

Министерство образования и науки Украины  
Государственное высшее учебное заведение  
«Национальный горный университет»

*Библиотека иностранного студента*



***В.А. Кузин,  
С.А. Алексеенко,  
И.А. Шайхлисламова***

# ***КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ РУДНИЧНОГО ВОЗДУХА***

*Учебное пособие*

*Под общей редакцией профессора Кузина В.А.*

Днепропетровск  
НГУ  
2014

УДК(622.413+622.481)(075.8)

ББК 33.18 я73

К 89

*Рекомендовано Министерством образования и науки Украины (№1/11-5838 от 18.04.2014) как учебное пособие для студентов направления подготовки 6.050301 Горное дело*

Рецензенты:

**П.С. Пашковский**, д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки и техники Украины (НИИГД «Респиратор», первый заместитель директора по научной работе);

**В.Б. Скрышников**, д-р техн. наук, проф. (ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», профессор кафедры отопления, вентиляции и качества воздушной среды);

**А.Е. Лапшин**, д-р техн. наук, проф. (Криворожский национальный университет, профессор кафедры рудничной аерологии и охраны труда).

**К 89 Кузин В.А.**

Кондиционирование рудничного воздуха: учеб. пос./ В.А. Кузин, С.А. Алексеенко, И.А. Шайхлисламова; под общ. ред. В.А. Кузина; – М-во образования и науки, Нац. горн. ун-т. – Д.: НГУ, 2014. – 368 с.

ISBN 378-966-350-474-2

Рассмотрены основные факторы, влияющие на тепловые параметры воздуха при его движении по горным выработкам шахт; приведены основы теории теплообмена между горным массивом и рудничным воздухом; термодинамические параметры шахтного воздуха; представлены теоретические основы расчёта изменения параметров воздуха в выработках различного назначения: проветриваемых за счёт общешахтной депрессии и вентиляторами местного проветривания; методология изучения и особенности формирования теплового режима в выработках глубоких шахт.

Приведены способы и средства регулирования теплового режима в шахтах и рудниках; способы и средства подогрева воздуха, подаваемого в шахту в зимний период времени; средства противотепловой защиты горнорабочих.

Пособие соответствует программе дисциплины «Промышленная вентиляция и кондиционирование воздуха» для студентов направления подготовки «Горное дело» по отрасли знаний – «Разработка полезных ископаемых» и может быть использовано проектными организациями, при подготовке и повышении квалификации инженерно-технических работников горных предприятий и объединений, а также аспирантами и студентами, обучающимся по направлению «Горное дело».

УДК(622.413+622.481)(075.8)

ББК 33.18 я73

© В.А. Кузин, С.А. Алексеенко,  
И.А. Шайхлисламова, 2014  
© НГУ, 2014

ISBN 378-966-350-474-2

# СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> .....	8
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	10
<b>УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ</b> .....	12
 <b>Часть I.</b>	
<b>Раздел 1. Основные факторы, влияющие на тепловые параметры воздуха при его движении по горным выработкам</b> .....	17
1.1. Температура горного массива .....	18
1.2. Температура поступающего в шахту воздуха .....	20
1.3. Повышение температуры воздуха при движении его по вертикальным и наклонным выработкам .....	21
1.4. Массообменные процессы, происходящие в горных выработках .....	23
1.5. Окислительные процессы .....	24
1.6. Тепловыделения от электрических и механических установок и других источников тепла .....	25
<b>Раздел 2. Основы теории теплообмена между горным массивом и воздухом в выработках</b> .....	38
2.1. Способы передачи тепла .....	39
2.2. Передача тепла теплопроводностью .....	40
2.3. Дифференциальное уравнение температурного поля .....	42
2.4. Теплофизические характеристики горных пород .....	44
2.5. Передача тепла конвекцией .....	45
2.6. Коэффициент теплоотдачи .....	47
2.7. Передача тепла излучением .....	49
2.8. Нестационарный теплообмен между воздухом и горным массивом .....	52
2.9. Аналитические зависимости для коэффициента нестационарного теплообмена .....	55
<b>Раздел 3. Термодинамические параметры рудничного воздуха</b> .....	60
3.1. Основные свойства влажного воздуха .....	60
3.2. <i>I-d</i> диаграмма влажного воздуха .....	66
3.3. Построение термодинамических процессов воздуха на <i>I-d</i> диаграмме .....	69
Вопросы для самостоятельного контроля знаний .....	72
 <b>Часть II.</b>	
<b>Раздел 4. Теоретические основы расчёта изменения параметров воздуха в выработках различного назначения, проветриваемых за счёт общешахтной депрессии</b> .....	74
4.1. Температура воздуха в горных выработках при заданном законе изменения его относительной влажности .....	74
4.1.1. Обоснование допущений и исходные данные при математической формулировке задачи .....	74
4.1.2. Аналитические зависимости для расчёта температуры воздуха в воздухоподающих выработках различного назначения .....	79

4.2. Температура утечек воздуха из выработанного пространства выемочных участков при различных схемах их проветривания .....	82
4.2.1. Теплообменные процессы в выработанном пространстве выемочных участков при различных способах управления горным давлением .....	82
4.2.2. Определение коэффициента нестационарного теплообмена при управлении кровлей полным обрушением .....	85
4.2.3. Нестационарный теплообмен между породами выработанного пространства и утечками воздуха при плавном опускании кровли (удержании на кострах) .....	88
4.3. Аналитические зависимости для расчёта температуры утечек воздуха из выработанного пространства при различных схемах проветривания выемочных участков .....	94
4.3.1. Математическая формулировка задачи .....	94
4.3.2. Температура утечек воздуха при возвратноточной на выработанное пространство схеме проветривания участка .....	96
4.3.3. Температура утечек воздуха из выработанного пространства при прямоточных схемах проветривания участка .....	100
4.3.4. Температура утечек воздуха из выработанного пространства при возвратноточной на массив угля схеме проветривания участка .....	102
4.4. Расчёт температуры воздуха в лавах при поступлении теплопритоков воздуха из выработанного пространства .....	106
4.5. Аналитические зависимости для расчёта температуры воздуха в выработках с исходящей струёй при заданном законе притечек воздуха по их длине .....	108
<b>Раздел 5. Теоретические основы расчёта изменения параметров воздуха в выработках, проветриваемых вентиляторами местного проветривания .....</b>	<b>114</b>
5.1. Анализ методов прогноза тепловых условий в тупиковых горных выработках .....	114
5.2. Аналитические зависимости для расчёта температуры воздуха в тупиковых горных выработках .....	119
5.2.1. Математическая модель теплообменных процессов .....	119
5.2.2. Температура воздуха в характерных пунктах тупиковой горной выработки при естественных условиях формирования теплового режима ....	121
5.2.3. Температура воздуха в характерных пунктах тупиковой выработки при искусственном охлаждении воздуха .....	123
Вопросы для самостоятельного контроля знаний .....	131
<b>Часть III.</b>	
<b>Раздел 6. Методологические основы изучения теплового режима глубоких шахт .....</b>	<b>132</b>
6.1. Задачи и методы изучения теплового режима действующих шахт .....	132
6.2. Контроль и анализ теплового режима шахт .....	134

6.2.1. Тепловые съёмки в шахтах.....	134
6.2.2. Организация и методика выполнения тепловой съёмки .....	145
6.2.3. Геотермические измерения .....	149
6.2.4. Обработка материалов тепловой съёмки и геотермических измерений ...	151
6.2.5. Анализ теплового баланса горных выработок и шахты .....	154
6.3. Нормы шахтного микроклимата .....	155
<b>Раздел 7. Тепловые условия в глубоких шахтах Донецкого бассейна ...</b>	<b>161</b>
7.1. Характеристика и особенности формирования теплового режима в горных выработках шахт, разрабатывающих пологие и наклонные пласты .	161
7.1.1. Горнотехнические характеристики глубоких шахт .....	161
7.1.2. Классификация глубоких шахт по горнотехническим условиям разработки .....	163
7.1.3. Количественная оценка влияния горнотехнических параметров горных работ на формирование тепловых условий в выработках различного назначения .....	165
7.1.4. Рациональные по тепловому фактору технические и вентиляционные параметры при разработке глубоких шахт и горизонтов .....	168
7.2. Характеристика и особенности формирования теплового режима глубоких шахт, разрабатывающих крутые и крутонаклонные пласты .....	176
7.2.1. Горногеологические и горнотехнические условия разработки пластов	176
7.2.2. Тепловой режим горных выработок шахт .....	184
7.3. Тепловой режим тупиковых горных выработок глубоких шахт .....	190
7.3.1. Особенности формирования микроклимата в тупиковых выработках	190
7.3.2. Тепловые условия в тупиковых выработках глубоких шахт .....	195
7.4. Перспективы развития глубоких шахт Донбасса .....	197
Вопросы для самостоятельного контроля знаний .....	200

#### **Часть IV.**

<b>Раздел 8. Способы и средства регулирования теплового режима глубоких угольных шахт .....</b>	<b>202</b>
8.1. Классификация способов регулирования теплового режима .....	202
8.2. Горнотехнические и технологические способы нормализации климатических условий в выработках глубоких горизонтов .....	207
8.2.1. Общие положения .....	207
8.2.2. Исходные данные для тепловых расчетов при оценке способов нормализации климатических условий в выработках глубоких горизонтов .....	209
8.2.3. Порядок выбора способов нормализации климатических условий на выемочных участках.....	210
8.2.4. Горнотехнические способы нормализации климатических условий на выемочных участках .....	210
8.2.5. Технологические мероприятия по нормализации тепловых условий на выемочных участках .....	214
8.2.6. Специальные горнотехнические способы нормализации климатических условий на выемочных участках .....	217

8.2.7. Технико-экономическая оценка горнотехнических способов нормализации климатических условий .....	222
8.3. Искусственное охлаждение шахтного воздуха .....	224
8.3.1. Общие положения .....	224
8.3.2. Принципы работы холодильной машины .....	225
8.3.3. Шахтные холодильные системы и средства кондиционирования воздуха .....	235
8.3.4. Отечественные технические средства для охлаждения воздуха .....	246
8.4. Опыт внедрения стационарной холодильной установки на базе отечественного оборудования на глубокой шахте Донбасса .....	254
8.5. Альтернативная система кондиционирования рудничного воздуха путём перераспределения тепловлажностного потенциала в сети воздухоподающих выработок .....	258
8.5.1. Закономерности формирования тепловлажностного потенциала рудничного воздуха в горных выработках .....	258
8.5.2. Способ перераспределения тепловлажностного потенциала рудничного воздуха .....	261
8.5.3. Установка кондиционирования рудничного воздуха по реализации способа перераспределения тепловлажностного потенциала .....	263
8.6. Оценка эффективности работы систем кондиционирования воздуха ....	267
8.7. Социально-экономическая оценка внедрения мероприятий и средств по охлаждению рудничного воздуха .....	268
Вопросы для самостоятельного контроля знаний .....	276

## **Часть V.**

<b>Раздел 9. Средства противотепловой защиты горнорабочих .....</b>	<b>278</b>
9.1. Средства индивидуальной противотепловой защиты горнорабочих ...	279
9.1.1. Противотепловая одежда для горнорабочих .....	279
9.1.2. Средства обеспечения противотепловой одежды .....	284
9.1.3. Средства оказания помощи пострадавшим при перегревании и механических травмах .....	286
9.2. Средства коллективной противотепловой защиты горнорабочих .....	289
9.2.1. Комплекс бокс-базы горноспасательной НИИГД .....	289
9.2.2. Мобильная установка для защиты горнорабочих от перегревания «Релаксатор» .....	291
9.2.3. Способ и установка для регулирования теплового излучения в забоях подготовительных выработок .....	295
Вопросы для самостоятельного контроля знаний .....	298

## **Часть VI.**

<b>Раздел 10. Способы и средства обогрева воздухоподающих стволов в зимний период года .....</b>	<b>299</b>
10.1. Количественная оценка потребностей шахт в тепле в течение года ....	299

10.2. Анализ технологических схем и способов обогрева воздухоподающих стволов в холодные периоды года .....	302
10.3. Опыт и проблемы использования низкопотенциальных природных и вторичных энергетических ресурсов в системах тепло- и холодоснабжения угольных шахт .....	314
10.4. Средства и способы подогрева воздуха, подаваемого в шахту в зимний период года .....	315
10.5. Конструктивные особенности и требования к шахтным калориферным установкам .....	321
10.6. Проектирование калориферной установки.....	324
Вопросы для самостоятельного контроля знаний .....	325
<b>ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ .....</b>	<b>326</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ .....</b>	<b>334</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>353</b>
<b>ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ .....</b>	<b>363</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>366</b>

## ПРЕДИСЛОВИЕ

*Посвящается 115- летию  
ГВУЗ «НГУ»*

Учебное пособие «Кондиционирование рудничного воздуха» предназначено для подготовки бакалавров по направлению – «Горное дело», которое написано в соответствии с программой дисциплины, разработанной кафедрой аэрологии и охраны труда Государственного высшего учебного заведения «Национальный горный университет». Учебным планом подготовки специалистов предусмотрено изучение дисциплин, формирующих знания и умения горных инженеров по всему комплексу вопросов связанных с созданием безопасных и безвредных условий труда горняков.

Поэтому в учебный план целевой подготовки бакалавров включена дисциплина «Промышленная вентиляция и кондиционирование воздуха». Выделение этой дисциплины в самостоятельный курс обусловлено значительным объемом информации, которую должны усвоить и приобрести студенты в процессе изучения данной дисциплины для проектирования и разработки организационно-технических мероприятий по нормализации тепловых условий на рабочих местах глубоких шахт.

Кроме того, введение такой дисциплины позволяет изложить ряд специфических вопросов, связанных с новой нетрадиционной технологией кондиционирования рудничного воздуха в глубоких угольных шахтах, что расширяет объем знаний студентов, специализирующихся в данной области и позволяет расширить сферу их использования в практической работе.

Пособие подготовлено с участием специалистов Государственного Макеевского научно-исследовательского института по безопасности работ в горной промышленности (МакНИИ).

