

$$P_0 = 758,4 - \frac{200 \cdot 758,4}{8000 [1 + 0,004 (21,8 + 1,5)]} = 741 \text{ мм рт.ст.}$$

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 ($t_{\text{ср}} = 26^\circ\text{C}$, $\varphi_{\text{ср}} = 0,75$) с учетом данных таол. 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 ($G = Q\gamma$)

$$G_1 = 18000 \cdot 1,26 = 22620 \text{ кг/ч} ;$$

$$G_2 = 9180 \cdot 1,26 = 11580 \text{ кг/ч} ;$$

$$G_{\text{ум}} = 8820 \cdot 1,26 = 11040 \text{ кг/ч} ;$$

$$G_{\text{ср}} = \frac{22620 + 11580}{2} = 17100 \text{ кг/ч} .$$

4.7.2.5. Приращение температуры воздуха от работы вентиляторов определяется по формуле (4.7). Из табл. 4.5 $A=0,000374$; $D = 0,825$; $D_p = -6,62$; по характеристике установленных последовательно двух ВМП СВМ-6 при $Q_1 = 5 \text{ м}^3/\text{сек}$, $\eta_{\text{эф}} = 0,98$: напор $h_g = 360 \text{ мм вод.ст.}$ и $\eta_g = 0,68$. Тогда мощность на валу вентилятора (4.9).

$$N_3 = \frac{18000 \cdot 360}{1000} = 26 \text{ кВт} ;$$

$$\Delta t_{\text{взм}} = \frac{860 \cdot 26}{0,000374 \cdot 831 \cdot 18000 \cdot 0,98} = 4,1^{\circ}\text{C}.$$

Температура воздуха после ВМП (4.6)

$$t_1 = 23,0 + 4,1 = 27,1^{\circ}\text{C}.$$

Относительная влажность после вентилятора (4.10)

$$\varphi_1 = \frac{0,825 \cdot 23 - 6,62}{0,825 \cdot 27,1 - 6,62} \cdot 0,85 = 0,67.$$

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.13) с учетом данных табл. II. I.1 и II.1.2.

$$t_n = t_{n3} = 8,1 + \frac{1000}{31,2} = 40,2^{\circ}\text{C}.$$

4.7.2.7. Время проветривания поверхности забоя τ_3 принимается равным 1 ч, время проветривания конца призабойной зоны

$$\tau_4 = \tau_3 + \frac{l_{3.гp}}{v_{пр}} = 1 + \frac{8}{0,208} = 40 \text{ ч},$$

время проветривания устья выработки

$$\tau_1 = \tau_4 + \frac{L}{v_{пр}} = 40 + \frac{800}{0,208} = 3890 \text{ ч}.$$

Расчетное время проветривания участка тупиковой выработки от призабойной зоны до устья (I.17)

$$\tau_p = \frac{40 + 3890 + 2\sqrt{40 \cdot 3890}}{4} = 1180 \text{ ч}.$$

4.7.3. Расчет тепловыделений местных источников. В призабойной зоне

- от работы ШНБ-2 (4.11)

$$Q_M = 860 \cdot 65 \cdot 0,4 = 22360 \text{ ккал/ч};$$

- от одновременно работающих людей (1.63)

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

Суммарное тепловыделение местных источников в призабойной зоне составит

$$\sum Q_3 = 22360 + 1500 = 23860 \text{ ккал/ч.}$$

В выработке, вследствие малого объема транспортируемой в вагонетках горной массы, влиянием тепловыделения местных источников пренебрегаем

$$\sum Q_6 = 0.$$

4.7.4. Расчет коэффициента теплопередачи вентиляционного трубопровода (4.15). Определяем средние значения скорости воздуха

- в трубопроводе

$$v_T = \frac{Q_{ср}}{3600 S_T} = \frac{13590}{3600 \cdot 0,385} = 9,8 \text{ м/с ;}$$

- в свободном сечении выработки

$$v_6 = \frac{Q_{ср}}{3600(S-S_T)} = \frac{13590}{3600 \cdot 11,815} = 0,32 \text{ м/с.}$$

Коэффициенты теплоотдачи трубопровода

- внутренний (4.16)

$$\alpha_1 = \frac{3,7 \cdot 9,8^{0,8}}{0,7^{0,2}} = \frac{3,7 \cdot 6,21}{0,93} = 24,7 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C.}$$

- наружный (4.12)

$$\alpha_2 = 5,52 + \frac{3,7 \cdot 0,32^{0,8}}{0,7^{0,2}} = 5,52 + \frac{3,7 \cdot 0,401}{0,93} = 7,12 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C.}$$

По данным п. 4.3.1 $\delta_T = 0,001$; $\lambda_T = 0,135$.

$$K_T = \frac{1}{\frac{1}{24,7} + \frac{0,001}{0,135} + \frac{1}{7,12}} = 5,3 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C.}$$

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.

$$\alpha_{\text{с}} = 6,45 + 2,52 \cdot 2 \frac{0,32^{0,8}}{1,83^{0,2}} = 8,25 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}.$$

Критерий Био (1.79)

$$Bi = \frac{8,25 \cdot 1,83}{1,52} = 9,93.$$

Критерий Фурье (1.82)

$$Fo = \frac{0,00293}{1,83^2} \frac{1180}{1} = 1,03;$$

$$Bi' = 9,93 + 0,375 = 10,305;$$

$$Z = 10,305 \sqrt{1,03} = 10,46;$$

$$f(Z) = \frac{1,0011 \cdot 10,46 - 0,2575}{10,46 + 0,3406} = 0,955;$$

$$\kappa_{\tau} = 8,25 \left[1 - \frac{9,93}{10,305} \cdot 0,955 \right] = 0,658 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}.$$

4.7.5.2. Для призабойной зоны (4.22)

Скорость воздуха на выходе из воздухопровода

$$v_0 = \frac{Q_{\text{с}}}{3600 S_{\tau}} = \frac{9180}{3600 \cdot 0,385} = 6,6 \text{ м/с}.$$

Величина поперечного сжатия струи

$$\frac{S_T}{S} = \frac{0,385}{12,2} = 0,0315 < 0,04.$$

Тогда по формулам (4.31) и (4.32)

$$\psi_p = 25 \cdot 0,0315^{1,8} = 0,05 ;$$

$$T_1 = 0,284 \cdot 0,05^{0,55} = 0,0547$$

по формулам (4.33) и (4.34)

$$\omega = \frac{\sqrt{1 + 0,05} - \sqrt{0,05}}{\sqrt{0,05 \cdot 2,05}} \approx 3,5 ;$$

$$A_T = \sqrt{1 - \frac{0,05}{1,05}} = 0,976.$$

Среднеинтегральные значения средней скорости воздуха у поверхности стенок призабойной зоны

- в прямом потоке (4.27)

$$\bar{U}_1 = \frac{6,6}{3,5} (0,976 + 1,15 \lg \frac{1 - 0,976}{1 + 0,976}) = 2,31 \text{ м/с} ;$$