Методам прогноза и оценки тепловых условий в глубоких угольных шахтах за 70-ти летний период посвящен ряд монографий, научных статей и разработан целый ряд нормативных документов. Наиболее значительными из них, определяющими отдельные этапы развития горной теплофизики, являются работы: А.Н. Щербаня, О.А. Кремнева, А.Ф. Воропаева, В.П. Черняк, С.Г. Ягельского, В.Я. Журавленко, Ю.Д. Дядькина, А.Г. Дуганова, Б.И. Медведева, Н.Н. Хохотвы, В.А. Кузина, Л.Б. Зимина, В.И. Муравейника, В.Б. Скрыпникова, М.И. Фандеева, Ю.А. Цейтлина, В.К.Черниченко, А.Ф. Галкина, Ю.В. Шувалова и др.

Изучению теплового режима, разработке и совершенствованию методов прогноза, способов и средств регулирования тепловых условий в глубоких



угольных шахтах за последние пятнадцать лет посвящены работы В.Р. Алабьева, С.А. Алексеенко, В.А. Бойко, И.Р. Венгерова, А.Ф. Галкина, И.Н. Зинченко, В.А. Кузина, А.А. Лапшина, А.Е. Лапшина, И.Ф. Марийчука, А.А. Мартынова, Ю.И. Оксенья, П.С. Пашковского, В.Л. Сахновского, В.А. Стукало, И.А. Шайхлисламовой, А.К. Яковенко и др.

В упомянутых работах установлены закономерности формирования тепловых условий в глубоких угольных шахтах и оценено их влияние на работоспособность и производительность труда горнорабочих. Они являются логическим продолжением и развитием исследований основоположников горной теплофизики А.Н. Щербаня, О.А. Кремнева, В.Я. Журавленко, А.Ф. Воропаева, Ю.Д. Дядькина, С.Г. Ягельского, создавших теоретические основы прогноза и исследований теплового режима в выработках различного назначения глубоких шахт и рудников.

При подготовке пособия максимально учтены требования НПАОП 1.1.30-1.01-10 «Правила безопасности в угольных шахтах», СОУ-Н 10.1.00174088.027:2011 «Прогнозирование и нормализация тепловых условий в угольных шахтах».

Для более глубокого изучения рассматриваемых вопросов и возможности применения приобретенных знаний в дипломном проектировании и при производственной деятельности в пособии приведен перечень практически всех нормативно-правовых актов и другой документации, применение которой регламентировано Правилами безопасности.

Авторы выражают глубокую признательность ведущим ученым и специалистам в области теплового режима и кондиционирования воздуха за возможность использования результатов их научных исследований при подготовке учебного пособия.

Авторы будут также благодарны за предложения, направленные на улучшение пособия.

Пособие может использоваться при самостоятельной проработке лекционного курса, подготовке к проведению лабораторных (практических) работ студентами высших учебных заведений, а также специалистами в области нормализации температурных условий и кондиционирования воздуха в угольных шахтах при повышении их квалификации. Оно может быть полезным инженерно-техническим работникам горных предприятий, проектных организаций и др.

## ВВЕДЕНИЕ

Среди учебных дисциплин, изучение которых позволяет получить студенту объем знаний и умений, необходимый для последующей профессиональной деятельности, особое место занимает блок дисциплин, призванных сформировать у будущего специалиста знания, умения и навыки, необходимые для сохранения здоровья и обеспечения безопасности человека в среде обитания как в повседневных условиях труда и быта. Изучение дисциплины «Промышленная вентиляция и кондиционирование воздуха» позволит будущему горному инженеру получить систематизированные знания и умения, необходимые для обеспечения личной безопасности и безопасности горнорабочих в глубоких шахтах. Вооружает его знаниями относительно новой техники и технологий по обеспечению нормальных климатических условий в шахте с помощью различных горнотехнических решений и кондиционирования рудничного воздуха, знаниями и умениями в вопросах проектирования систем кондиционирования рудничного воздуха.

Цифровая индексация расчетных параметров соответствует нумерации пунктов, приведенных на расчетных схемах (рис х.1 и х.2).

Дисциплина «Промышленная вентиляция и кондиционирование воздуха» является выборочной дисциплиной, которая изучается с целью формирования у будущих специалистов с высшим образованием необходимого в их дальнейшей профессиональной деятельности уровня знаний и умений по вопросам тепловых условий в шахте, их прогнозу и технологии кондиционирования воздуха для обеспечения нормальных климатических условий в очистных и подготовительных забоях шахты.

Дисциплина базируется как на общеобразовательных (физика, химия, математика), так и на общетехнических и специальных дисциплинах (термодинамика, электротехника, технология разработки месторождений полезных ископаемых, горные машины, транспортные системы горных предприятий и др.). Особенно тесно дисциплина «Промышленная вентиляция и кондиционирование воздуха» связана с аэрологией, термодинамикой и охраной труда на предприятиях горной отрасли.

Методологической основой дисциплины «Промышленная вентиляция и кондиционирование воздуха» является научный анализ отечественных и зарубежных литературных источников, нормативно-правовых актов по вентиляции, горной теплофизике шахт и подземных сооружений, технологии разработки месторождений полезных ископаемых, охране труда и кондиционированию воздуха.

Учебное пособие «**Кондиционирование рудничного воздуха**» состоит из 6 частей, включающих 10 разделов:

- 1) основные факторы, влияющие на тепловые параметры воздуха при его движении по горным выработкам;
- 2) основы теории теплообмена между горным массивом и воздухом в горных выработках;
- 3) термодинамические параметры рудничного воздуха;
- 4) теоретические основы расчёта изменения параметров воздуха в выработках различного назначения, проветриваемых за счёт общешахтной депрессии;
- 5) теоретические основы расчёта изменения параметров воздуха в выработках, проветриваемых вентиляторами местного проветривания;
- 6) методология изучения теплового режима глубоких шахт;
- 7) особенности формирования тепловых условий в выработках;
- 8) способы и средства регулирования теплового режима глубоких угольных шахт;
- 9) средства противотепловой защиты горнорабочих;
- 10) способы и средства обогрева воздухоподающих стволов в зимний период года.

**Главная цель дисциплины** – предоставить будущим специалистам знания в области горной теплофизики и кондиционирования рудничного воздуха, реализация которых на практике будет способствовать созданию безопасных и безвредных условий труда горнорабочих на рабочих местах в глубоких шахтах и рудниках.

**Задачами дисциплины являются:**

- ознакомить студентов с нормативно-правовыми актами, применяемыми в области кондиционирования рудничного воздуха;
- дать навыки составления тепловых и влажностных балансов горных выработок различного назначения;
- обучить расчету систем кондиционирования рудничного воздуха и подбору оборудования;
- познакомить со способами обработки воздуха и необходимым оборудованием для обработки воздуха;
- дать понимание процессов происходящих с воздухом в глубоких шахтах;
- обучить расчету и подбору систем вентиляции и кондиционирования воздуха;
- дать навыки применения энергосберегающих технологий в системах кондиционирования рудничного воздуха.

## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- $A_{\phi}$  – фактическая производительность установки, машины и др., т/с;  
 $A_n$  – номинальная производительность установки, машины и др., т/с;  
 $A_{сут}$  – суточная нагрузка на лаву, т/сут;  
 $a$  – коэффициент температуропроводности,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  
 $a_{кв}$ ,  $a_n$ ,  $a_y$  – коэффициенты температуропроводности соответственно пород кровли, почвы и угля,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  
 $a_{ср}$  – средневзвешенное значение коэффициента температуропроводности горных пород,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  
 $b$  – ширина выемки угля в лаве, м;  
 $b_l$  – ширина зоны утечек воздуха в выработанном пространстве лавы, м;  
 $b_k$  – ширина канавки с водой, м;  
 $b_l$  – ширина лавы, м;  
 $c$  – объемная теплоемкость,  $\text{Дж}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ ;  
 $c_p$  – массовая теплоемкость воздуха при изобарном процессе,  $c_p=1005,0 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ ;  
 $c_{тр}$  – удельная теплоемкость тепло- или хладоносителя,  $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ ;  
 $c_{кв}$ ,  $c_n$ ,  $c_y$  – соответственно массовая теплоемкость пород кровли, почвы и угля,  $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ ;  
 $c_w$  – теплоемкость тепло- и хладоносителя,  $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ ;  
 $d$  – влагосодержание воздуха,  $\text{г}/\text{кг}_{\text{св}}$ ;  
 $d_n$  – наружный диаметр трубопровода, м;  
 $d_{вн}$  – внутренний диаметр трубопровода, м;  
 $F$  – поверхность теплообмена между частицами падающего угля и воздухом в лавах на крутых пластах,  $\text{м}^2$ ;  
 $F_з$  – поверхность призабойной зоны выработки,  $\text{м}^2$ ;  
 $G$  – массовый расход воздуха,  $\text{кг}/\text{с}$ ;  
 $G_{сж}$  – массовый расход сжатого воздуха,  $\text{кг}/\text{с}$ ;  
 $G_w$  – массовый расход тепло- и хладоносителя,  $\text{кг}/\text{ч}$ ;  
 $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м}/\text{с}^2$ ;  
 $H$  – глубина расположения пункта выработки от поверхности, м;  
 $h_{вент}$  – давление, создаваемое ВМП, Па;  
 $i$  – энтальпия воздуха,  $\text{Дж}/\text{кг}$ ;  
 $\kappa_d$  – коэффициент доставки воздуха по трубопроводу;  
 $\kappa_{кв}$  – коэффициент теплопередачи от воды к воздуху,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ;  
 $\kappa_{тр}$  – коэффициент теплопередачи от трубопровода к воздуху,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ;  
 $\kappa_{ут.в}$  – коэффициент утечек воздуха через выработанное пространство в пределах выемочного участка;

$\kappa_{yт.л}$  – коэффициент, учитывающий поступление воздуха из выработанного пространства в лаву;  
 $\kappa_{\tau}$  – коэффициент нестационарного теплообмена между горным массивом и воздухом, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  
 $\kappa'_{(\tau+\tau)}$  – коэффициент нестационарного теплообмена для участков выработок между пунктами охлаждения воздуха или между пунктом охлаждения и лавой, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  
 $\kappa_{\tau.л}$  – коэффициент нестационарного теплообмена между углем на конвейере в лаве и воздухом, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  
 $\kappa_{\tau.m}$  – коэффициент нестационарного теплообмена между транспортируемым по выработкам ископаемым и воздухом, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  
 $\kappa_3$  – коэффициент, учитывающий вид энергии привода вентилятора;  
 $L$  – длина выработки, м;  
 $L_m$  – длина вентиляционного трубопровода, м;  
 $l_3$  – длина выработки от конца вентиляционной трубы до забоя, м;  
 $l'$  – длина выработки или вентиляционного трубопровода от места установки воздухоохладителя до конца вентиляционного трубопровода, м;  
 $m$  – мощность разрабатываемого пласта, м;  
 $P$  – барометрическое давление, Па;  
 $P_o$  – среднемесячное давление воздуха, поступающего в шахту, Па;  
 $p_c$  – парциальное давление сухого воздуха, Па;  
 $p_n$  – парциальное давление водяных паров, Па;  
 $p_n^{cp}$  – среднее парциальное давление водяных паров в воздухе от температуры при  $\varphi=1$  на расчетном участке выработки в ожидаемом диапазоне изменения температуры, Па;  
 $p_n^i$  – парциальное давление насыщенного водяного пара при температуре воздуха  $t$ , Па;  
 $Q$  – объемный расход воздуха в выработке, м<sup>3</sup>/с;  
 $Q_{доп}$  – объемный расход воздуха в дополнительной выработке, м<sup>3</sup>/с;  
 $Q_{оч}$  – объемный расход воздуха в лаве, м<sup>3</sup>/с;  
 $Q_{yч}$  – объемный расход воздуха, поступающий на проветривание выемочного участка, м<sup>3</sup>/с;  
 $Q_{yт}$  – объемный расход утечек воздуха через выработанное пространство, м<sup>3</sup>/с;  
 $Q_{пр.г}$  – объемный расход притечек воздуха из выработанного пространства в вентиляционную выработку, м<sup>3</sup>/с;  
 $R$  – радиус выработки, м;  
 $R_г$  – радиус эквивалентного вагонетке шара, м;

$R_o$  – эквивалентный радиус выработки, м;  
 $R_y$  – средневзвешенный радиус частиц угля, м;  
 $R_3^o$  – эквивалентный радиус призабойной зоны тупиковой выработки, м;  
 $S$  – площадь поперечного сечения горной выработки, м<sup>2</sup>;  
 $S_m$  – площадь поперечного сечения вентиляционного трубопровода, м<sup>2</sup>;  
 $t$  – температура воздуха, °С;  
 $t_{cp}$  – средняя температура воздуха на расчетном участке выработки, °С;  
 $t_1, t_2$  – температура воздуха соответственно в начале и конце выработки, °С;  
 $t_{3,n}$  – средняя температура земной поверхности геотермического участка, в пределах которого находится шахтное поле, °С;  
 $t_n$  – естественная температура горных пород на глубине залегания выработки, °С;  
 $t_{n_{cp}}$  – средняя по длине выработки естественная температура горных пород, °С;  
 $t_{np}$  – температура притекающего из выработанного пространства воздуха, °С;  
 $t_{ym}$  – температура утечек воздуха, поступающих в выработанное пространство лавы, °С;  
 $t_{e,n}$  – температура обрушенных пород в выработанном пространстве, °С;  
 $t_e$  – температура воды в канавке, °С;  
 $t_{тр}$  – температура поверхности трубопровода, °С;  
 $t'_n$  – температура транспортируемого ископаемого на расчетном участке выработки, °С;  
 $U$  – периметр выработки, м;  
 $U_{тр}$  – периметр воздухопровода, м;  
 $U_k$  – периметр поперечного сечения насыпки угля на конвейере, м;  
 $V_e$  – объем вагонетки, м<sup>3</sup>;  
 $v_{выр}$  – скорость продвижения выработки, м/ч;  
 $v$  – скорость воздуха в выработке, м/с;  
 $v_e$  – скорость движения воды в канавке, м/с;  
 $v_y$  – скорость движения угля в лаве, м/с;  
 $v_{л}, v_{mp}$  – скорость движения соответственно ленты конвейера, транспорта, м/с;  
 $v_{m\ cp}$  – средняя скорость движения воздуха в воздухопроводе, м/с;  
 $v_0$  – скорость воздуха на выходе из воздухопровода, м/с;  
 $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи от стенок выработки, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  
 $\alpha_k$  – коэффициент теплоотдачи от воды к покрытию канавки, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  
 $\alpha_3$  – приведенный коэффициент теплоотдачи от горных пород к воздуху в призабойной зоне тупиковой выработки, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  
 $\alpha_u$  – коэффициент теплоотдачи от поверхности вагонеток с углем в выработке, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);

$\alpha_{л}$  – коэффициент теплоотдачи между углем и воздухом в лавах крутых пластов, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  
 $\alpha_{м}$  – коэффициент теплоотдачи от поверхности транспортируемого по выработке ископаемого, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  
 $\alpha_{тр}$  – коэффициент теплоотдачи от трубопровода в воздух, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  
 $\alpha_{\theta}$  – коэффициент теплоотдачи от стенки трубопровода к тепло- и хладоносителю, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  
 $\alpha_{тр}$  – коэффициент теплоотдачи от внутренней поверхности воздухопровода, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  
 $\gamma$  – объемный вес (плотность) воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  
 $\gamma_{т, х}$  – плотность тепло- или хладоносителя, кг/м<sup>3</sup>;  
 $\sigma$  – геотермический градиент, °C/м.  
 $\varepsilon_{ш}$  – коэффициент шероховатости;  
 $\eta_{вент}$  – КПД вентилятора, д.ед.;  
 $\bar{\theta}_m$  – среднее значение температуры теплоносителя в трубопроводе на расчетном участке выработки, °C;  
 $\bar{\theta}_x$  – среднее значение температуры хладоносителя в трубопроводе на расчетном участке выработки, °C;  
 $\delta_{тр}$  – толщина стенки трубопровода, м;  
 $\delta_{кн}$  – толщина покрытия канавки, м;  
 $\lambda$  – удельная теплопроводность, Вт/(м·°C);  
 $\lambda_{тр}$  – коэффициент теплопроводности материала трубопровода, Вт/(м·°C);  
 $Q$  – тепловыделения от находящихся в выработке абсолютных местных источников, Вт;  
 $\Sigma Q_{ми}$  – суммарные тепловыделения от абсолютных местных источников, Вт;  
 $\tau$  – расчетное время проветривания выработки, ч;  
 $\tau_n, \tau_k$  – время проветривания соответственно начала и конца расчетного участка выработки, ч;  
 $\tau_3$  – время проветривания угольного забоя (забоя призабойной зоны тупиковой выработки), ч;  
 $\tau_n$  – среднее время, затрачиваемое на снятие одной полосы угля в лаве в течение цикла с учетом ремонтно-подготовительных операций, ч;  
 $\varphi$  – относительная влажность воздуха, д.ед.;  
 $\Phi$  – тепловой поток в сечении выработки, Вт;  
 $\Phi_{сж(рс)}$  – изменение потенциальной энергии при адиабатическом сжатии (расширении) воздуха в наклонных и вертикальных выработках, Вт;  
 $\Phi_{ох}$  – охлаждающий эффект расширения воздуха, Вт;

$\Psi$  – угол наклона выработки к горизонту, град.;

$\omega$  – скорость тепло- и хладоносителя в трубопроводе, м/с;

$\Gamma$  – геотермическая ступень, м/°С;

Критерии теплового подобия:

$F_o$  – Фурье; значение

$Bi$  – Био; значение

Индексы:

«ср» – среднее значение параметра;

«т» – относится к вентиляционному трубопроводу;

«в» – относится к выработке;

«з» – относится к призабойной зоне выработки;

«вент» – относится к вентилятору местного проветривания (ВМП);

«'» – относится к расчетным параметрам участка выработки и трубопровода от пункта установки воздухоохладителя до конца вентиляционного трубопровода.



## **Часть I.**

*Рассмотрены основные факторы, влияющие на тепловые параметры воздуха при его движении по горным выработкам, основы теории теплообмена между горным массивом и воздухом в выработках, а также термодинамические параметры рудничного воздуха.*

*Опираясь на материалы раздела и справочную литературу, студент должен: объяснить процессы нагрева и увлажнения воздуха, которые происходят в горных выработках; различать способы передачи тепла между горным массивом и воздухом: теплопроводностью, конвекцией и излучением; анализировать основные теплофизические свойства горных пород и угля; иметь представление о нестационарном теплообмене между горным массивом и воздухом; знать термодинамические параметры рудничного воздуха и его свойства. С помощью I-d диаграммы уметь определять параметры влажного воздуха.*

### **Раздел 1. Основные факторы, влияющие на тепловые параметры воздуха при его движении по горным выработкам**

Главной причиной, определяющей температуру воздуха, движущегося по подземным выработкам, является температура горных пород, в которых проведены выработки. Как известно, температура горных пород на заданной глубине при отсутствии обнажения остается постоянной во времени. Как только в толще пород проведена горная выработка, по ней начинает поступать воздух, температура которого отличается от температуры окружающих пород. Вследствие различия температур поступающего воздуха и окружающих пород происходит теплообмен между ними. С течением времени температура стенок выработок и воздуха, движущегося по ним, понижается, т. е. температурные условия в шахте изменяются во времени. Однако тепловые параметры движущегося по выработкам воздуха зависят не только от теплообмена его с горными породами, но и от других факторов, из которых главными являются следующие:

– колебания температуры и влажности поступающего в шахту воздуха, которые на поверхности изменяются в течение года от максимума летом до минимума зимой;

– нагревание воздуха при движении вниз по вертикальным и наклонным выработкам вследствие естественного сжатия и охлаждение его при движении вверх по этим выработкам вследствие разрежения;

– изменение влажности воздуха при движении по горным выработкам вследствие массообменных процессов (испарения влаги с поверхности горных выработок) и теплообмен между воздухом и шахтной водой, движущейся по выработкам вследствие разности их температур;

– окислительные процессы в горных выработках, вызывающие нагревание воздушной струи;

– тепловыделения от работы машин и механизмов, электрических потерь в двигателях, электрокабелях, трубопроводов со сжатым воздухом и др.

### **1.1. Температура горного массива**

Температура горных пород до глубины 5-10 м в средних широтах изменяется в течение года. Характер изменения температуры – периодический с годовым периодом колебания. Амплитуда колебаний температуры максимальная на поверхности и быстро затухает с глубиной. На глубине более 10 м температура массива в течение года остается почти неизменной и близкой к среднегодовой температуре данной местности. Это так называемая нейтральная зона. С дальнейшим увеличением глубины работ под воздействием внутренней температуры земли начинается нарастание температуры пород. Показателем быстроты нарастания температуры пород служит геотермический градиент, который показывает, на сколько градусов повышается температура пород при увеличении глубины на 1 м. Величина, обратная геотермическому градиенту, называется геотермической ступенью. Она показывает через сколько метров по глубине (ниже нейтральной зоны) температура пород повышается на 1 °С. Геотермический градиент определяется путем непосредственных замеров естественной температуры пород на заданной глубине в специально пробуриваемых для этой цели шпурах, в подготовительных забоях подземных выработок, разведочных скважинах, пробуриваемых с поверхности. Для различных районов угольных и рудных месторождений значения геотермического градиента различны и колеблются в широких пределах (0,005-0,5 °С/м). На величину геотермического градиента влияют теплофизические свойства горных пород, условия образования земной коры и экзотермические и эндотермические процессы, происходящие в недрах Земли. Значения геотермической ступени колеблются в очень широких пределах (от 2-3 до 200 м/°С).

При изучении температуры пород какого-либо района производятся многочисленные её измерения на различных глубинах. Результаты этих измерений

выражаются в виде гипсометрических и геоизометрических карт района. В настоящее время наиболее исследованным в геотермическом отношении являются Донецкий бассейн. Многочисленные геотермические исследования в Донбассе показали, что изменение температуры пород с глубиной характеризуется близкой к линейной зависимости, что объясняется тепловыми аномалиями, вызванными местными источниками тепла и различием теплопроводности пород карбона. Наряду с местными тепловыми аномалиями, приуроченными к пластам угля, наблюдаются и аномальные термопроявления, вызванные воздействием водоносных горизонтов. Несмотря на местные тепловые аномалии, температура пород с глубиной возрастает практически по линейному закону. Ожидаемая температура пород на данной глубине определяется по формулам:

$$t_n = t_{н.з} + \frac{(H - H_0)}{G}, \quad \text{или} \quad t_n = t_{н.з} + \sigma(H - H_0) \quad (1.1)$$

где  $t_{н.з}$  – температура нейтральной зоны, °С;  $H_0$  – глубина залегания нейтральной зоны, м;  $G$  – геотермическая ступень, м/°С;  $\sigma$  – геотермический градиент, °С/м.

В 70-е годы 20 столетия в Донбассе МакНИИ и Новочеркасским политехническим институтом были выполнены исследования по замерам естественной температуры пород на глубоких шахтах Донецкого бассейна. Установлено, что использование формулы (1.1) даёт существенную ошибку в сторону занижения естественной температуры горного массива, причём с глубиной ошибка увеличивается. Статистическая обработка данных замеров естественной температуры пород в действующих подготовительных выработках глубоких шахт и материалов геотермических измерений в буровых разведочных скважинах по площади бассейна позволили уточнить формулу (1.1)

$$t_n = t_{зн} + \frac{H}{G_{cp}}, \quad (1.2)$$

где  $t_{зн}$  – средняя температура земной поверхности геотермического участка, в пределах которого находится шахтное поле, °С;  $G_{cp}$  – средняя геотермическая ступень для данного шахтного поля, м/°С.

Значения величин  $t_{зн}$  и средней геотермической ступени  $G_{cp}$  для отдельных шахт и шахтоуправлений геологопромышленных комплексов Донецкого бассейна приведены в приложении А.

## 1.2. Температура поступающего в шахту воздуха

Температура и влагосодержание воздуха, поступающего в шахту, изменяются в широких пределах в течение года и даже суток. При тепловых расчетах в условиях глубоких шахт обычно оперируют со среднемесячными значениями температуры наружности воздуха. Характер периодических колебаний температуры поступающего в шахту воздуха в течение года зависит от климатических условий района и в общем случае может быть принят в виде гармонических колебаний.

Если обозначить через  $\omega_t$  максимальное отклонение температуры от ее среднего значения  $t_{cp}$  за год, то в данный момент времени температура наружного воздуха описывается уравнением

$$t_{\tau} = t_{cp} \pm \omega_t \cdot \cos \frac{2\pi\tau}{z}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1.3)$$

где  $\tau$  – время, прошедшее от начала волны, когда температура воздуха равна  $t_{cp} - \omega_t$ ;  $\omega_t$  – средняя температура января,  $^\circ\text{C}$ ;  $z$  – период годового колебания,  $z=8760\text{ч}$ .

Аналогично определяется влагосодержание наружного воздуха в данный момент времени

$$d_{\tau} = d_{cp} \pm \omega_d \cdot \cos \frac{2\pi\tau}{z}, \text{ г/кг} \quad (1.4)$$

где  $d_{cp}$  – средняя влажность воздуха в январе, г/кг;  $\omega_d$  – среднее отклонение влажности в январе, г/кг.

В действительности температура наружного воздуха и его влагосодержание в течение года совершают более сложные гармонические колебания.

На большинстве шахт воздух, поступающий с поверхности в холодное время года, подогревается в калориферных установках с целью предотвращения обмерзания воды в стволе. Поэтому температура воздуха, поступающего в шахту в зимнее время, будет выше температуры атмосферного воздуха. В соответствии с требованиями Правил безопасности эта температура смеси холодного и подогретого воздуха должна составлять не ниже  $+2,0$  град.

### 1.3. Повышение температуры воздуха при движении его по вертикальным и наклонным выработкам

При движении воздушной струи вниз по горным выработкам воздух под воздействием возрастающего барометрического давления сжимается, что вызывает повышение его температуры.

При движении же вверх по вертикальным или наклонным горным выработкам воздух, поступая в зоны с уменьшающимся барометрическим давлением, разрежается, вследствие чего происходит понижение его температуры. Если между воздухом и стенками горных выработок нет теплообмена и изменения влагосодержания воздуха, то будет происходить адиабатический процесс. Условие равновесия воздуха, находящегося только под действием вертикальных сил, выражается уравнением

$$dH = \frac{dP}{\gamma}, \quad (1.5)$$

где  $H$  – вертикальная высота выработки, м;  $P$  – барометрическое давление, Па;  $\gamma$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>, определяется по выражению:

$$\gamma = 3,484 \cdot 10^{-3} \frac{P - 0,378 \varphi p_n^t}{273 + t}. \quad (1.6)$$

Парциальное давление насыщенных водяных паров ( $p_n^t$ ) в формуле (1.6) принимают для средней температуры воздуха на расчетном участке выработки  $t_{cp}$  и определяют по приложению Б или рассчитывают по формуле

$$p_n^{t_{cp}} = 133,32 \exp\left(\frac{360 + 18,7t}{236 + t}\right). \quad (1.7)$$

Интегрируя уравнение (1.5) в пределах  $O-H$  и  $P_0-P$ , получим

$$H = \int_{P_0}^P dP / \gamma.$$

Для адиабатического процесса уравнение, определяющее состояние воздуха, имеет вид

$$Pv^{\kappa} = \text{const.}$$

Дифференцируя его, получим

$$v dP + \kappa P dv = 0. \quad (1.8)$$

Характеристическое уравнение идеального газа в дифференциальной форме имеет вид

$$P dv = R dT - v dP. \quad (1.9)$$

где  $R$  – универсальная газовая постоянная, Дж/(кг·°С).