- в обратном потоке (4.28)

$$\begin{aligned} \bar{U}_2 = \frac{6,6}{3,5} & \left[\left(\sqrt{3,5} - \frac{0,75 \cdot 0,0547}{\sqrt{1 + 0,05}} \right) \ln \sqrt{\frac{1 + 0,05}{0,05}} + \frac{2 \operatorname{arctg} 0,7 \cdot 3,5}{0,7} \right. \\ & \left. - 2 \sqrt{3,5} \right] = 1,88 \left[\left(1,87 - \frac{0,041}{1,027} \right) \ln 4,58 + \frac{2 \operatorname{arctg} 1,57}{0,836} - 3,75 \right] \end{aligned}$$

$$= 1,88 (1,83 \cdot 1,52 + 2,4 - 3,75) = 1,88 \cdot 1,43 = 2,69 \text{ м/с}.$$

Расчетное значение скорости воздуха у поверхности стенок
призабойной зоны (4.26)

$$v_z = \frac{2,31 (0,5 \cdot 13,3 \cdot 8 + 1,35 \cdot 12,2) + 2,69 \cdot 0,5 \cdot 13,3 \cdot 8}{123} = 2,47 \text{ м/с.}$$

Приведенный коэффициент теплоотдачи от горных пород к руднич-
ному воздуху в призабойной зоне (4.25)

$$\alpha_z = 6,35 \frac{2,47^{0,8}}{4,25^{0,2}} = 9,81 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C.}$$

Критерий Фурье для призабойной зоны (4.24)

$$Fo_z = \frac{0,00293 \cdot 13,5}{4,25^2} = 0,0022 ;$$

$$K_{\tau_z} = \frac{1,52 \sqrt{1 + 1,77 \sqrt{0,0022}}}{4,25 \cdot 1,77 \sqrt{0,0022} + \frac{1,52 \sqrt{1 + 1,77 \sqrt{0,0022}}}{9,81}} = 3,08 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}$$

4.7.6. Определены промежуточные расчетных комплексов по
формулам (4.38) – (4.46)

Для заданного диапазона изменения температуры 25–35⁰С по
табл. 4.7 принимаем

$$m_z = -21,705 ; \quad n_z = 1,645.$$

$$\text{Тогда } m_{\tau} = \frac{1890}{831} (-21,705) = -49,365 ;$$

$$n_{\tau} = 1,645 \frac{1890}{831} = 3,74 ;$$

$$K_g = \frac{11580}{22620} = 0,512 ;$$

$$N_T = \frac{5,3 \cdot 2,2 \cdot 800 \cdot 0,512}{2 \cdot 0,24 \cdot 17100} = 0,582 ;$$

$$N_3 = \frac{3,08 \cdot 123}{2 \cdot 0,24 \cdot 11580} = 0,068 ;$$

$$N_6 = \frac{0,658 \cdot 13,3 \cdot 800}{0,24 \cdot 17100} = 1,706 ;$$

$$\beta_3 = 1 + 0,068 + 3,74 \cdot 0,71 = 3,723 ;$$

$$\beta_3 = 2 \cdot 0,068 \cdot 40,2 + \frac{23360}{0,24 \cdot 11580} = 49,365 (0,67 - 0,71) +$$

$$+ 3,74 \cdot 27,01 \cdot 0,67 = 5,46 + 8,58 + 1,97 + 67,91 = 83,92 .$$

4.7.7. Расчет температуры в характерных точках выработки
без охлаждения воздуха по формулам (4.35) - (4.37)

$$t_2 = \frac{27,1 (1 - 0,582) 3,723 + 2 \cdot 0,582 \cdot 83,92}{3,723 + 0,582 (3,723 + 2 \cdot 0,068 - 2)} = \frac{42,17 + 97,68}{4,805} = 29,1^\circ\text{C} ;$$

$$t_4 = \frac{83,92 + 29,1 (1 - 0,068)}{3,723} = 29,8^\circ\text{C} ;$$

$$t_5 = \frac{1,706 \cdot 40,2 + (1 - 1,164 - 0,853 + 3,74 \cdot 0,71) 29,8 + 0,582 \cdot x}{1 + 0,853 \cdot 3,74 \cdot 0,73}$$

$$x \frac{(27,1 + 29,1) - (-49,365) (0,67 - 0,71)}{4,583} = \frac{68,58 + 48,82 + 32,71 + 0,99}{4,583} = 33,0^\circ\text{C}.$$

4.7.8. Расчет температуры в туликовой выработке, обводненной
термальными водами.

Расчет ведется подобно изложенному в п.п. 4.7.1-4.7.7 со следующими изменениями и дополнениями:

- в п. 4.7.1: температура термальных вод $t_T = 42^\circ\text{C}$;
- в п. 4.7.2.5: по таол. 4.6 для влажных выработок $\varphi_4 = 0,77$;
 $\varphi_5 = 0,79$;
- в п. 4.7.5.1: принимается отвод по выработке термальных вод в канавке с обычным перекрытием и по графику рис. 2.5 определяется значение оеэразмерной температуры стенки горной выработки.

При $Bi = 9,93$ и $F_0 = 1,03$, $\vartheta = 0,22$;

- в п. 4.7.5.2: величина K_{T_3} заменяется соответствующей ей величиной $\alpha_x = 30 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}$;
- в п. 4.7.6:

$$N_3 = \frac{\alpha_x F_3}{2 G_2 c_p} = \frac{30 \cdot 123}{0,48 \cdot 11580} = 0,663 ;$$

$$N_6 = \frac{\alpha_b \vartheta U L}{G_{ce} c_p} = \frac{8,25 \cdot 0,22 \cdot 13,3 \cdot 800}{0,24 \cdot 17100} = 4,705 ;$$

$$\Pi_3 = 1 + N_3 + n_T \varphi_4 = 1 + 0,663 + 3,74 \cdot 0,77 = 4,542 ;$$

$$\Pi_3 = 2 N_3 t_T + \frac{\sum Q_3}{G_2 c_p} + m_T (\varphi_1 - \varphi_4) + n_T t_1 \varphi_1 = 2 \cdot 0,663 \cdot 42 +$$

$$+ \frac{23860}{0,24 \cdot 11850} = 49,365 (0,67 - 0,77) + 3,74 \cdot 27,1 \cdot 0,67 = 137,11 ;$$

- в п. 4.7:

$$t_2 = \frac{27,1(1-0,582) \cdot 4,542 + 2 \cdot 0,582 \cdot 137,11}{4,542 + 0,582 (4,542 + 2 \cdot 0,663 - 2)} = \frac{51,435 + 159,458}{6,793} =$$

$$= 31,05^\circ\text{C} ;$$

$$t_4 = \frac{137,11 + 31,05 (1 - 0,663)}{4,542} = 32,49^\circ\text{C} ;$$

$$t_5 = \frac{4,705 \cdot 42 + (1 - 1,164 - 2,352 + 3,74 \cdot 0,77) 32,49 + 0,582 \cdot}{1 + 2,352 + 3,74 \cdot 0,79}$$

$$\frac{(31,05 + 27,1) - (-49,365)(0,79 - 0,77)}{6,306} = \frac{197,61 + 11,793 +}{6,306}$$

$$+ \frac{33,843 + 0,99}{6,306} = 38,7^\circ\text{C}.$$

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 задаваемые 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)

$$K_T = \frac{1}{\frac{1}{24,7} + \frac{0,001}{0,135} + \frac{1}{2,97 \cdot 7,12}} = 10,53 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C},$$

где коэффициент влаговываждения (1.71)

$$\xi = 1 + \frac{70,1}{831} \cdot 0,74 (4,54 + 27) = 2,97.$$

Коэффициент нестационарного теплообмена для призабойной зоны (4.20)

$$k_{\tau_z} = \frac{3.82}{123} + \frac{31.8}{\sqrt{1} + \sqrt{40}} = 4.682 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}.$$

4.7.9.2. Определение промежуточных расчетных комплексов по формулам (4.51)–(4.67).

Для ожидаемого интервала изменения температуры в призабойной зоне и в свободном сечении выработки $20\text{--}30^\circ\text{C}$ по табл. 4.5 принимаем

$$A = 0.374 \cdot 10^{-3} ; \quad Q = 0.825 ; \quad Q_b = -6.62 .$$

Для ожидаемого изменения температур в трубопроводе в интервале $15\text{--}30^\circ\text{C}$ принимаем по табл. 4.8 для комплекса (4.58) и формулы (4.72)

$$A = 0.376 \cdot 10^{-3} ; \quad Q = 0.696 ; \quad Q_b = -3.338 \varphi$$

$$N_b = \frac{0.658 \cdot 13.3 \cdot 800}{18000} = 0.389 ;$$

$$N_T = \frac{10.53 \cdot 2.2 \cdot 800}{2 \cdot 18000} = 0.515 ;$$

$$N_z = \frac{4.682 \cdot 123}{9180} = 0.0627 ;$$

$$\Pi_b = 0.389 \cdot 40.2 + 6.62 (0.75 - 0.73) = 15.77 ;$$

$$\Pi_b = 0.389 + 2 \cdot 0.515 + 0.825 (0.75 - 0.73) = 1.436 ;$$

$$\Pi_1 = 0.515 - 0.374 \cdot 10^{-3} \cdot 831 \cdot \frac{8820}{2 \cdot 18000} = 0.439 ;$$

$$M_4 = 0.374 \cdot 10^{-3} \cdot 831 + 0.825 \cdot 0.73 = 0.913 ;$$

$$M_5 = 0,374 \cdot 10^{-3} \cdot 831 + 0,825 \cdot 0,75 = 0,930 ;$$

$$M_2 = 0,374 \cdot 10^{-3} \cdot 831 + 0,825 \cdot 0,69 = 0,880 ;$$

$$\varphi_6 = \left(\frac{0,930}{0,913} \right) - \frac{1,436}{0,825 (0,75 - 0,73)} = 0,195 ;$$

$$b = \frac{0,515 + 0,374 \cdot 10^{-3} \cdot 831 \cdot 2 \cdot \frac{8820}{18000}}{1,436} (1 - 0,195) = 0,331 ;$$

$$\Pi_3 = 0,0627 \cdot 40,2 + \frac{23860}{9180} + 6,62 (0,73 - 0,69) = 5,384 ;$$

$$\Pi_3 = 0,0627 + 0,825 (0,73 - 0,69) = 0,0957 ;$$

$$\varphi_3 = \left(\frac{0,913}{0,880} \right) - \frac{0,0957}{0,825 (0,73 - 0,69)} = 0,885 ;$$

$$C = \frac{5,384}{0,0957} (1 - 0,885) = 6,47 ;$$

$$E = \frac{8820}{18000} \cdot 0,696 \cdot 0,97 - \frac{9180}{18000} \cdot 0,376 \cdot 10^{-3} \cdot 831 = 0,172 .$$

4.7.9.3. Расчет необходимой температуры воздуха после воздухоохлаждителя, установленного в начале выращивания. Предварительно по формуле (4.73) рассчитывается температура воздуха на выходе из трубопровода, с учетом $t_{\text{н}} = t_{\text{пр}} = 26^{\circ}\text{C}$.

$$t_2 = \frac{26 - 6,47}{0,885} = 22,07^{\circ}\text{C}.$$

Необходимая температура воздуха после воздухоохлаждителя вычисляется по формуле (4.72)

$$t_1 = \frac{\frac{15,77}{1,436} (1 - 0,195) + 26(1 + 0,95) - 22,07(1 + \frac{0,376 \cdot 10^{-3} \cdot 831}{0,515} - 0,331)}{1 + \frac{0,172}{0,515} - \frac{0,439}{1,436} (1 - 0,195)} +$$

$$+ \frac{\frac{8820}{18000} \cdot \frac{3,338}{0,515} \cdot 0,97}{1 + \frac{0,172}{0,515} - \frac{0,439}{1,436} (1 - 0,195)} = 14,5^{\circ}\text{C}.$$

4.7.9.4. Расчет необходимой холодопроизводительности воздухоохлаждающей 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 $15\text{--}30^{\circ}\text{C}$ принимаем значения коэффициентов:

$$A = 0,376 \cdot 10^{-3}; \quad \varphi = 0,696; \quad \varphi_g = -3,338;$$

$$M_0 = 0,376 \cdot 10^{-3} \cdot 831 + 0,696 \cdot 0,85 = 0,904;$$

$$M_1 = 0,376 \cdot 10^{-3} \cdot 831 + 0,696 \cdot 0,97 = 0,987.$$

Отсюда,

$$Q_x = 18000 \left[0,904 \cdot 26 - 0,987 \cdot 14,5 + 3,338 (0,97 - 0,85) + \right.$$

$$\left. + 0,376 \cdot 10^{-3} \cdot 831 \cdot 4,1 \right] = 146900 \text{ ккал/ч}.$$

4.7.9.5. Ожидаемая температура воздуха на выходе из выработки при определенной холодопроизводительности воздухоохлаждителя рассчитывается по формуле (4.82)

$$t_5 = \frac{15,77}{1,436} (1 - 0,195) + 0,195 \cdot 26 + \frac{0,331 (26 - 6,47)}{0,885} +$$

$$+ \frac{0,439 (1 - 0,195) \cdot 14,5}{1,436} = 24,8^{\circ}\text{C}.$$

Из расчетов видно, что нормальные температурные условия в рассматриваемой тупиковой выработке могут быть обеспечены при установке только двух кондиционеров КПШ-3 в устье выработки.

4.7.10. Расчет необходимой холодопроизводительности воздухоохлаждителя 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 воздухоохлаждителя (принимаем $l = 200$ м). Количество воздуха, поступающего в воздухоохлаждитель, согласно формуле (4.79)

$$Q_{\gamma_0} = 9180 + \frac{8820 \cdot 200}{800} = 11380 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Средний расход воздуха на расчетном участке (4.81)

$$Q'_{\text{ср}} = 9180 + \frac{8820 \cdot 200}{2 \cdot 800} = 10280 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Среднее значение скорости воздуха:

– в свободном сечении выработки

$$v'_b = \frac{Q'_{\text{ср}}}{3600 (S - S_T)} = \frac{10280}{3600 \cdot 11,815} = 0,24 \text{ м/с};$$

– в трубопроводе

$$v'_T = \frac{Q'_{\text{ср}}}{3600 \cdot S_T} = \frac{10280}{3600 \cdot 0,385} = 7,42 \text{ м/с}.$$

Согласно п. 4.1.5 ожидаемые значения относительной влажности воздуха после воздухоохлаждителя (φ_6), на выходе из призабойной зоны (φ_4) и на выходе из трубопровода (φ_2) принимаются:

$\varphi_6 = 0,77$; $\varphi_4 = 0,73$; $\varphi_2 = 0,98 \cdot 0,73 = 0,715$, а в пункте установки воздухоохлаждителя (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 воздухоохлаждителя

$$\tau_8 = \tau_4 + \frac{l}{\lambda \zeta_{1p}} = 40 + \frac{200}{0,208} = 1000 \text{ ч.}$$

Расчетное время проветривания участка от призабойной зоны до места установки воздухоохлаждителя (1.17)

$$\tau_p' = \frac{40 + 1000 + 2 \sqrt{40 \cdot 1000}}{4} = 360 \text{ ч.}$$

Коэффициент нестационарного теплообмена определяется по формуле (1.78). Предварительно рассчитываются коэффициент теплоотдачи от горных пород к воздуху (4.19)

$$\alpha_g' = 6,45 + 2,52 \cdot 2 \frac{0,24^{0,8}}{1,83^{0,2}} = 7,88 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C};$$