Уравнение (1.5) можно выразить в виде

$$dH = v dP. \quad (1.10)$$

Подставив в уравнение (1.6) вместо  $P dv$  и  $v dP$  их значения из уравнений (1.7) и (1.8), получим

$$dH + \kappa (R dT - dH) = 0.$$

Разделив полученное уравнение на  $dH$ , получим формулу для определения температурного градиента

$$\frac{dT}{dH} = \frac{\kappa - 1}{\kappa R}, \quad (1.11)$$

Для сухого воздуха  $R = 29,27$  Дж/(кг·°С) и  $\kappa = 1,4$ . Тогда температурный градиент

$$\frac{dT}{dH} = \frac{1,4 - 1}{1,4 \cdot 29,27} = 0,0098 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Таким образом, при адиабатическом сжатии абсолютно сухого воздуха при движении вниз температура его будет повышаться на каждый метр глубины на  $0,0098$  °С. Для влажного воздуха, например, при температуре  $20$  °С и относительной влажности  $70$  % температурный градиент будет  $0,0096$  °С. Однако при движении воздуха по горным выработкам имеют место также теплообменные и другие процессы, в результате чего процесс теплообмена будет политропическим.

#### **1.4. Массообменные процессы, происходящие в горных выработках**

При движении воздуха по горным выработкам происходит его увлажнение путем влагообмена с окружающей средой. С повышением температуры воздуха за счет тепла от различных местных источников происходит испарение влаги с открытой поверхности воды в выработках и естественной влаги, содержащейся в горном массиве и в пластах угля, в результате чего повышается влагосодержание воздуха, вызывающее увеличение его энтальпии. Однако температура воздуха при увеличении его влагосодержания снижается. Для испарения 1 г воды в шахтных условиях требуется около 2500 Дж тепла. Испарение влаги со стенок выработок происходит с привнесением тепла в воздух за счет охлаждения поверхности выработок. С открытой поверхности воды в шахтных канавках при контакте с воздухом происходит испарение с привнесением тепла за счет охлаждения воды. Таким образом, поступление водяных паров в воздух, увеличивая его энтальпию, не вызывает повышения его температуры (скрытая теплота парообразования).

При повышении влагосодержания рудничного воздуха, что обычно имеет место по мере удаления от воздухоподающего ствола, температура воздуха в большинстве случаев не снижается, а в глубоких шахтах повышается. Последнее объясняется отдачей тепла воздуху горными породами и местными источниками. Если бы влагосодержание воздуха не увеличивалось, то температура его в этом случае повышалась бы интенсивнее.

Для установления характера изменения влагосодержания вентиляционного воздуха в горных выработках производятся маршрутные тепловые съемки. Материалы этих съемок показывают изменение теплосодержания вентиляционной струи по длине выработок за счет сжатия воздуха при движении его вниз, тепловыделения горных пород, изменения влагосодержания и других перечисленных выше факторов.

В холодные месяцы воздух поступает в околоствольный двор с более низким содержанием влаги, чем летом. Поэтому насыщение его влагой по пути движения к рабочим забоям идет более интенсивно. В летние месяцы воздух в околоствольном дворе имеет более высокое влагосодержание, поэтому приращение влагосодержания по длине вентиляционных маршрутов происходит менее интенсивно. Приращение влагосодержания вентиляционной струи является важным фактором в процессе теплообмена между воздухом и горными породами. Оно способствует более интенсивному выносу тепла из шахты, т.е. более интенсивному охлаждению горных пород, так как при испарении влаги воздух охлаждается. Вследствие этого в выработках поддерживается большая разность

температуры воздуха и пород (большой температурный напор). Если бы не было увлажнения, температура воздуха повышалась бы быстрее, а температурный напор был бы меньше. Вследствие этого интенсивность перехода тепла от пород к воздуху была бы меньше и стенки выработок охлаждались бы менее интенсивно.

### **1.5. Окислительные процессы**

Окислительные процессы иногда в значительной степени влияют на повышение температуры воздуха, движущегося по горным выработкам. Под теплоприращением вентиляционной струи от окислительных процессов в угольных шахтах понимают количество тепла, выделяющееся в горных выработках при окислении пород, угля, угольной пыли, деревянной крепи и поступающее в вентиляционную струю.

Точно учесть количественную сторону этого фактора пока не представляется возможным. Однако можно экспериментальным путем определить величину тепловыделений от окислительных процессов при проведении тепловых съемок на конкретных шахтах.

Зависимость тепловыделения от окислительных процессов и скорости движения воздуха по выработке можно установить экспериментально. Эта зависимость состоит в том, что чем больше воздуха проходит по выработке, тем больше тепла выделяется с  $1 \text{ м}^2$  поверхности стенок выработки в единицу времени. Это объясняется тем, что окисление угля при низких температурах происходит в так называемой диффузионной области, в которой скорость окисления определяется притоком кислорода, а не химической реакцией.

Тепловыделения от окислительных процессов в выработке, как отмечено выше, включают тепловыделения от окисления вмещающих пласт пород, угля и угольной пыли и др. Разделение этих источников на отдельные составляющие весьма сложно. Выделить их из общего числа действующих в выработке источников можно двумя способами: по изменению газового состава воздуха в исследуемых выработках и используя балансовый метод определения тепловыделений от известных источников.

Изменение газового состава атмосферы на исследуемом участке выработки или шахты определяют с помощью газоанализаторов. Устанавливают содержание кислорода и окислов (углерода, серы и др.) на входе и выходе с экспериментального участка выработки. В соответствии с количеством поглощенного газа и выделившихся окислов составляют уравнение газового баланса выработки. По известным удельным тепловыделениям от окисления каждого из окислителей и их количеству определяют суммарные тепловыделения от окисления.



Второй способ базируется на сопоставлении участков выработок, аналогичных по геометрическим, аэродинамическим, теплофизическим и другим характеристикам, но отличающихся различной склонностью пород к окислению. Например, наличие одинаковых по мощности и тепловым свойствам угольных пластов, пересекаемых выработкой, рудных тел и др. В этом случае измерения тепловыделений в сходных выработках и составление их теплового баланса дают возможность выявить разницу, объясняющуюся различной интенсивностью окислительных процессов.

Прямые измерения теплоотдачи горных пород с помощью тепломеров не позволяют выделить удельные тепловыделения от пород ( $q_n$ ) и окисления ( $q_{ок}$ ), так как окислительные процессы происходят на поверхности пород и распространяются на некоторую глубину. Это вызывает распределение тепла между породами и вынос части его газообразными продуктами.

## 1.6. Тепловыделения от электрических и механических установок и других источников тепла

*Тепловыделения при работе электрических машин, механизмов и оборудования.*

При работе машин, механизмов и оборудования только часть потребляемой энергии используется на полезную работу. Остальная часть энергии полностью превращается в тепло, поступающее в воздух. При работе электродвигателей имеют место потери электрической энергии (омическое сопротивление, потери вследствие гистерезиса) и механической (трение в подшипниках, кольцах, коллекторах и др.). Эти потери энергии превращаются в тепло.

*Тепловыделения от электрических потерь трансформаторов, освещения, кабелей, Вт:*

$$Q_э = 10N_n m_э, \quad (1.12)$$

где  $N_n$  – потребляемая мощность, кВт;  $m_э$  – коэффициент электрических потерь. Для трансформаторов  $m_э=0,05$ , для осветительных приборов  $m_э = 1,0$ , для кабелей  $m_э= 0,01$  на 1000 м кабеля.

*Тепловыделения при работе лебедок, Вт:*

- при подъеме груза по наклонным и вертикальным выработкам

$$Q_{лн} = 10^3 N \frac{A_\phi}{A_n} \xi_{лн} - 2,7 A_\phi \Delta H, \quad (1.13)$$

где  $N$  – установленная мощность электродвигателей, кВт;  $A_{\phi}$ ,  $A_n$  – соответственно фактическая и номинальная нагрузка на лебедку, т/ч;  $\xi_l$  – эмпирический коэффициент,  $\xi_l = 0,8$ ;

- при спуске груза

$$Q_{ло} = 10^3 N \frac{A_{\phi}}{A_n} \xi_l. \quad (1.14)$$

*Тепловыделение при работе насосов, Вт:*

$$Q_n = 10^3 (1 - \eta_m) N k_{\varepsilon}, \quad (1.15)$$

где  $\eta_m$  – механический КПД насоса, вычисляется по формуле:

$$\eta_m = \eta_p \cdot \eta_{\text{дв}} \quad (1.16)$$

где  $\eta_p$  и  $\eta_{\text{дв}}$  – КПД соответственно редуктора и двигателя.

*Тепловыделения при электровозной откатке, Вт:*

$$Q_{\varepsilon o} = 10^3 \frac{A_c L_o k_{\varepsilon o}}{\tau_{\varepsilon o}}, \quad (1.17)$$

где  $A_c$  – количество груза, проходящего по расчетной выработке в сутки, т/сут;  $L_o$  – длина участка транспортирования, км;  $k_{\varepsilon o}$  – расход электроэнергии на 1 т. км, в среднем -  $0,110 \div 0,148$  кВт·ч;  $\tau_{\varepsilon o}$  – продолжительность работы электровозной откатки, ч/сут.

*Тепловыделение при работе электродвигателей конвейера, Вт:*

- в пунктах установки приводных головок конвейера

$$Q_{\varepsilon} = 10^3 N \frac{A_{\phi}}{A_n} (1 - \eta_{\text{дв}} \eta_p); \quad (1.18)$$

- от трения по длине конвейера

$$Q_{mp} = 10^3 N \frac{A_{\phi}}{A_n} \eta_{\text{дв}} \eta_p \pm 2,7 A_{\phi} \Delta H. \quad (1.19)$$

В формуле (1.19) знак «+» принимается при перемещении груза вниз, а знак «-» при транспортировании его вверх.

*Тепловыделение при работе маслостанций гидросистем механизированных крепей, Вт:*

$$Q_{mc} = 10^3 N_m \kappa_{mc}, \quad (1.20)$$

где  $N_m$  – мощность, расходуемая на создание энергии потока жидкости в гидросистеме, кВт;  $\kappa_{mc}$  – коэффициент загрузки одновременно работающих электродвигателей маслостанции во времени, определяется по плануграмме работ лавы.

По источникам выделения тепла:

- в пункте размещения маслостанции

$$Q'_{mc} = 10^3 N_m \kappa_{mc} (1 - \eta_{дв} \eta_m); \quad (1.21)$$

- гидросистем механизированных крепей в лаве

$$Q_{zc} = 10^3 N_m \eta_{дв} \eta_m, \quad (1.22)$$

где  $\eta_m$  – механический КПД насоса.

Коэффициенты полезного действия механизмов принимаются по их техническим характеристикам.

*Тепловыделение при работе комбайна или струговой установки, Вт:*

$$Q_k = 10^3 N_{\text{ч}} \frac{A_{\text{ф}}}{A_{\text{н}}} \xi_k, \quad (1.23)$$

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

*Тепловыделения при работе горнопроходческого оборудования с электроприводом* (погрузочные машины, проходческие комбайны, бурильные установки), Вт:

$$Q = 10 N_n \kappa_3, \quad (1.24)$$

где  $N_n$  – суммарная потребляемая мощность оборудования, кВт;  $\kappa_3$  – коэффициент загрузки оборудования во времени.

### ***Тепловыделения при работе пневматических механизмов, Вт:***

$$Q_n = 10^3 N_{nn} \frac{A_\phi}{A_n} \pm 2,7 A_\phi \Delta H - \Phi_n, \quad (1.25)$$

где  $N_{nn}$  – мощность пневмомеханизма, кВт;  $\Phi_n$  – охлаждающий эффект расширения воздуха, Вт.

Для пневмомолотков и вентиляторов отношение  $A_\phi/A_n$  в формуле (1.25) следует принимать равным единице.

Расчет охлаждающего эффекта расширения воздуха и температуры отработанного воздуха производится по формулам:

$$\Phi_n = G_{сж} [c_p (t - t_{отр}) + r(\varphi d_t^H - d_{отр}^H)], \quad (1.26)$$

где  $G_{сж}$  – расход сжатого воздуха, кг/с;  $t$  – температура воздуха в пункте размещения пневмомеханизма, °С;  $d_t^H$  – влагосодержание насыщенного воздуха при температуре  $t$ , кг/кг;  $d_{отр}^H$  – влагосодержание насыщенного отработанного воздуха на выходе из пневмодвигателя при  $t_{отр}$ , кг/кг.

Температура отработанного воздуха

$$t_{отр} = (t_{сж} + 273) \frac{P_{отр}}{P_{сж}}^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} - 273, \quad (1.27)$$

где  $P_{сж}$ ,  $P_{отр}$  – соответственно давление сжатого воздуха перед и после пневмодвигателя, Па;  $\kappa$  – показатель политропы, принимается равным  $\kappa \approx 1,2$ .

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

*Тепловыделения от работы вентиляторов* происходят в результате работы двигателя, внутренних потерь энергии в вентиляторе и аэродинамического сжатия воздуха. Часть энергии от аэродинамического сжатия воздуха переходит в кинетическую энергию и часть – в статическое давление, необходимое для преодоления аэродинамического сопротивления воздухопроводов (вентиляционного трубопровода или шахтных вентиляционных выработок). При сжатии воздух нагревается и вся механическая работа, расходуемая на сжатие, переходит в тепло. Кинетическая энергия воздушного потока полностью переходит в тепло по длине воздухопровода. При движении воздуха по воздухопроводу происходит падение статического давления, вызывающее адиабатическое расширение воздуха. В результате температура воздуха понижается, но от трения

о стенки воздухопровода воздух нагревается. По закону сохранения энергии воздух нагревается от трения настолько, насколько охлаждается от расширения, т.е. при движении воздуха по воздухопроводу имеет место изотермический процесс. Тепло, эквивалентное энергии, расходуемой на создание статического давления, удерживается воздухом при его движении по воздухопроводу. В результате вся энергия, затрачиваемая на работу вентилятора, переходит в тепло:

$$Q_{вен} = Q_{кин} + Q_{ст} = \frac{hG\gamma}{\eta_э\eta_{вен}} \quad (1.28)$$

где  $G$  – количество воздуха, проходящего в единицу времени (с, мин) через вентилятор, м<sup>3</sup>/с;  $\gamma$  – объёмный вес (плотность) воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $h$  – общая депрессия (кинетическая и статическая), развиваемая вентилятором, Па;  $\eta_э$  – кпд электродвигателя;  $\eta_{вен}$  – кпд вентилятора.