- критерий Био (1.79)

$$Bi = \frac{7,88 \cdot 1,83}{1,52} = 9,487;$$

$$Bi' = 9,487 + 0,375 = 9,862;$$

- критерий Фурье (1.82)

$$Fo = \frac{0,00293 \cdot 360}{1,83^2} = 0,315;$$

$$Z = 9,862 \sqrt{0,315} = 5,532;$$

$$f(Z) = \frac{1,0011 \cdot 5,532 - 0,2575}{5,532 + 0,3406} = 0,899.$$

Тогда коэффициент нестационарного теплообмена

$$K'_c = 7,88 \left[1 - \frac{9,487}{9,862} \cdot 0,899 \right] = 1,072 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}.$$

Коэффициент теплоотдачи трубопровода охлажденного воздуха определяется по формуле (4.18). предварительно вычисляются коэффициенты теплоотдачи трубопровода

- внутренний (4.16)

$$\alpha'_1 = 3,7 \cdot \frac{7,42^{0,8}}{0,7^{0,2}} = 19,75 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C};$$

- наружный (4.17)

$$\alpha'_2 = 5,52 + 3,7 \cdot \frac{0,24^{0,8}}{0,7^{0,2}} = 6,79 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}.$$

Коэффициент лагоспадения (1.71)

$$\xi = 1 + \frac{70,1}{831} \cdot 0,745 (4,54 + 26) = 2,92.$$

Коэффициент теплопередачи трубопровода

$$K'_T = \frac{1}{\frac{1}{19,75} + \frac{0,001}{0,135} + \frac{1}{2,92 \cdot 6,79}} = 9,22 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}.$$

4.7.10.2. Определение промежуточных комплексов по формулам (4.80)–(4.91). Для ожидаемого интервала изменения температуры воздуха $20-30^\circ\text{C}$ в выработке и в призабойной зоне по табл. 4.5 принимаем $A = 0,374 \cdot 10^{-3}$; $D = 0,825$; $D_g = -6,62$, которые используются в формулах (4.84)–(4.91). в трубопроводе – для $15-25^\circ\text{C}$ соответственно $A = 0,380 \cdot 10^{-3}$; $D = 0,644$; $D_g = -2,3$, которые используются в формулах (4.79) и (4.81). В формулах (4.81), (4.88)–(4.91) величина

$$AP = 0,374 \cdot 10^{-3} \cdot 831 = 0,311.$$

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,

$$N'_6 = \frac{1,072 \cdot 13,3 \cdot 200}{11380} = 0,25 ;$$

$$N'_7 = \frac{2,22 \cdot 2,2 \cdot 200}{2 \cdot 11380} = 0,178 ;$$

$$П'_B = 0,25 \cdot 40,2 + 6,62 (0,76 - 0,73) = 10,249 ;$$

$$Л'_B = 0,25 + 2 \cdot 0,178 + 0,825 (0,76 - 0,73) = 0,631 ;$$

$$\varphi'_B = \left(\frac{0,938}{0,913} \right) - \frac{0,631}{0,825 (0,76 - 0,73)} = 0,506 ;$$

$$n_1 = 0,178 - 0,311 \cdot \frac{8820 \cdot 200}{2 \cdot 11380 \cdot 800} = 0,178 - 0,03 = 0,148 ;$$

$$b' = \frac{0,178 + 0,03}{0,631} (1 - 0,506) = 0,163.$$

Значения комплексов, относящихся к участку призабойной зоны, с учетом вычислений в п. 4.7.8.2

$$П'_3 = 0,0627 \cdot 40,2 + \frac{23830}{9180} + 6,62 (0,73 - 0,715) = 5,219 ;$$

$$Л'_3 = 0,0627 + 0,825 (0,73 - 0,715) = 0,075 ;$$

$$\varphi'_3 = \left(\frac{0,913}{0,901} \right) - \frac{0,075}{0,825 (0,73 - 0,715)} = 0,922 ;$$

$$c' = \frac{5,219}{0,075} (1 - 0,922) = 5,428.$$

Принимая $t_4 = t_{пр} = 26^\circ\text{C}$, по формуле (4.73) получим

$$t_2 = \frac{26 - 5.428}{8.922} = 22,3^\circ\text{C}.$$

Значения комплексов, относящихся к участку трубопровода от призабойной зоны до воздухоохладителя

$$E_1' = \frac{9180}{11380} (0,38 \cdot 10^{-3} \cdot 831 + 0,644 \cdot 0,97) = 0,759;$$

$$E_2' = 0,38 \cdot 10^{-3} \cdot 831 + 0,644 \cdot 0,715 = 0,776.$$

4.7.10.3. Температура воздуха перед воздухоохладителем определяется по формуле (4.79)

$$t_6 = \frac{\frac{10.249}{0.631} (1-0,506) + 26(1 + 0,506) - (1 + \frac{0,776}{0,178} - 0,163) 22,3}{1 - \frac{0,759}{0,178} - \frac{0,148}{0,631} (1 - 0,506)} - \frac{2,3 (\frac{9180}{11380} \cdot 0,97 - 0,715)}{1 - \frac{0,759}{0,178} - \frac{0,148}{0,631} (1-0,506)} = 20,3^\circ\text{C}.$$

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)

$$t_8 = \frac{10.249 + 0,148 \cdot 20,3}{0,631} (1-0,506) + 0,163 \cdot 22,3 + 0,506 \cdot 26 = 27,2^\circ\text{C}.$$

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 ВМН (φ_1), перед воздухоохладителем (φ_7) принимаются соответственно равными: $\varphi_5 = 0,73$, $\varphi_1 = 0,67$ (см. п. 4.7.2.5), $\varphi_7 = \varphi_1 = 0,67$, а в пункте установки воздухоохладителя — $\varphi_8 = 0,76$ (см. п. 4.7.10.1).

Для ожидаемого интервала изменения температуры воздуха в трубопроводе и в выработке $25-35^\circ\text{C}$ по табл. 4.5 принимаем

$$A = 0,368 \cdot 10^{-3}; D = 1,046; D_B = -12,93;$$

$$AP = 0,368 \cdot 10^{-3} \cdot 831 = 0,306.$$

$$\text{Длина расчетного участка } L - l = 800 - 200 = 600 \text{ м.}$$

Утечки воздуха из трубопровода на участке от устья выработки до воздухоохладителя (4.104)

$$Q_{\text{ут}}'' = \left(1 - \frac{200}{800}\right) 8820 = 6620 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Средний расход воздуха (4.105)

$$Q_{\text{ср}}'' = \frac{18000 + 9180}{2} + \frac{8820 \cdot 200}{2 \cdot 800} = 14690 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Среднее значение скорости воздуха

— в свободном сечении выработки

$$v_b'' = \frac{Q_{\text{ср}}''}{3600 (S - S_T)} = \frac{14690}{3600 \cdot 11,815} = 0,34 \text{ м/с};$$

— в трубопроводе

$$v_T'' = \frac{Q_{\text{ср}}''}{3600 \cdot S_T} = \frac{14690}{3600 \cdot 0,385} = 10,6 \text{ м/с.}$$

Коэффициент теплоотдачи от горных пород к воздуху (4.19)

$$\alpha_b'' = 6,45 + 2,52 \cdot 2 \cdot \frac{0,34^{0,8}}{1,83^{0,2}} = 8,33 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C.}$$