Приращение температуры воздуха от работы вентиляторной установки

$$\Delta t = \frac{Q_{вен}}{G c_p} \quad (1.29)$$

В зависимости от схемы и способа проветривания шахты и выработок тепло, выделяющееся при работе вентиляторной установки, может все или частично поступать в вентиляционную струю. При нагнетательном проветривании тупиковой выработки по вентиляционному трубопроводу с применением осевого вентилятора в вентиляционную струю будет поступать все тепло, выделяющееся при работе вентиляторной установки.

В случае применения центробежного вентилятора, у которого привод расположен вне трубопровода, тепло, выделяемое электродвигателем, поступает в выработку в месте расположения вентилятора. В этом случае количество тепла, поступающее в вентиляционную струю воздухопровода составит

$$Q = \frac{hG\gamma}{\eta_{вен}} \quad (1.30)$$

При всасывающем проветривании тепло, выделяемое вентилятором, в вентиляционную струю не поступает. Температура движущегося по горным выработкам воздуха не повышается от трения о стенки, так как по закону сохранения энергии повышение температуры воздуха от трения равно снижению ее от адиабатического расширения воздуха, вызванного понижением статического давления, создаваемого вентилятором.

### **Тепловыделения от транспортируемого ископаемого.**

При конвейерной транспортировке в лавах на пластах пологого падения и крутых пластов со щитовой выемкой угля, Вт:

$$Q_{л} = 1,2\kappa_{\tau,л}b_{л}L_{к}(t_{н} - \Delta t' - t_{1}), \quad (1.31)$$

где  $\kappa_{\tau,л}$  – коэффициент нестационарного теплообмена между транспортируемым углем и воздухом в лаве, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $L_{к}$  – длина конвейера, м;  $\Delta t'$  – снижение температуры угля в зоне выемки вследствие десорбции метана и предварительного увлажнения угольного массива, °С;  $\Delta t' = 1,5-3,5$  °С для пластов марок ОС, К, Ж;  $\Delta t' = 0,5-1,0$  °С для антрацитов и полуантрацитов.

В лавах крутых и наклонных пластов с комбайновой и молотковой выемкой угля, Вт:

$$Q_{л} = \kappa_{\tau}F(t_{нсп} - t_{1}) \quad (1.32)$$

где  $\kappa_{\tau}$  – коэффициент нестационарного теплообмена между углем и воздухом, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $F$  – поверхность теплообмена между частицами падающего угля и воздухом, м<sup>2</sup>:

$$F = \frac{3A_{\phi}\tau_y}{\gamma_y R_y} \quad (1.33)$$

где  $A_{\phi}$  – грузопоток угля в лаве, т/с;  $\gamma_y$  – плотность угля, кг/м<sup>3</sup>;  $R_y$  – средневзвешенный радиус частиц угля, м;  $\tau_y$  – время теплообмена угля в лаве, с.

$$\gamma_y = \frac{L_{н}}{v_y}, \quad (1.34)$$

где  $L_{н}$  – наклонная длина лавы, м;  $v_y$  – скорость движения угля в лаве, м/с;

$$v_y = 3,15 + 0,15(\psi_{нл} - 45^{\circ}), \quad (1.35)$$

$\psi_{нл}$  – угол наклона пласта, град, ( $35^{\circ} < \psi_{нл} < 90^{\circ}$ );

$$R_y = \frac{\psi_{нл}}{2000(0,205\psi_{нл} - 7,2)}, \quad (1.36)$$

При конвейерной транспортировке по выработкам, Вт:

$$Q_{кв} = \kappa_{\tau_m} U_m L_k (t'_n - t_1), \quad (1.37)$$

где  $t'_n$  – температура транспортируемого ископаемого на расчетном участке выработки, °С;  $U_m$  – периметр поперечного сечения насыпки угля на конвейере, м.

Для всех видов конвейеров  $U_m$  рассчитывается по формуле

$$U_m = 0,11 \sqrt{\frac{A_\phi}{v_l}}, \quad (1.38)$$

где  $A_\phi$  – фактическая нагрузка на конвейер, т/ч.

В выработке, примыкающей к лаве, температура  $t'_n$  определяется по формуле

$$t'_n = t_n - \Delta t' - \frac{3,6Q_l}{A_\phi c_y} \quad (1.39)$$

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

$$t'_{n(i+1)} = t'_{n_i} - \frac{Q_{кв_i}}{A_\phi c_y} \quad (1.40)$$

где  $Q_{кв_i}$  – тепловыделение от транспортируемого ископаемого на последующем за расчетным участке, кВт;  $t'_{n_i}$  – температура транспортируемого ископаемого на последующем за расчетным участке, °С;  $c_y$  – массовая теплоемкость угля, Дж/(кг·°С).

При транспортировании угля по выработкам в вагонетках, Вт:

$$Q_{мс} = 1,163 \cdot 10^{-3} A_\phi c_y (\theta_{вн} - \theta_{вк})(t'_n - t_1), \quad (1.41)$$

где  $A_\phi$  – грузопоток угля на расчетном участке, т/ч;  $\theta_{вн}$ ,  $\theta_{вк}$  – средние по объему вагонетки безразмерные температуры угля в начале и конце расчетного участка выработки, принимают по таблицам приложения В;  $t'_n$  – начальная температура угля в вагонетке, °С.

На расчетном участке с погрузкой угля у лавы температуру  $t'_n$  определяют по формуле (1.39), у других пунктов – по формуле (1.40).

Расчет величин  $\theta_{вн}$ ,  $\theta_{вк}$  производят в следующем порядке:

- определяют среднюю скорость движения воздуха в выработке относительно вагонеток с ископаемым:

$$v_{омн} = \frac{v_{ср} \tau_{но} + (v_{ср} \pm v_{мп}) (\tau_{мп} - \tau_{но})}{\tau_{мп}}, \quad (1.42)$$

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

$$\tau_{мп} = \tau_{но} + \frac{L}{3600v_{мп}}, \quad (1.43)$$

где  $L$  – протяженность участка, м;  $v_{мп}$  – скорость движения вагонетки, м/с; знак «плюс» принимают при встречном, «минус» – при попутном движении вагонеток и воздуха в выработке;

- определяют среднее значение коэффициента теплоотдачи от поверхности вагонеток с углем за период пребывания их в выработке:

$$\alpha_u = 3,49(\gamma v_{омн})^{0,58} \left( \frac{U + U_{\epsilon}}{S - S_{\epsilon}} \right)^{0,42}, \quad (1.44)$$

где  $U_{\epsilon}$ ,  $S_{\epsilon}$  – соответственно периметр и площадь поперечного сечения вагонетки, м, м<sup>2</sup>;

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

$$Bi_n = Bi_k = \frac{\alpha_u R_{\epsilon}}{\lambda_y}; \quad (1.45)$$

$$F_{0_n} = 3,6 \cdot 10^3 \frac{a_y \tau_{мп_n}}{R_{\epsilon}^2}; \quad (1.46)$$

$$F_{0_k} = 3,6 \cdot 10^3 \frac{a_y \tau_{мп_k}}{R_{\epsilon}^2}, \quad (1.47)$$



где  $\tau_{mp_n}$ ,  $\tau_{mp_k}$  – соответственно продолжительность охлаждения вагонеток с ископаемым в начальном и конечном пунктах транспортирования ископаемого на расчетном участке, ч;  $R_g$  – радиус эквивалентного вагонетке шара, м, определяют по формуле:

$$R_g = 0,62\sqrt[3]{V_g}, \quad (1.48)$$

где  $V_g$  – объем вагонетки, м<sup>3</sup>.

Значения  $\lambda_y$ ,  $c_y$  и  $a_y$  рассчитывают по формулам:

$$\lambda_y = 1,163 \cdot 10^{-4} \gamma_y (1 + 0,15w), \quad (1.49)$$

где  $w$  – средняя влажность транспортируемого угля, %;  $\gamma_y$  – плотность угля в насыпке, кг/м<sup>3</sup>. Для антрацитов  $\gamma_y = 900$  кг/м<sup>3</sup>; для каменных углей  $\gamma_y = 800$  кг/м<sup>3</sup>.

$$c_y = (1 + 0,08V^r) \left( \frac{100 - w}{100} \right) + \frac{w}{100}, \quad (1.50)$$

где  $V^r$  – выход летучих, %.

$$a_y = \frac{\lambda_y}{\gamma_y \cdot c_y}. \quad (1.51)$$

Для участка, на котором происходит нагрузка вагонеток углем,  $\tau_{tp_n} = 0$ , а  $\tau_{tp_k}$  рассчитывается по формуле (1.43).

Для следующих по направлению транспортирования вагонеток расчетных участков

$$\tau_{mp_{n_{i+1}}} = \tau_{mp_{n_i}}; \quad \tau_{mp_{k_{i+1}}} = \tau_{mp_{n_{i+1}}} + \tau_{mp}. \quad (1.52)$$

### **Тепловыделения от шахтной воды в канавках.**

При открытой канавке, Вт:

$$Q_g = 2,5\alpha \cdot b_k \cdot l (t_g - t_1), \quad (1.53)$$

где  $b_k$  – ширина канавки, м;  $l$  – длина канавки, м;  $t_g$  – температура шахтной воды, °С, принимают по данным замеров. При отсутствии замеров в расчетах принимать перепад температуры между шахтной водой и воздухом в начале выработки  $t_1$ ,  $\Delta t_g = t_g - t_1$ :

- в выработках, расположенных на расстоянии до 500 м от ствола,  $\Delta t_g = 4 \div 5$  °С;
  - в выработках, удаленных на расстояние до 1500 м от ствола,  $\Delta t_g = 3 \div 4$  °С;
  - в выработках, удаленных на расстояние свыше 1500 м от ствола,  $\Delta t_g = 1,5 \div 2,5$  °С;
  - в участковых откаточных выработках  $\Delta t_g = 1,0 \div 1,5$  °С;
- $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи в выработке, в ваттах на метр квадратный градус Цельсия, рассчитывают по формуле

$$\alpha = 2,33\varepsilon(\gamma v)^{0,8} \left( \frac{U}{S} \right)^{0,2}, \quad (1.54)$$

где  $\varepsilon$  – коэффициент шероховатости выработки. 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  $\varepsilon = 2,5-3,5$ ;  $\gamma$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>, рассчитывают по формуле (1.6).

*При закрытой канавке, Вт:*

$$Q_g = \kappa_g b_k \cdot l (t_g - t_1), \quad (1.55)$$

где  $\kappa_g$  – коэффициент теплопередачи от воды к воздуху, Вт/(м<sup>2</sup>·°С),

$$\kappa_g = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \frac{\delta_{кн}}{\lambda_{кн}} + \frac{1}{\alpha_1}}, \quad (1.56)$$

где  $\delta_{кн}$  – толщина покрытия канавки, м;  $\lambda_{кн}$  – коэффициент теплопроводности покрытия канавки, Вт/(м·°С);  $\alpha_1$  – коэффициент теплоотдачи от воды к покрытию канавки, Вт/(м<sup>2</sup>·°С), определяют по формуле

$$\alpha_1 = 1,163 A_{t_w} \frac{(\gamma_w v_w)^{0,8}}{d_{экв}^{0,2}}, \quad (1.57)$$

где  $A_{t_w}$  – коэффициент, учитывающий теплофизические свойства воды, принимают по табл. 1.1;  $d_{экв}$  – эквивалентный диаметр канавки, принимаемый равным ширине канавки, м;  $\gamma_w$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;  $v_w$  – скорость движения воды в канавке, м/с.

Таблица 1.1

Коэффициент, учитывающий теплофизические свойства воды

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

**Тепловыделения от незащищенных трубопроводов с тепло- и холодоносителем, Вт:**

$$Q_{mp.m(x)} = K_{mp.m(x)} F_{mp.m(x)} (t_{cp} - \theta_{cp.m(x)}), \quad (1.58)$$

где  $K_{mp.m(x)}$  – коэффициент теплопередачи трубопровода с тепло- или холодоносителем в выработке Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  $F_{mp.m(x)}$  – поверхность незащищенного трубопровода с тепло- или холодоносителем, м<sup>2</sup>;  $t_{cp}$  – средняя температура воздуха в выработке, °С;  $\theta_{cp.m(x)}$  – средняя температура тепло- или холодоносителя в трубопроводе, °С.

Коэффициент теплопередачи незащищенных трубопроводов с тепло- и холодоносителем в горных выработках рассчитывается по формуле

$$K_{mp.m(x)} = \frac{1}{\frac{d_n}{\alpha_\theta d_{вн}} + \frac{\delta_{mp}}{\lambda_{mp}} + \frac{1}{\alpha_{mp}}}, \quad (1.59)$$

где  $d_n$  – наружный диаметр трубопровода, м;  $d_{вн}$  – внутренний диаметр трубопровода, м;  $\delta_{mp}$  – толщина стенки трубопровода, м;  $\lambda_{mp}$  – коэффициент теплопроводности материала трубопровода, Вт/(м·°С);  $\alpha_\theta$  – коэффициент теплоотдачи от стенки трубопровода к тепло- и холодоносителю в трубе, Вт/(м·°С), определяется по формуле

$$\alpha_\theta = 1,163 A_\theta \frac{\omega^{0,8}}{d_{вн}^{0,2}}, \quad (1.60)$$

где  $A_\theta$  – коэффициент, зависящий от физических свойств тепло- и холодоносителя и его температуры;  $\omega$  – скорость тепло- или холодоносителя в трубопроводе, м/с.

Значение коэффициента  $A_\theta$  для различных тепло- и холодоносителей определяется по формулам:

для воды

$$A_{\theta} = 1190 + 21,40 \theta_1; \quad (1.61)$$

для рассола NaCl, CaCl<sub>2</sub>

$$A_{\theta} = (1190 + 21,40 \theta_1)[1 - 1,35(\gamma_x - 1)], \quad (1.62)$$

где  $\theta_1$  – температура тепло- или хладоносителя в трубопроводе в начале выработки, °C;  $\gamma_x$  – плотность тепло- или хладоносителя, т/м<sup>3</sup>.

Коэффициент теплоотдачи от трубопровода к воздушному потоку

$$\alpha_{mp} = \xi \alpha_k + \alpha_p, \quad (1.63)$$

где  $\alpha_k$  – конвективная составляющая коэффициента теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $\alpha_p$  – радиационная составляющая коэффициента теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·°C).