Расчетное время проветривания участка от устья выработки до пункта установки воздухоохладителя (см. п.4.7.2.7 и п.4.7.10.1)

$$\tau_p'' = \frac{1000 + 3890 + 2\sqrt{1000 \cdot 3890}}{4} = 1320 \text{ ч.}$$

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)

$$K_c'' = 8,33 \left[1 - \frac{10,029}{10,404} \cdot 0,948 \right] = 0,717 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}.$$

Коэффициент теплопередачи трубопровода на участке от устья выработки до пункта установки воздухоохладителя определяется по формуле (4.15). Предварительно вычисляются коэффициенты теплоотдачи

- внутренний (4.16)

$$\alpha_1'' = 3,7 \cdot \frac{10,6^{0,8}}{0,7^{0,2}} = 26,27 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C} ;$$

- наружный (4.17)

$$\alpha_2'' = 5,52 + 3,7 \frac{0,34^{0,8}}{0,7^{0,2}} = 7,2 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}.$$

Коэффициент теплопередачи трубопровода

$$K_T'' = \frac{1}{\frac{1}{26,27} + \frac{0,001}{0,135} + \frac{1}{7,2}} = 5,43 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}.$$

Промежуточные комплексы определяются по формулам (4.94)–(4.105)

$$M_5^0 = 0,306 + 1,046 \cdot 0,73 = 1,069 ;$$

$$M_8 = 0,306 + 1,046 \cdot 0,76 = 1,101 ;$$

$$N_T'' = \frac{5,43 \cdot 2,2 \cdot 600}{2 \cdot 18000} = 0,199 ;$$

$$N_{cp}'' = \frac{5,43 \cdot 2,2 \cdot 600}{2 \cdot 14690} = 0,244 ;$$

$$N_8'' = \frac{0,717 \cdot 13,3 \cdot 600}{18000} = 0,318 ;$$

$$\Pi_8'' = 0,318 \cdot 40,2 + 12,93 (0,73 - 0,76) = 12,396 ;$$

$$\Lambda_8'' = 0,318 + 2 \cdot 0,199 + 1,046 (0,73 - 0,76) = 0,685 ;$$

$$\Phi_8'' = \left(\frac{1,069}{1,101} \right) - \frac{0,685}{1,046 (0,73 - 0,76)} = 0,524 ;$$

$$n_1'' = 0,199 - 0,306 \cdot \frac{6620}{2 \cdot 18000} = 0,13 - 0,056 = 0,143 ;$$

$$\xi'' = \frac{0,199 + 0,056}{0,685} (1 - 0,524) = 0,177 ;$$

$$\alpha'' = \frac{12,396 + 0,143 \cdot 27,1}{0,685} (1 - 0,524) = 11,307.$$

Ожидаемая температура воздуха перед воздухоохладителем будет равна

$$t_7 = \frac{11,307 + (1 + 0,524)27,2 + \left(\frac{0,306}{0,244} - 1\right)27,1}{1 + \frac{0,306}{0,244} - 0,177} = 28,7^\circ\text{C}.$$

4.7.10.6. Потребная холодопроизводительность воздухоохладителя, устаревшего 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 $20-30^\circ\text{C}$, то из табл. 4.5 принимаем $A = 0,374 \cdot 10^{-8}$; $D = 0,825$ и $D_B = -6,62$.

$$M_7 = 0,374 \cdot 10^{-8} \cdot 831 + 0,825 \cdot 0,67 = 0,863;$$

$$M_8 = 0,374 \cdot 10^{-8} \cdot 831 + 0,825 \cdot 0,97 = 1,111.$$

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)

$$t_5 = 11,307 + 0,177 \cdot 28,7 + 0,524 \cdot 27,2 = 30,6^\circ\text{C}.$$

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.1.1

Средние значения температуры земной поверхности и величин
геотермической ступени для геотермических участков
Донбасса

Номер гео- термического участка	$t_{зп},$ °C	$\Gamma_{ср},$ м/°C	Номер гео- термическо- го участка	$t_{зп},$ °C	$\Gamma_{ср},$ м/°C
1	2	3	1	2	3
Красноармейский район					
I	9,5	35,6	II	9,6	37,6
2	10,0	34,2	I2	10,7	38,6
3	9,9	33,9	Чистяково-Снежнянский район		
4	9,9	34,7	I	9,5	41,4
5	10,3	36,5	2	9,0	39,8
6	10,5	34,1	3	9,8	44,1
Южно-Донбасский район					
I	9,8	34,9	Центральный район		
2	10,3	34,3	I	11,9	33,7
3	10,5	32,8	2	11,2	44,0
Донецко-Макеевский район					
I	9,7	39,7	3	9,7	42,8
2	8,1	31,2	4	10,5	47,1
3	9,1	35,9	5	9,5	48,4
4	9,3	32,8	6	3,9	42,7
5	8,8	42,2	Старобельский район		
6	8,0	34,5	I	12,0	40,9
7	9,9	33,1	2	12,5	43,2
8	8,4	34,1	3	11,1	43,7
9	9,8	40,6	Лисичанский район		
10	10,1	36,3	I	11,6	38,3
			2	10,2	37,8

Продолжение таблицы П.1.1

°	1	2	3	1	2	3
<u>Алматчи-Марьевский район</u>				4	10,1	44,5
1		10,8	38,6	5	11,2	50,6
2		10,2	37,9	<u>Миллеровский район</u>		
3		8,8	35,9	1	10,8	46,9
<u>Луганский район</u>				<u>Каменско-Гундоровский район</u>		
1		11,4	46,2	1	11,5	52,8
2		11,4	46,5	2	12,3	56,9
3		12,4	50,9	3	12,0	62,3
4		11,8	43,7	<u>Белокалитвинский район</u>		
5		11,1	48,5	1	10,2	47,8
<u>Краснодонский район</u>				2	10,7	51,8
1		12,5	52,3	3	10,1	53,5
2		11,7	44,9	<u>Тацинский район</u>		
3		11,5	47,9	1	11,1	52,2
4		11,3	47,5	2	10,7	48,2
5		11,7	53,9	<u>Гуково-Зверевский район</u>		
6		11,0	53,8	1	11,4	52,6
1		7,4	33,2	2	9,8	43,0
<u>Ореховский район</u>				3	9,0	40,1
1		10,9	49,6	4	9,3	40,6
<u>Боково-Хрустальский район</u>				<u>Краснодонецкий район</u>		
1		9,2	40,7	1	10,4	44,5
2		9,9	44,6	<u>Сулино-Садкинский район</u>		
3		10,4	46,7	1	10,5	49,0
4		10,2	53,9	2	11,9	52,5
<u>Должанский район</u>				<u>Задонский район</u>		
1		11,4	52,5	1	12,4	49,2
2		9,9	49,9			
3		8,7	40,4			

Продолжение таблицы П 1.1

1	2	3	1	2	3
<u>Шахтинско-Несветаевский район</u>					
1	11,3	48,5	5	11,1	44,2
2	10,4	42,5	6	11,3	45,0
3	10,0	39,3	7	11,9	45,3
4	10,4	40,9			

Привязка шахтных полей и геологопромышленных комплексов к геотермическим участкам Донбасса

Номера геотермических участков	Название шахт, шахтоуправлений и геологопромышленных комплексов
1	2

ЛГО-ЗАПАДНАЯ ЧАСТЬ ДОНБАССА

Красноармейский район

- | | |
|---|--|
| 1 | ш."Украина", ш."Селидовская-южная", ш.им.Коротченко, ш."Россия", ш/у Кураховское, ш.5-6 им. димитрова, ш. I "Новогородовка", ш.2-"Новогородовка", ш.3-3-оно. |
| 2 | ш."Краснолиманская", ш.1-"Центральная", ш."Родинская", ш."Красноармейская-Капитальная", уч. Северо-Родинский Глубокий № 2. |
| 3 | ш. 1-2 "доорополье", ш.им. XXI съезда КПСС, ш."Водянская" |
| 4 | г/ш "Красноармейская", ш. 17-18 РККА, ш. 3 "Доорополье". |
| 5 | г ш "Пионер" Д-2, Терешковская перспектива |
| 6 | ш.им. Т.Г.Шевченко, дооропольская западная перспектива. |

ЛЖНО-Донбасский район

- | | |
|---|--|
| 1 | ЛЖНО-ДОНБАССКИ. №4, ЛЖНО-ДОНБАССКИЙ № 6
(без северной части) |
| 2 | ЛЖНО-ДОНБАССКИЙ 2,3,5,8-9. |
| 3 | Кураховская перспектива, Западно-Кураховская перспектива, уч.ЛЖНО-ДОНБАССКИЙ № 6 - северная часть. |

Донецко-Макеевский район

- | | |
|---|--|
| 1 | уч. Петровский Глубокий, уч.Георгиевский, Трудовской-Глубокий, Кураховский Глубокий, Черкашевский Глубокий. |
| 2 | ш.им.Челюскинцев, ш.4-2I, ш.1I и ш.12 ш/у Трудовское, ш."Петровская-Глубокая" комбината Донецкшахтострой, уч.Александровский, уч. Курахово-Марьинский. |

1	2
3	ш.им. Абакумова, ш."Октябрьская", ш.10-бис, Октябрьский рудник комбината Донецкшахтострой
4	ш.2-7 "Лидиевка", ш.им.Засядько - стр. № 8, ш.№ 13, ш."Кировская" ш. № 29, ш."Ново-Центральная", ш.им. газеты Социалистический Донбасс", ш.им. Калинина, ш. № 31.
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.Баханова, 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.Бытова, ш."Грузская-Наклонная", ш."пролетарская-Глубокая", ш.им.Ленина, ш."Колосниковская № 1" ш/у им. Ленина, ш/у им. Кирова, ш/у Ясиновское, Макеевско-Ханжоновская площадь - южная часть.
10	ш/у Холодная Балка, ш."Колосниковская" № 2 ш/у им. Ленина, Харцызско-Иловайская площадь, уч. Ханжоновско-Каменский.
11	ш. "Ясиновская-Глубокая" ш/у Ясиновское, ш/у 3-й Пятилетки.
12	пролетарская перспектива, Ново-Моспино, Н-Крынка Глубокая; Иловайская перспектива.

Чистяково-Снежнянский район

1	ш/у Тернопольское, ш/у Рассвет, ш/у Мдановское, ш/у Зуевское.
2	ш."Волинская", ш/у Торезское, ш."Шахтерская" ш/у им. I Мая, ш."Киевская", ш/у Постышковское, ш."Фоминская", ш."Контарная", ш."Виктория", ш/у им. Чапаева, ш.14-14-бис, ш. 2-2-бис, ш."Шахтерская-Глубокая" комбината Донецкшахтострой, Зуево-Ореховская площадь, ш.Дутугина, ш."Донецкая", ш/у Кисилева,

Продолжение таблицы II.1.2

I	1	2
3	ш. "Объединенная", ш. № 17, ш. "Снежинская", ш. "Прогресс" - южное крыло, уч. Донецкий-Капитальный.	ш. "Винницкая", ш/у Стожковское, ш. "Московская", ш/у Комсомольское, уч. Россыпнянский, ш/у Красная Звезда, ш. 3-бис, ш. "Лесная", ш. "Суходольская", ш. "Миусская", ш. "Прогресс" - северное крыло.

Центральный район

1	ш. им. Дзержинского, ш/у Торецкое, уч. дзержинский Глубокий.	ш. им. Ворошилова, ш. им. Изотова, ш. им. Артема, ш. "Лужная",
2	ш. им. Гагарина, ш. "Комсомолец", ш. им. Ленина, уч. Румянцевский Глубокий - западное крыло.	ш. "Кочегарка", ш. им. Румянцева, ш. им. Гаевского, ш. им. Калинина,
3	ш. "Александровская-Западная", ш. им. К. Маркса, уч. Румянцевский Глубокий - восточное крыло.	ш. "Красный профинтерн", ш. "Красный Октябрь", ш. "им. Коммунаров", ш/у Александровское, ш/у Угледгорская-Западная.
4	ш. "Бнакиевская", ш. "Полтавская Комсомольская", уч. Миуссинский Северный, уч. Миуссинский № 1 и № 2 (северная часть); Анкомовская перспектива.	уч. Угледгорский, Северо-Миусская перспектива, уч. Миусский, уч. Миусский № 1 и № 2 (южная часть).
5	уч. Угледгорский, Северо-Миусская перспектива, уч. Миусский, уч. Миусский № 1 и № 2 (южная часть).	
6		

СРЕДНЯЯ ЧАСТЬ ДОНЬАССА

Старобельский район

уч. проф. Рубежанский, пл. Варваровская, пл. Боровская,
уч. проф. Пугачев-Айдарский, пл. Муратовская, пл. Грачишк-
окая.

пл. Краснодержкульская, пл. Лобочевская.

уч. Богдановский, уч. Богдановский № 6, уч. Богдановский 5-7.

Лисичанский район

ш. "Кременная", ш. им. Капустина, ш. "Привольнянская", ш. "Ново-
дружеская", уч. ш. "привольнянской", уч. Северо-Лисичанский.

1	1	2
2		ш.им.мельникова, уч.ш.им.Мельникова, ш."Черноморка", ш."Матросская", ш."Войкова", уч.Горский Глубокий.

Алмазно-Марьевский район

1		ш."Горская", ш."Карбонит", ш."Радуга", уч.Горский Глубокий уч.Светлановский
2		ш."Родина", ш."Золотое", ш."Михайловская", ш."Менжинского", ш."Сокологорова", ш.им.Кирова, ш."Голубовская", ш.№ 100, ш. № 77, ш.ХХII съезда КПСС, ш."Максимовская", ш.им.Чеснокова, ш.3-3-онс, ш."Криничанская", ш."Божановская", ш."Гонимовская", 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.1-1-онс, уч.Мироновский Глубокий, Сануаровская перспектива, уч.Ломоватский, уч.Анненский Вертикальный.

Луганский район

1		ш."Черкасская", ш/у Черкаское, ш."Славяносербская", ш."Лотикова", ш/у Черкаское, уч.Тельмановский (зап.крыло),
2		ш/у XIX съезда КПСС, ш."Белореченская", ш/у им.Ленина, уч.Сутаган Пологий.
3		уч.КлимЭвский, уч.Тельмановский (вост.крыло), уч.Новосветловский.
4		уч.Чыпаевского рудника
5		уч.Менчекуровский

Краснодонский район

1		уч.Краснодонский Северный, Краснодонская линия переселения
2		уч.Краснодонский Северный I.