Конвективную составляющую коэффициента теплоотдачи определяется по формуле

$$\alpha_k = 3,67 \frac{v^{0,8}}{d_n^{0,2}}, \quad (1.64)$$

где  $v$  – скорость движения воздуха по выработке в месте расположения трубопровода, м/с; определяют по формуле

$$v = a_m v_{cp}, \quad (1.65)$$

где  $a_m$  – коэффициент, учитывающий место расположения трубопроводов тепло- и хладоносителя в выработке; принимается по табл. 1.2.

Таблица 1.2

Значения коэффициента  $a_m$ , учитывающего расположение трубопроводов тепло- и хладоносителя в выработке

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

Коэффициент влаговываждения для условий шахтных выработок рассчитывают по формуле

$$\xi = 1 + \frac{9,346 \cdot 10^3}{P} \varphi_{cp} (4,54 + t_{cp}), \quad (1.66)$$

Если температура тепло- или хладоносителя в трубопроводе выше температуры воздуха в выработке, то  $\xi = 1,0$ .

Радиационную составляющую коэффициента теплоотдачи от трубопровода к воздуху определяется по формуле

$$a_p = \frac{5,19 \left[ \left( \frac{t_{cm} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{t_{mp} + 273}{100} \right)^4 \right]}{t_l - \theta_l}, \quad (1.67)$$

где  $t_{cm}$  – температура поверхности стенок выработки, °С,

$$t_{cm} = t_l + \frac{\kappa_{\tau}}{\alpha} (t_n - t_l); \quad (1.68)$$

$t_{mp}$  – температура поверхности трубопровода, °С,

$$t_{cm} = t_l + \frac{\kappa'_{mp}}{\alpha_{\kappa}} (t_l - \theta_l) \quad (1.69)$$

где  $\kappa'_{mp}$  – коэффициент теплопередачи от тепло- или хладоносителя в трубопроводе к воздуху, Вт/(м<sup>2</sup>·°С),

$$\kappa'_{mp} = \frac{1}{\frac{d_n}{\alpha_{\theta} d_{вн}} + \frac{d_{mp}}{\lambda_{mp}} + \frac{1}{\alpha}}, \quad (1.70)$$

$\alpha$  – коэффициент теплоотдачи от горного массива к воздуху, Вт/м<sup>2</sup>·°С, рассчитывают по формуле (1.54).

### **Тепловыделения окислительных процессов, Вт.**

Тепловыделения от окислительных процессов учитывают только в выра-

ботках шахт (кроме лав), разрабатывающих пласты угля, склонные к самовозгоранию, а также интенсивному низкотемпературному окислению. Расчетная формула имеет вид

$$Q_o = q_o UL. \quad (1.71)$$

Удельное тепловыделение от окисления в горных выработках  $q_o$  принимают по данным исследований для каждого пласта, склонного к самовозгоранию. При отсутствии таких данных во всех откаточных участковых выработках, пройденных по породе, удельное тепловыделение ориентировочно принимают равным 2,3-3,5 Вт/м<sup>2</sup>, а в выработках, пройденных по пласту, – 4,6-5,8 Вт/м<sup>2</sup>.

### ***Тепловыделения от работающих людей, Вт.***

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

$$Q_p = 175n_p, \quad (1.72)$$

где  $n_p$  – количество одновременно работающих, чел.

## **Раздел 2. Основы теории теплообмена между горным массивом и воздухом в выработках**

При движении воздуха по горным выработкам происходит теплообмен между воздухом и массивом пород (стенками выработок), вызванный разностью температур массива и воздуха, соприкасающегося с ним. Так как горную выработку окружает практически неограниченная толща пород, температурное поле внутри массива с течением времени будет изменяться и тепловой процесс будет нестационарный. Последний обуславливается изменением теплосодержания тел, что всегда связано с процессами прогрева или охлаждения горного массива вокруг выработки. Так как температура воздуха в глубокой шахте ниже температуры стенок выработок, то горный массив начинает охлаждаться. Сначала охлаждаются поверхностные слои стенок и с течением времени процесс охлаждения распространяется вглубь массива. При нестационарном процессе количество передаваемого тепла непостоянно во времени. По мере охлаждения пород количество тепла, воспринимаемого воздухом, уменьшается и в пределе стремится к нулю.

## 2.1. Способы передачи тепла

Различают три вида передачи тепла: *теплопроводностью, конвекцией и излучением.*

Явление теплопроводности в твердых телах характеризуется молекулярным обменом кинетической энергией. Основным законом, характеризующий процесс переноса тепла, состоит в том, что две системы могут обмениваться теплом лишь в том случае, если они находятся при различных температурах, причем перенос тепла происходит в направлении от системы с более высокой температурой к системе с более низкой температурой. Следовательно, основные условия для переноса тепла за счет теплопроводности внутри твердого тела требуют, чтобы существовал температурный градиент и результирующий поток был направлен в сторону уменьшения температуры.

Теплопроводностью обладают как твердые тела, так и капельные жидкости и газы. В последнем случае возможные перемещения масс жидкости или газа осложняют процесс переноса тепла. В перемещающейся среде помимо теплопроводности среды передача тепла усиливается перемещением масс текущей жидкости или газа.

Теплоотдача конвекцией происходит только в жидкостях и газах. Перенос тепла осуществляется путём перемещения частиц вследствие разности температур между отдельными областями жидкости и газа, а также между ними и твердыми телами, то есть процесс конвекции сопровождается теплопроводностью. При этом теплоотдача зависит от характера движения жидкости и газа. В зависимости от условий перемешивания среды различают конвекцию свободную и вынужденную. Свободная конвекция возникает от местного нагревания или охлаждения среды у поверхности тела. Вынужденная конвекция создаётся дополнительным воздействием на среду (например, вентилятором).

*Тепловое излучение* – процесс распространения энергии в виде электромагнитных волн. По природе это явление отличается от теплопроводности и конвекции и сопровождается двойным превращением энергии – тепловой энергии в лучистую и лучистой – в тепловую.

В реальных условиях эти три вида теплообмена в чистом виде встречаются редко. В большинстве случаев один вид теплообмена сопровождается другим. Конвекция, например, всегда сопровождается теплопроводностью и тепловым излучением, теплопроводность пористых тел – конвекцией и излучением и т. д. Такие процессы носят название сложного теплообмена.

Так как горный массив, окружающий выработки, является плотным твердым телом, то передача тепла в нём происходит теплопроводностью. Процессы конвекции в массиве ничтожно малы по сравнению с теплопроводностью, поэтому их также можно не принимать во внимание.

## 2.2. Передача тепла теплопроводностью

В неподвижной среде с различной температурой вследствие стремления к выравниванию температуры возникает поток тепла от более нагретых частей к более холодным. Температура является основной физической величиной для процесса распространения тепла в среде. Исследование процесса передачи тепла теплопроводностью заключается в изучении изменения температуры в пространстве и времени, т. е.

$$t = f(x, y, z, \tau), \quad (2.1)$$

где  $t$  – температура, °С;  $x, y, z$  – координаты рассматриваемой точки, м;  $\tau$  – время, ч.

Основной закон теплопроводности называют законом Фурье. Различают стационарное и нестационарное температурные поля. Нестационарным температурным полем называется такое поле, в котором температура изменяется не только в пространстве, но и во времени. Температура – это функция пространственных координат и времени. Уравнение (2.1) является математическим выражением нестационарного температурного поля. Стационарным температурным полем называется такое поле, в котором температура в любой его точке не изменяется во времени, т. е.

$$t = f(x, y, z); \quad \partial t / \partial \tau = 0. \quad (2.2)$$

Если стационарное или нестационарное температурное поле является функцией одной пространственной координаты, тогда оно называется одномерным, т. е.

$$t = f(x); \quad t = f(x, \tau). \quad (2.3)$$

При изучении процесса теплообмена между рудничным воздухом и горными породами рассматривается одномерное нестационарное температурное поле.

Поверхность, проведенная через точки поля с одинаковой температурой, называется изотермической поверхностью, а любая линия на этой поверхности – изотермой. Изотермические поверхности и изотермические линии не пересекаются между собой. Очевидно, по изотермическим поверхностям и изотермическим линиям тепло распространяться не может, так как температура в этих направлениях одинакова. Максимальное изменение температуры на единицу длины происходит в направлении нормали к изотермам. Предел отношения из-



менения температуры  $t$  к расстоянию  $n$  между изотермическими поверхностями называется температурным градиентом, который обозначается в виде

$$\lim (\Delta t / \Delta n) \Delta n \rightarrow 0 = \partial t / \partial n = \text{grad } t .$$

Температурный градиент является вектором, совпадающим с нормалью, направленной в сторону возрастающих температур (положительное направление).

Закон Фурье для одномерного поля гласит, что количество тепла, протекающего в направлении оси  $x$  (нормальной к изотермам) однородного твердого тела за время  $d\tau$ , определяется произведением площади  $s$  (нормальной к направлению потока  $x$ ), градиента температуры  $dt/dx$  вдоль этого пути (предел этого отношения является отрицательной величиной) и коэффициента  $\lambda$ , называемого коэффициентом теплопроводности материала, т. е.

$$\frac{dq}{d\tau} = -\lambda s \frac{\partial t}{\partial x}$$

Тепловой поток, проходящий через площадь  $s$  в течение времени  $d\tau$ , выразится в виде

$$dq = -\lambda s \frac{\partial t}{\partial x} d\tau . \quad (2.4)$$

Вектор теплового потока лежит на одной прямой с температурным градиентом и направлен в сторону убывающих температур, на что указывает знак минус в правой части уравнения, так как положительным направлением температурного градиента является направление в сторону возрастающих температур.

Количество переданного тепла, отнесенное к единице поверхности и единице времени, называется удельным тепловым потоком (или плотностью теплового потока) и выражается в виде

$$q_0 = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x} = -\lambda \text{grad } t. \quad (2.5)$$

Уравнение (2.5) является математическим выражением основного закона распространения тепла теплопроводностью - закона Фурье.

При нестационарной теплопроводности количество тепла, притекающего к телу, и количество тепла, вытекающего из него за единицу времени, различны. Согласно первому закону термодинамики внутренняя энергия тела повышается за счет этой разницы. Изменение внутренней энергии описывается выражением

$$d\varepsilon = c\gamma dv \cdot \frac{\partial t}{\partial \tau} \cdot d\tau, \quad (2.6)$$

где  $c$  – удельная теплоемкость рассматриваемого материала, т. е. количество тепла, необходимое для повышения температуры 1 кг материала на  $1^\circ\text{C}$ , Дж/кг $\cdot^\circ\text{C}$ ;  $\gamma$  – плотность материала, кг/м $^3$ ,  $v$  – объем материала, м $^3$ .

### 2.3. Дифференциальное уравнение температурного поля

Решение задач, связанных с установлением температурного поля, возможно только при наличии зависимости между физическими величинами, характеризующими распределение температуры тела в пространстве и времени. Такая зависимость для одномерного температурного поля, т. е. когда тепло распространяется в одном направлении, выводится следующим образом.

Выделим в однородном теле элементарный параллелепипед со сторонами  $dx$ ,  $dy$ ,  $dz$  (рис. 2.1).

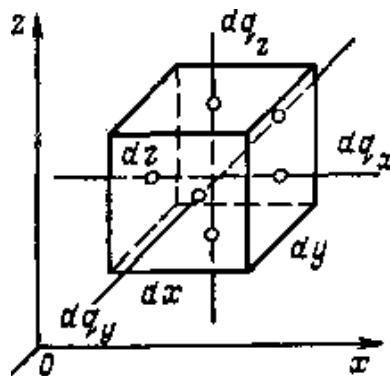


Рис. 2.1. Схема к выводу дифференциального уравнения одномерного температурного поля.

В общем случае температура в теле распределена неравномерно. Поэтому градиент температуры в разных точках поля имеет не одинаковые значения и величина теплового потока изменяется от точки к точке. На пути  $dx$  удельный тепловой поток изменяется на величину

$$dq_x = \frac{\partial q_x}{\partial x} \cdot dx.$$

Если тепловой поток возрастает, производная будет иметь положительное значение. Умножив значение теплового потока на площадь грани параллелепипе-

да, нормальной к направлению  $x(dy, dz)$ , и на время  $d\tau$  и подставив вместо  $q_x$  его значение в предыдущее уравнение, получим выражение для приращения полного теплового потока, прошедшего через элементарный параллелепипед на расстоянии  $dx$  за время  $d\tau$ , т. е.

$$dq = \frac{\partial q_x}{\partial x} dx \cdot dy \cdot dz = -\lambda \frac{d^2 t}{dx^2} d\nu \cdot d\tau, \quad (2.7)$$

где  $d\nu$  – объем элементарного параллелепипеда.

Коэффициент теплопроводности  $\lambda$  – величина постоянная. Из закона сохранения энергии следует, что выделение тепла из элементарного объема тела происходит за счет уменьшения его внутренней энергии (энтальпии). Таким образом, количество тепла, прошедшее через объем  $d\nu$  за время  $d\tau$ , в соответствии с уравнением (2.6) можно определить по формуле

$$dq = -\chi d\nu \cdot \frac{\partial t}{\partial \tau} \cdot d\tau, \quad (2.8)$$

где  $\chi d\nu$  – теплоемкость элементарного параллелепипеда, Дж/кг.

Здесь приращение температуры, являющееся отрицательным, выражено в виде произведения скорости  $\partial t / \partial \tau$  изменения температуры на элементарный промежуток времени  $d\tau$ . Обозначив  $\lambda / \chi$  через  $a$  и приравняв правые части уравнений (2.7) и (2.8), получим основное дифференциальное уравнение температурного поля для одномерного потока тепла (уравнение Фурье)

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \frac{d^2 t}{dx^2}, \quad (2.9)$$

где  $a$  – коэффициент температуропроводности.

Уравнение (2.9) является основным уравнением распространения тепла в твердом теле. Оно устанавливает связь между изменениями температуры тела во времени и пространстве. Левая часть уравнения характеризует интенсивность изменения температуры в какой-либо точке тела, а правая – интенсивность изменения градиента температуры в направлении оси  $x$  около этой точки. Но так как тепловой поток пропорционален градиенту температуры, то правая часть характеризует также и интенсивность изменения теплового потока в направлении оси  $x$ . Значение теплового потока определяется наклоном температурной кривой в каждой точке, а производная от теплового потока определя-

ет изменение теплового потока во времени, то есть увеличение или уменьшение тепла в рассматриваемой точке, что приводит к повышению или понижению температуры во времени.