I	1	2
3	ш."Молодогвардейская", ш. 50 лет СССР, ш."Самсоновская Западная" комбината "Ворошиловградшахтопроходка".	
4	ш."Северная", ш."победа", ш/у Суходольское, ш."Лютикова", ш."дуванная", ш. им.Баракова, ш. "Суходольская-Восточная", комбината Ворошиловградшахтопроходка.	
5	ш."Энгельсовская", ш."Ореховская", ш."Галовская", ш."Красно- донская", Ореховская восточная перспектива, уч.Краснодон- ский Глубокий - зап.крыло.	
6	ш."Краснодарская", уч.Краснодонский Глубокий - восточное крыло, уч. Краснодонский Южный.	
Селезневский район		
1	ш/у Зоринское, ш/у им. Косиора, ш/у им. Артема, ш/у Украина, ш/у Черевальское, уч. Селезневский, уч. Анненковский Вертикальный - южное крыло.	
Ореховский район		
1	уч. Первоозвановский, уч. Лутугинский южный I, Лутугинская южная перспектива.	
Боково-лугостальский район		
1	ш/у Запорожское, ш.152, ш/у Краснокутское, уч. Краснолучский I, уч. Фашевский южный.	
2	ш.4 ш/у лугостальское, ш.7-8, ш."Знамя коммунизма". ш."Миуссинская", ш/у Алмазное, уч.Фашевский, рудник, уч. Гра- бовский рудник.	
3	ш.21 ш/у Краснокутское, ш."Известия" и Ю-Ю-оис ш/у им. газеты "Известия", ш. 32 ш/у им. газеты "Ворошиловград- ская Правда", ш.им.Вахрушева, ш."Центральная", ш.30 ш/у им. газеты "Ворошиловградская Правда", ш."Новоавловская", ш. "Краснолучская", ш.4-оис ш/у Знамя коммунизма, ш.им.ХХІУ съезда КПСС, уч.Нагольчанский западный.	

I	I	2
4	ш/у нагольчанское, ш."Партизанская", ш."Дружба", ш/ум. 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 перспектива, 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.7I ш/у Маяк, уч.Должанский-ажный, уч.Должанский-лжний № I	

ВОСТОЧНАЯ ЧАСТЬ ДОНБАССА

Миллеровский район

I	Миллеровская западная поисковая площадь	
---	---	--

Каменско-Гундоровский район

I	уч. Грачинский Западный, уч.Грачинский, уч.Карачевский, уч. Глубокий № I	
2	ш."Донецкая", ш."Центральная", ш."Гундоровская", ш."Изверинская", ш."Западная", уч.Михайловский лжний, уч. Михайловский лжний 2,3,4, уч. Деревеченский № 3, № 6	
3	уч. Каменский I,II, Южно-Каменский I,II, Северо-Донецкий №I, 3, Лиховский Северный № 2.	

Белокалитвенский район

I	Дядиновский комплекс, уч.Яоиновский, уч.Бугаевский восточный, уч. Глубокий, ш/у Белокалитвенское, ш.5.	
2	Северо-Дядиновская поисковая площадь, уч.Горняцкий Западный I,II,III,Шолоховский Глубокий, уч.Сухой 2, Сухой лжний,	

I	I	2
3	уч. Жерновский, ш/у Белокалитвенское, ш. № 4. ш. "Восточная", ш. "Шолоховская", уч. Горняцкий Южный № 2, Западно-Быстрианский, Тацинский Ш, Горняцкий Крутой, Горняцкий Крутой 2, Грачевский Северный	
Тацинский район		
I	уч. ш. "Быстрианской I, П, уч. Тацинский, уч. Тацинский За- мовый северный и южный, уч. Михайловский I, П, Ш, IV, ш/у Тацинское.	
2	уч. Коминтерновский, уч. Быстрианский 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. Лихов- ской, 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. "Гуков- ская", ш. "Октябрьская", уч. Заповедный Восточный, уч. За- поведный Южный, ш. "Степная".	
3	ш. "Зверевская", ш. "Обуховская" комбината Ростовшахтострой, ш. "Дальняя", Свободная площадь Гуково-Зверевского угле- носного района, уч. ш. Обуховская Западная, уч. ш. Обухов- ской I, уч. Шерловский южный I.	
4	Калиновский комплекс, уч. Калиновский Бостонный, уч. Кали- новский 2, ш. "Шерловская".	
Краснодонецкий район		
I	ш/у Краснодонецкое, уч. Краснодонецкий Замокский, Красно- донецкий Глубокий, уч. ш. "Краснодонецкий" I, Краснодонец- кий Северный I, Усть-Быстрианский, уч. Серебряковский.	

1	!	2
Сулино-Садкинский район		
1		уч.Сулинский Северный I, Сулинский Северный П, уч.ш."Сулинская" № 1,2 и 3.
2		уч. Горный I,П,Ш,IУ, уч. Садкинский № 2 Западный, уч. Садкинский № 2 Центральный, уч. Южно-Кундрюченский, уч. ш."Южно-Кундрюченский"
Шахтинско-Несветаевский район		
1		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.3-1-бис (закрыта), ш."Юбилейная",ш.им.Ленина, ш/у Степановское, ш.3-2-бис, ш.им. Кирова, уч.Кировский Южный I,3, Актинский Западный, Актинский Глубокий, уч. Степановский
4		ш."Наклонная",ш."Актинская",уч.Актинский Глубокий, Шахтинский Глубокий, Актинский 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."Красная", уч. Красинский южный, уч. Октябрьский южный.
7		уч. Ягодинский, Ягодинский Восточный, уч.ш."Бессергеевской", Корчикский, Корчикский южный, уч.ш."Раздорской" I. Западный I,2, Раздорский, Южно-Раздорский комплекс.

1	1	2
Задонский район		
уч Ново-Золотовский I, II, III, IV и V, Ново-Золотовский		
Глубокий, Ново-Золотовский Запковий, Семикаракорский лѣзо-		
бережный, Семикаракорский южный, Степановский I и II,		
Виоловский I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X, XI.		

Парциальное давление насыщенного водяного пара

t °C	p_n мм рт.ст.	t °C	p_n мм рт.ст.	t °C	p_n 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

I	!	2	!	I	!	2	!	I	!	2
8,7		8,43		12,3		10,73		15,9		13,55
8,8		8,49		12,4		10,80		16,0		13,64
8,9		8,55		12,5		10,87		16,1		13,73
9,0		8,61		12,6		10,94		16,2		13,81
9,2		8,73		12,8		11,08		16,4		13,99
9,3		8,79		12,9		11,15		16,5		14,08
9,4		8,85		13,0		11,23		16,6		14,17
9,5		8,91		13,1		11,30		16,7		14,26
9,6		8,97		13,2		11,37		16,8		14,35
9,7		9,03		13,3		11,45		16,9		14,44
9,8		9,09		13,4		11,53		17,0		14,53
9,9		9,15		13,5		11,61		17,1		14,62
10,0		9,21		13,6		11,68		17,2		14,71
10,1		9,27		13,7		11,75		17,3		14,80
10,2		9,33		13,8		11,83		17,4		14,90
10,3		9,39		13,9		11,91		17,5		15,00
10,4		9,45		14,0		11,99		17,6		15,09
10,5		9,52		14,1		12,06		17,7		15,18
10,6		9,58		14,2		12,14		17,8		15,28
10,7		9,64		14,3		12,22		17,9		15,38
10,8		9,70		14,4		12,30		18,0		15,48
10,9		9,77		14,5		12,38		18,1		15,57
11,0		9,84		14,6		12,46		18,2		15,67
11,2		9,90		14,7		12,54		18,3		15,77
11,2		9,97		14,8		12,62		18,4		15,87
11,3		10,04		14,9		12,70		18,5		15,97
11,4		10,11		15,0		12,79		18,6		16,07
11,5		10,18		15,1		12,87		18,7		16,17
11,6		10,24		15,2		12,95		18,8		16,27
11,7		10,31		15,3		13,03		18,9		16,31
11,8		10,38		15,4		13,12		19,0		16,48
11,9		10,45		15,5		13,21		19,1		16,58
12,0		10,52		15,6		13,29		19,2		16,68
12,1		10,59		15,7		13,37		19,3		16,78
12,2		10,66		15,8		13,46		19,4		16,89

I	1	2	I	1	2	I	1	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			

1	2	1	2	1	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
41,7	60,56	43,2	65,504	44,7	70,808
41,8	60,88	43,3	65,846	44,8	71,172
41,9	61,20	43,4	66,188	44,9	71,536
42,0	61,52	43,5	66,53	45,0	71,9
42,1	61,846	43,6	66,88	45,1	72,264
42,2	62,172	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	63,150	44,0	68,28	45,5	73,760
42,6	63,484	44,1	68,64	45,6	74,172
42,7	63,818	44,2	69,00	45,7	74,524
42,8	64,152	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
43,1	65,162	44,6	70,444		

Таблица П.3.1

Теплофизические свойства транспортируемого угля

Марка угля	Выход летучих, %	Теплофизиче- ские свойства	Размерность	Влажность транспортируемого ископаемого, %					
				I	3	5	7	9	II
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
А	2-5	С λ α	ккал/кг. ^{0С} ккал/м.ч. ^{0С} 10 ⁴ м ² /ч	0,255 0,107 5,24	0,270 0,127 5,87	0,285 0,149 6,53	0,300 0,170 7,08	0,316 0,191 7,55	0,330 0,212 8,03
	5-8	С λ α		0,263 0,098 4,65	0,278 0,116 5,21	0,293 0,136 5,80	0,308 0,156 6,33	0,322 0,175 6,79	0,337 0,194 7,19
ПА	8-12	С λ α		0,269 0,092 4,25	0,284 0,109 4,84	0,298 0,128 5,34	0,313 0,146 5,82	0,328 0,164 6,25	0,343 0,182 6,65
Т,	12-15	С λ α		0,274 0,086 3,92	0,289 0,103 4,45	0,304 0,121 4,97	0,318 0,138 5,42	0,333 0,155 5,81	0,348 0,172 6,17
ОС	15-18	С λ α		0,282 0,081 3,59	0,297 0,097 4,08	0,311 0,113 4,54	0,326 0,130 4,98	0,340 0,145 5,33	0,355 0,162 5,70
К	18-22	С λ α		0,288 0,078 3,41	0,302 0,094 3,88	0,317 0,110 4,36	0,331 0,126 4,74	0,346 0,141 5,11	0,360 0,157 5,44

Приложение 3
Таблица П.3.2.

Значения средних безразмерных температур $\theta_{\text{вн}}$ и $\theta_{\text{вк}}$ для
ископаемого в вагонетках

$F_0 \cdot 10^4$	B_0										
	1	3	5	10	16	20	30	50	100	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
1	0,9997	0,9993	0,9991	0,9972	0,9957	0,9948	0,9927	0,9892	0,9832	0,9771	0,9663
2	0,9994	0,9986	0,9983	0,9946	0,9918	0,9902	0,9865	0,9808	0,9722	0,9645	0,9527
4	0,9989	0,9974	0,9967	0,9896	0,9846	0,9817	0,9756	0,9669	0,9551	0,9460	0,9335
6	0,9984	0,9963	0,9951	0,9849	0,9780	0,9741	0,9660	0,9551	0,9414	0,9316	0,9189
8	0,9980	0,9951	0,9936	0,9804	0,9717	0,9669	0,9573	0,9447	0,9298	0,9194	0,9067
10	0,9975	0,9940	0,9921	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	0,9152	0,8972	0,8787	0,8674	0,8546
40	0,9910	0,9780	0,9700	0,9211	0,8962	0,8842	0,8636	0,8420	0,8218	0,8104	0,7979
60	0,9866	0,9674	0,9556	0,8909	0,8603	0,8463	0,8231	0,7999	0,7793	0,7679	0,7558
80	0,9821	0,9566	0,9410	0,8638	0,8291	0,8137	0,7889	0,7650	0,7443	0,7330	0,7212
100	0,9774	0,9456	0,9264	0,8391	0,8012	0,7848	0,7590	0,7347	0,7141	0,7030	0,6915

Теплофизические характеристики крепежных и изоляционных материалов

Наименование материала	Плотность кг/м ³	Теплофизические свойства		
		$\alpha \cdot 10^4, \text{м}^2/\text{ч}$	$\alpha, \frac{\text{ккал}}{\text{см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{°C}}$	$\alpha, \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}}$
Бетон	1900-2270	20,0-23,0	0,211	0,8-1,1
Пенобетон	400-600	15,0-13,3	0,25	0,15-0,20
Бетон сухой	2180	11,0	0,27	0,65
Железобетон	2200-2400	27,3-27,1	0,20	1,2-1,3
Шлакобетон	2150	17,7	0,21	0,8
Бутовая кладка	1700-2200	23,5-27,3	0,20	0,8-1,2
Шлак гранулированный	500-600	11,1-13,9	0,18	0,10-0,15
Кирпич красный обожженный	1400-1300	16,2-20,2	0,22	0,5-0,8
Кирпичная кладка влажная	1960	19,5	0,22	0,84
Дерево	500-800	4,0-4,2	0,60	0,12-0,20
Дуб, перпендикулярно волокну	780-820	3,8-4,1	0,60	0,18-0,20
То же, параллельно волокну	780-820	6,4-7,1	0,60	0,30-0,35
Сосна и ель, пер- пендикулярно во- локну	580-620	3,2-3,7	0,65	0,12-0,15
То же, параллель- но волокну	580-620	7,4-8,2	0,65	0,28-0,33
Стекловолокно	200	9,6-28,7	0,157	0,03-0,09
Шлаковата	200-300	9,4-13,0	0,18	0,034-0,07
Пенопласт (ФПП-I, резопен)	75-100	13,0-10,5	0,38	0,037-0,04
Пенополистирол ПСБ-С	50	16,4	0,40	0,0328
Перлитопласт бетон	230	5,6	0,32	0,041
Пенополиуретан ППУ-6	60	15,1	0,36	0,0326
Минеральная вата	250-400	8,0-8,0	0,25	0,05-0,08
Минеральный войлок	250-350	9,6-9,1	0,25	0,06-0,08

Приложение 5

Таблица П.5

Значения коэффициента K_p в зависимости от критерия Коссовича K_0 и температурного симплекса K_T

K_T	K_p при различных значениях критерия Коссовича $ K_0 $								
	0,1	0,5	1,0	5	10	15	20	25	30
0	0,99	0,80	0,60	0,33	0,25	0,19	0,17	0,152	0,14
0,1	0,85	0,657	0,542	0,3	0,223	0,184	0,164	0,148	0,136
0,5	0,586	0,506	0,448	0,276	0,21	0,171	0,150	0,142	0,132
1	0,428	0,394	0,359	0,244	0,19	0,167	0,15	0,136	0,126
2	0,287	0,276	0,266	0,201	0,168	0,15	0,136	0,125	0,117
4	0,170	0,17	0,169	0,15	0,132	0,122	0,113	0,106	0,1
8	0,101	0,101	0,101	0,095	0,09	0,086	0,083	0,078	0,076
12	0,073	0,073	0,073	0,07	0,067	0,065	0,064	0,062	0,06
16	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. 12,2 Учетно-изд. лист.

Заказ № 2388 Тираж 170 экз.

Ротапринт гортипографии № 2

340002, г. Донецк, пр. Б. Хмельницкого, 102