#### 2.4. Теплофизические характеристики горных пород

При исследовании и анализе процессов теплопроводности горных пород достоверность зависит от знания значений их теплофизических характеристик, к которым относятся коэффициент теплопроводности, удельная теплоемкость и коэффициент температуропроводности.

*Коэффициент теплопроводности ( $\lambda$ )* – количество тепла, протекающего за единицу времени через единицу площади, нормалью к направлению потока тепла, при перепаде температуры на единице длины нормали, равном  $1^\circ\text{C}$  (К). Для различных веществ значения коэффициента теплопроводности различны и изменяются в очень широких пределах в зависимости от химического состава вещества, его физического строения, влажности, плотности, удельного давления и температуры. Теплопроводность в газах и парах обуславливается в значительной степени процессом молекулярного переноса кинетической энергии.

В зависимости от величины коэффициента теплопроводности различают вещества с хорошей и плохой теплопроводностью. К первым относятся металлы (для железа и меди значение  $\lambda$  равно соответственно 58,15 и 407,05 (Вт/м $\cdot$  $^\circ\text{C}$ ). К веществам с плохой теплопроводностью относятся горные породы и газы. При тепловых расчетах значения коэффициента теплопроводности принимаются по справочным таблицам.

*Коэффициент теплоемкости вещества ( $c$ )* – количество поглощенного тепла при повышении температуры его на один градус при нестационарном процессе нагрева.

*Коэффициент температуропроводности ( $a$ )* – способность тела при нагревании или охлаждении выравнять температуру в отдельных его местах. Он характеризует интенсивность выравнивания температуры в различных точках поля. Чем больше коэффициент температуропроводности тела, тем меньше разность температур в отдельных местах внутри тела при одинаковых условиях его нагревания или охлаждения.

Коэффициент теплопроводности характеризует интенсивность поглощения тепла, а коэффициент температуропроводности – интенсивность нагревания вещества до заданной температуры. Коэффициент температуропроводности определяется путем измерений или рассчитывается по формуле

$$a = \frac{\lambda}{c\gamma}, \text{ м}^2/\text{с} . \quad (2.10)$$

где  $\gamma$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>.

Для распространенных горных пород значения теплофизических характеристик приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Теплофизические характеристики горных пород

Наименование породы	Плотность $\gamma$ , кг/м <sup>3</sup>	Удельная теплоемкость $c$ , кДж/(кг·°С)	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м·°С)	Коэффициент температуропроводности $a \cdot 10^7$ , м <sup>2</sup> /с
Базальт	2300	0,921	3,50	1,35
Гранит	2720	0,917	2,21	8,84
Доломит	2675	0,929	1,73	6,96
Известняк	2000	0,920	1,16	6,31
"	2600	0,871	1,43	6,33
Ракушечник	1400	0,921	0,86	6,66
Песчаник	2380	0,791	2,64	14,03
"	2590	0,988	1,05	4,10
"	2900	0,749	2,02	9,30
Мергель	2130	1,570	1,93	5,82
Мел	2020	1,965	1,80	4,56
Серный колчедан	4600	0,860	4,20	10,30
Сланец	2690	0,992	2,22	8,31
"	2330	0,913	1,88	8,83
Сланец глинистый	2770	0,319	1,88	8,30
"	2430	0,992	0,93	3,86
Сланец песчаный	2740	0,849	1,89	8,14
Уголь	1340	0,971	0,22	1,69

## 2.5. Передача тепла конвекцией

Твердое тело в неподвижной газовой среде отдает тепло в окружающую среду теплопроводностью. Передача же тепла от неподвижного твердого тела движущейся газовой среде (как это имеет место в горных выработках) происходит значительно сложнее, чем в неподвижной газовой среде. В этом случае помимо передачи тепла теплопроводностью тепло передается движущемуся потоку конвекцией.

Явление теплопроводности в неподвижных твердых телах, жидкостях и газах определяется температурным градиентом и коэффициентом теплопроводности. Совсем иначе обстоит дело с явлением конвекции. Передача тепла здесь неразрывно связана с переносом газа или жидкости. Здесь на передачу тепла оказывает влияние не только термическое сопротивление самого тела, но и сопротивление на его поверхности. Влияние этого сопротивления на теплообмен в пограничном слое в процессе передачи тепла конвекцией осуществляется частично за счет движения потока газа или жидкости и частично в силу теплопроводности внутри газа или жидкости. В плоскости, нормальной к поверхности тела, температура газа или жидкости изменяется от максимального значения у поверхности тела до более низкого значения в потоке на некотором расстоянии от поверхности тела. Вблизи поверхности тела градиент температуры почти неизменен. Сама же температура становится постоянной только на значительном расстоянии от поверхности твердого тела.

Перенос тепла конвекцией зависит от режима движения газа или жидкости, природы его возникновения, рода и физических характеристик движущейся среды, формы и размеров поверхности твердого тела и других факторов. Для характеристики процесса теплоотдачи конвекцией используют коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  газовой или жидкой пленки, равный отношению теплопроводности к толщине пленки  $\lambda/\Delta l$ .

В основу изучения теплоотдачи конвекцией положена закономерность охлаждения или нагревания тел, установленная Ньютоном. По закону Ньютона количество тепла, теряемое поверхностью тела в единицу времени

$$q = \alpha(t_c - t_g)s, \quad (2.11)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  $t_c$  – температура поверхности стенки, с которой соприкасается газ или жидкость, °С;  $t_g$  – температура движущейся среды, °С;  $s$  – площадь соприкосновения газа со стенкой, м<sup>2</sup>.

Удельный тепловой поток

$$q_0 = \alpha(t_c - t_g) \quad (2.12)$$

Известны два режима движения жидкости или газа – ламинарный и турбулентный. Ламинарным или струйчатым движением называется движение, при котором частицы жидкости движутся по параллельным траекториям. Такое движение имеет место при малых скоростях. Турбулентным или вихревым

называется движение, при котором частицы жидкости или газа движутся неупорядоченно (хаотически).

Различают естественную и вынужденную конвекцию. При естественной конвекции движение газа или жидкости обусловлено только присутствием нагретого тела. Жидкость или газ возле тела нагревается, плотность вследствие этого изменяется и жидкость или газ приходит в движение под влиянием сил тяжести. При вынужденной конвекции движение жидкости или газа относительно нагретого твердого тела происходит под влиянием внешнего источника энергии. В шахтных условиях явление естественной конвекции не имеет практического значения, так как даже естественная тяга вызывает вынужденную конвекцию. Ламинарный режим движения воздуха в шахте имеет место в весьма редких случаях, например в выработанном пространстве или в не проветриваемых выработках. Поэтому в учебнике рассматривается теплоотдача при турбулентном движении воздуха.

При турбулентном режиме тепло передается теплопроводностью только через пограничный слой у стенки. В ядре потока тепло распространяется путем перемешивания газа или жидкости. Так как теплопроводность воздуха низкая, то пограничный слой по сравнению с ядром потока представляет собой большое термическое сопротивление. Максимальное изменение температуры наблюдается в пределах пограничного слоя (у стенки). Следовательно, при турбулентном режиме интенсивность теплообмена в значительной мере определяется толщиной пограничного слоя.

В шахтах в проветриваемых выработках скорость движения воздуха всегда значительно больше 0,10 м/с, и число Рейнольдса будет большим ( $Re > 10^4$ ) и температура воздуха по сечению выработки может быть принята постоянной.

## 2.6. Коэффициент теплоотдачи

*Коэффициент теплоотдачи* ( $\alpha$ ) – количество тепла, теряемого единицей поверхности тела в единицу времени при изменении на один градус разности температур поверхности твердого тела и соприкасающейся с ним жидкости или газа ( $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ). Интенсивность теплоотдачи конвекцией различна. Коэффициент теплоотдачи в шахтных условиях может изменяться от нескольких единиц до  $\infty$ . В последнем случае теплообмен в шахтных выработках происходит при интенсивном испарении влаги с поверхности стен выработок. При  $\alpha = \infty$  температура поверхности стенок выработки равна температуре соприкасающегося с ней воздуха. Величина конвективного коэффициента теплоотдачи зависит от скорости движения воздуха, диаметра выработки (канала) и шероховатости стенок.

Вопросу теплообмена при вынужденном движении жидкости или газа внутри канала (трубы) посвящено много исследований. Классическим из них является исследование Нуссельта. При обработке опытных данных он впервые применил теорию подобия и получил обобщенную зависимость. Обобщенная зависимость для определения коэффициента теплоотдачи при движении воздуха по горным выработкам имеет вид

$$Nu = 0,023Re^{0,8}Pr^{0,4}, \quad (2.13)$$

где  $Nu$ ,  $Re$ ,  $Pr$  – соответственно безразмерные критерии Нуссельта, Рейнольдса и Прандтля;

$$Nu = \frac{aD}{\lambda}; \quad Re = \frac{vD}{\nu}; \quad Pr = \frac{\nu}{a};$$

$v$  – скорость движения жидкости или газа, м/с;  $D$  – диаметр канала (выработки), м;  $\nu$  – кинематическая вязкость жидкости, м<sup>2</sup>/с;  $a$  – коэффициент теплопроводности, м<sup>2</sup>/с.

Формула (2.13) применима для всех жидкостей и газов при  $Re > 10^4$ ,  $Pr = 0,7-2500$  и температуре стенки ниже температуры кипения жидкости. По длине трубы теплоотдача различна, поэтому среднее значение коэффициента теплоотдачи для коротких труб выше, чем для длинных. Однако при  $L/D > 40$  ( $L$  – длина трубы) это различие становится незначительным и им можно пренебречь, что и отражено в формуле (2.13). Для двухатомных газов и воздуха  $Pr = 0,72$  независимо от давления и температуры. Тогда для воздуха

$$Nu = 0,023Re^{0,8}0,72^{0,4} = 0,02Re^{0,8}. \quad (2.14)$$

Из формулы (2.13) после подстановки в нее значений  $Nu$  и  $Re$  найдем, что

$$\alpha = 0,023 \frac{v^{0,8} \lambda}{\nu^{0,8} D^{0,2}}. \quad (2.15)$$

Коэффициент  $\lambda$  теплопроводности воздуха зависит от температуры. В шахтах, где колебания температуры воздуха незначительны, можно принять, что  $\lambda = 0,0233$  Вт/м·К.

Коэффициент кинематической вязкости воздуха изменяется в зависимости от температуры и давления: с увеличением температуры он возрастает, а с увеличением давления уменьшается. Для шахтных условий эти изменения незначительны. При этом, с ростом глубины шахт увеличивается как температура



воздуха, так и давление, и эти изменения компенсируются. Поэтому для шахтных условий можно принять  $\nu=15\cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с. Подставив значения  $\lambda$  и  $\nu$  в формулу (2.15), получим, что для горных выработок с гладкими стенками при отсутствии испарения воды с их поверхности коэффициент теплоотдачи равен

$$\alpha = 3,373 \frac{\nu^{0,8}}{D^{0,2}} . \quad (2.16)$$

Как видно из формулы (2.16), коэффициент  $\alpha$  для рассматриваемых условий зависит от скорости движения воздуха и диаметра выработки. Если выработка имеет некруглое сечение, то вместо диаметра следует принимать эквивалентный диаметр, определяемый по формуле

$$D=4S/U$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения выработки, м<sup>2</sup>;  $U$  – поперечный периметр выработки, м.

Влияние шероховатости стенок выработок и шахтной крепи на процесс теплоотдачи исследовалось на моделях аэродинамических каналов квадратного сечения. Установлено, что увеличение коэффициента теплоотдачи от шероховатости выработок и шахтной крепи может быть учтено безразмерным коэффициентом  $\varepsilon_{ш}$  шероховатости, значения которого для различных типов крепи колеблются в пределах 1 – 3,5. Тогда формула (2.16) примет вид

$$\alpha = 3,373 \varepsilon_{ш} \frac{\nu^{0,8}}{D^{0,2}} . \quad (2.17)$$

## 2.7. Передача тепла излучением

Процесс теплового излучения по своей природе отличается от теплопроводности и конвекции. Он сопровождается двойным превращением энергии: тепловая энергия превращается в лучистую, которая затем превращается снова в тепловую. В шахтных условиях тепловое излучение в общем теплообмене незначительно. Однако при проведении тупиковых забоев, проветриваемых с помощью ВМП по вентиляционным трубам, теплоотдача от водяных паров и углекислоты шахтного воздуха и от горного массива в призабойной зоне излучением, направленным на наружную стенку воздухопровода и горнорабочих, может быть достаточно ощутима. Из всех носителей лучистой энергии в тупи-

ковых забоях представляет интерес учет инфракрасного или теплового излучения. Тепловое излучение свойственно всем телам. Каждое тело излучает энергию непрерывно. Попадая на другие тела, лучистая энергия частично поглощается и частично отражается. Та часть лучистой энергии, которая поглощается телом, снова превращается в тепловую. Количество отдаваемого или воспринимаемого тепла определяется разностью между количеством излучаемой и поглощаемой телом лучистой энергии. Система находится в подвижном тепловом равновесии, когда поглощение лучистой энергии равно ее излучению.

За единицу лучистой энергии принимается количество энергии, эквивалентное одному джоулю. Количество энергии, излучаемой единицей поверхности в единицу времени, называется лучеиспускательной способностью  $E$  тела. Только абсолютно черные тела полностью поглощают падающую на них лучистую энергию. Зеркальные и абсолютно белые тела полностью отражают падающую на них лучистую энергию. Тела, через которые проходит вся падающая на них лучистая энергия, называются абсолютно проницаемыми (прозрачными) или диатермическими. Абсолютно черных, белых и прозрачных тел в природе нет. Применительно к реальным телам эти понятия условны. Количество энергии, излучаемое в течение 1 ч с  $1 \text{ м}^2$  абсолютно черного тела,

$$E_0 = C_0(T / 100)^4, \quad (2.18)$$

где  $C_0 = 5,77$  – коэффициент лучеиспускания (излучения) абсолютно черного тела, Вт/м<sup>2</sup>;  $T$  – абсолютная температура, К.

$$T = 273,15 + t. \quad (2.19)$$

$t$  – температура воздуха по сухому термометру, °С.

Из уравнения (2.18), называемого законом Стефана – Больцмана, следует, что энергия излучения пропорциональна четвертой степени абсолютной температуры. Исследованиями установлено, что этот закон может быть применим и к серым телам, если в уравнение (2.18) вместо  $C_0$  подставить  $C = e_c C_0$  ( $e_c$  – относительная излучательная способность или степень черноты тела). Коэффициент  $C$  лучеиспускания имеет различные значения для разных тел.

Коэффициент  $C$  зависит от природы тела, состояния его поверхности и температуры. Он всегда меньше коэффициента  $C_0$  и может изменяться в пределах  $0 - 5,77$ . В этом случае закон Стефана – Больцмана примет вид

$$E = e_e C_0 (T / 100)^4 = e_e 4,96 (T / 100)^4. \quad (2.20)$$

Излучательная и поглощательная способности тела подчиняется закону Кирхгофа, который имеет следующую формулировку: отношение лучеиспускательной способности к поглощательной способности для всех тел одинаково и равно лучеиспускательной способности абсолютно черного тела при той же температуре и зависит только от температуры, т.е.

$$E / A = E_0 , \quad (2.21)$$

где  $A$  – поглощательная способность тела.

Подставив в уравнение (2.21) вместо  $E_0$  и  $E$  их значения из уравнений (2.18) и (2.20), найдем, что  $A = e_c$ , т.е. поглощательная способность тела численно равна его относительной излучательной способности или степени черноты тела.

Газы аналогично твердым телам обладают способностью испускать и поглощать лучистую энергию. Для различных газов эта способность различна. Для одно- и двухатомных газов (азота, кислорода, водорода и др.) она ничтожна. Практически эти газы для тепловых лучей прозрачны (диатермичны). Значительными излучательной и поглощательной способностями, имеющими практическое значение, обладают многоатомные газы (углекислота, водяной пар и др.). У газов явление излучения и поглощения имеют ряд особенностей. В газах излучение и поглощение энергии происходит в объеме. При прохождении тепловых лучей через газ их энергия вследствие поглощения уменьшается. Это уменьшение пропорционально длине  $l$  пути луча и парциальному давлению  $p_n$ . Поэтому поглощательная способность газа для какой-либо длины волны зависит от произведения  $p_n l$  и температуры  $T$  газа. Излучение энергии газами характеризуется следующими зависимостями:

$$q_l = f( T_l, p_n l );$$

$$e_2 = f(T, p_n l),$$

где  $q_l$  – количество энергии, излучаемой газом в течение 1 ч с  $1\text{ м}^2$  поверхности,  $\text{Вт/м}^2$ ;  $T_l$  – температура излучения,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $e_2$  – относительная излучательная способность или степень черноты газа;

$$e_2 = q_l / q_0$$

$q_0$  – количество энергии, излучаемой в течение 1 ч с  $1\text{ м}^2$  поверхности абсолютно черного тела при температуре газа (воздуха).

При расчете теплообмена между воздухом и стенками выработки в глубоких шахтах необходимо учитывать теплообмен как путем конвекции, так и путем излучения. Количество тепла, передаваемого конвекцией от газа к стенкам выработки

$$G_k = \alpha_{кон}(t - t_c), \quad (2.22)$$

где  $t$ ,  $t_c$  – соответственно температура воздуха и стенок выработки °С;  $\alpha_{кон}$  – коэффициент теплоотдачи конвекцией, Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

Количество тепла, передаваемого излучением от газа к стенкам выработки,

$$G_l = 0,5(e_c + 1)e_2 C_o \left[ \left( \frac{T}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_c}{100} \right)^4 \right]. \quad (2.23)$$

где  $T$  и  $T_c$  – соответственно температура воздуха и температура стенки выработки, °С.

Из выражений (2.21) и (2.22) получим:

$$G_k = \left\{ \alpha_{кон} + 0,5(e_c + 1)e_2 C_o \frac{(T/100)^4 - (T_c/100)^4}{T - T_c} \right\} (t - t_c) \quad (2.24)$$

$$G = (\alpha_{кон} + \alpha_{изл})(t - t_c) = \alpha_o(t - t_c). \quad (2.25)$$

Из выражений (2.23) и (2.24) получим формулу для определения коэффициента теплоотдачи излучением

$$\alpha_{изл} = 0,5(e_c + 1)e_2 5,77 \cdot 10^{-8} (T^4 - T_c^4) / (T - T_c). \quad (2.26)$$

Таким образом, в случае одновременного теплообмена конвекцией и тепловым излучением расчетное уравнение (2.25) аналогично уравнению (2.12) для чисто конвективного теплообмена.

## **2.8. Нестационарный теплообмен между воздухом и горным массивом**

Основным источником нагрева вентиляционного воздуха является тепло, поступающее от горного массива. В 30-х и 40-х годах процесс теплообмена,

между горным массивом и воздухом рассматривался в виде стационарного процесса теплопередачи через толстостенную цилиндрическую трубу, толщина которой равна толщине так называемой охлажденной зоны.

Исходя из такого представления о характере процесса теплообмена предлагалось рассчитывать тепловыделение от горного массива шахтных выработок по обычным формулам стационарной теплопередачи в цилиндрических трубах, толщина которых равна глубине охлажденной зоны.

Однако процесс охлаждения массива все время распространяется на новые глубины и состоит в непрерывно продолжающемся охлаждении предыдущих слоев, при этом в тепловыделении участвует всё увеличивающийся объем массива, интенсивность охлаждения различных слоев которого изменяется во времени.

В момент обнажения неохлажденных пород при проведении шахтных выработок температура массива равна постоянной температуре, зависящей от района расположения шахты, состава пород и глубины работ. В этот начальный момент тепловыделение из массива определяется только термическим сопротивлением переходу тепла от породных стенок к движущейся воздушной струе. Это термическое сопротивление, как известно, характеризуется коэффициентом теплоотдачи  $\alpha$ , зависящим от режима движения воздушного потока, теплофизических характеристик, формы, геометрических размеров и состояния поверхности шахтных выработок (шероховатость, сухая или влажная поверхность).

С течением времени происходит непрерывное уменьшение тепловыделения вследствие возрастания термического сопротивления переходу тепла от охлаждения глубинного массива через слои, имеющие различную степень охлаждения. Распределение температур в массиве в каждый данный момент и изменение этого распределения, а также связанного с ним тепловыделения, происходит по сложным законам, для установления которых необходимо решить дифференциальные уравнения процесса при соответствующих краевых условиях.

Именно такое представление процесса теплообмена между горным массивом и вентиляционным воздухом отражено в работах Г. Карслоу и Д. Егера, А.Н. Щербаня, О.А. Кремнева, А.Ф. Воропаева и др.

Для получения зависимостей, описывающих сложный нестационарный процесс теплообмена между воздухом и горным массивом, необходимо решить дифференциальные уравнения этого процесса при различных поверхностях теплообмена и различных законах изменения температуры охлаждающей среды.

Решение дифференциального уравнения теплопроводности для полого цилиндра – уравнения второго порядка в частных производных – в общем виде представляет собой функциональную зависимость температуры  $t$  любой точки массива от определяющих факторов:

$$t = f(\tau, R, \psi, z, \lambda, c\gamma, a, \alpha, t_n, t), \quad (2.27)$$

где  $\tau$  время;  $R, \psi, z$  – цилиндрические координаты массива и поверхности теплообмена;  $\lambda, c\gamma, a$  – коэффициенты теплопроводности, удельной теплоемкости и температуропроводности массива;  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи стен выработок воздуху;  $t_n, t$  – температуры горных пород на данной глубине и воздуха.

Теплофизические характеристики горных пород могут быть, в свою очередь, функциями координат и температур, а температуры воздуха – функциями координат и времени.

Для расчета температуры воздуха в вентиляционной сети выработок шахты необходимо определить тепловыделение  $Q_\tau$  в каждой выработке в любой расчетный момент времени  $\tau$ , отнесенное к единице времени. Такое тепловыделение может быть получено либо из зависимости (2.27), либо определением нестационарного температурного градиента у охлаждаемой поверхности массива, либо непосредственно из уравнения для нестационарной температуры стенки массива

$$Q_\tau = -\lambda \partial t / \partial R \cdot F \quad \text{при} \quad R \rightarrow R_0; \quad (2.28)$$

$$Q_\tau = \alpha_{\text{кон}}(t_n - t)F \quad \text{при} \quad R = R_0, \quad (2.29)$$

где  $F$  – поверхность стен расчетного участка выработки, м.

В этом случае тепловыделение от горного массива зависит от переменных

$$Q = f(\tau, R_0, \psi_0, z_0, \lambda, c\gamma, \alpha, t_n, t, F), \text{ [Вт]}. \quad (2.30)$$

Зависимости (2.28) – (2.30) можно в такой или дифференциальной форме использовать для выводов уравнений изменения параметров воздуха в выработках различного назначения. В этом случае тепловыделение от горного массива будет одним из источников тепловыделения в шахтных выработках.

Для упрощения и унификации практических тепловых расчетов, облегчения их номографирования, обработки опытных данных и моделирования процессов тепловыделения в шахтных выработках конечные расчетные формулы можно привести также к виду, обычному для стационарных тепловых расчетов. В этом случае представляем  $Q_\tau$  в следующем виде:

$$Q_\tau = \kappa_\tau(t_n - t)F \quad \text{или} \quad dQ_\tau = \kappa_\tau \Delta t \cdot dF. \quad (2.31)$$

В этом равенстве коэффициент  $\kappa_\tau$  представляет собой количество тепла, отнесенного к единице времени [Вт] и выделяемого породным массивом с  $1 \text{ м}^2$  стен выработок в расчетный момент времени при разности между естественной температурой пород и воздушной струей в  $1^\circ\text{К}$ . Этот коэффициент назвали *коэффициентом нестационарного теплообмена* ( $\kappa_\tau$ ). Такое представление  $Q_\tau$ , облегчая пользование полученными зависимостями, не упрощает аналитического решения задачи. В этом случае сложная функциональная зависимость тепловыделения от различных факторов будет отнесена не к  $Q_\tau$ , а к  $\kappa_\tau$ .

$$\kappa_\tau = f(\tau, R_0, \psi_0, z_0, \lambda, c\gamma, a), \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К}). \quad (2.32)$$

Коэффициент нестационарного тепловыделения определяется из уравнения (2.27) по формулам

$$\kappa_\tau = -\lambda / (t_n - t) \partial t / \partial R, \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К}); \quad \text{при } R \rightarrow R_0; \quad (2.33)$$

$$\kappa_\tau = \alpha (t_c - t) / (t_n - t), \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К}); \quad \text{при } R = R_0. \quad (2.34)$$

В шахтных выработках значительную роль играет массообмен между воздухом и водой. При этом может происходить испарение влаги со стен шахтных выработок, испарение влаги вследствие теплообмена с воздухом и комбинация различных сочетаний этих процессов. Испарение влаги со стен выработок с влажной поверхностью (часто просто мокрые стены), влияет на значение коэффициента нестационарного теплообмена, интенсифицируя процесс передачи тепла от стен выработок воздуху, повышая его влагосодержание. В этом случае коэффициент теплоотдачи возрастает, а температура стен практически становится равной температуре воздуха  $t_c \cong t$ . Этот частный случай теплообмена можно характеризовать бесконечным значением коэффициента теплоотдачи  $\alpha$ , и расчетные зависимости для него могут быть получены из общих решений подстановкой  $\alpha = \infty$ .

## **2.9. Аналитические зависимости для коэффициента нестационарного теплообмена**

Решение дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности для полого цилиндра (уравнения Фурье) при ряде упрощающих допущений (окружающий горный массив однороден и изотропен, ограничивающей поло-

стью массива является бесконечная круговая цилиндрическая поверхность, начальная температура массива постоянна и равна естественной температуре горных пород на данной глубине, коэффициент теплоотдачи в выработке постоянен и определяется аэродинамикой воздушной струи) и неизменной во времени температуре поступающего воздуха приведено в работе<sup>1</sup>.

При этих допущениях дифференциальное уравнение (2.27) и краевые условия (2.28 – 2.30) примут вид:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \alpha \left( \frac{\partial^2 t}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \cdot \frac{\partial t}{\partial R} \right) \quad (2.35)$$

$$t_c = t_n \text{ при } \tau = 0 \quad (2.36)$$

$$t \rightarrow t_n \text{ при } R \rightarrow \infty, \tau > 0 \quad (2.37)$$

$$-\lambda \frac{\partial t}{\partial R} + \alpha(t_n - t) = 0 \text{ при } R = R_0 \quad (2.38)$$

Уравнение (2.35) при краевых условиях (2.36 – 2.38) представляет процесс охлаждения горного массива и нагрева воздушной струи.

Дифференциальное уравнение в безразмерном виде можно получить, используя безразмерную относительную температуру для любой точки массива в любой момент, используя соотношение

$$\mathcal{G} = (t_c - t) / (t_n - t). \quad (2.39)$$

Тогда уравнение (2.35) и краевые условия (2.36) – (2.38) примут вид

$$\frac{\partial \mathcal{G}}{\partial \tau} = \alpha \left( \frac{\partial^2 \mathcal{G}}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \cdot \frac{\partial \mathcal{G}}{\partial R} \right) \quad (2.40)$$

$$\mathcal{G} = 1 \text{ при } \tau = 0; \quad (2.41)$$

$$\mathcal{G} \rightarrow 1 \text{ при } R \rightarrow \infty, \tau > 0 \quad (2.42)$$

---

<sup>1</sup>Щербань А.Н. Научные основы расчёта и регулирования теплового режима глубоких шахт/ А.Н.Щербань, О.А.Кремнёв. Том 1.- К.: АНУССР.-1959.- 430 с.



$$-\lambda \frac{\partial \vartheta}{\partial R} + \alpha \vartheta = 0 \quad \text{при} \quad R = R_0 \quad (2.43)$$

Окончательное решение для безразмерной относительной температуры неограниченного массива с цилиндрической полостью бесконечной длины при  $R = R_0$  получено О.А. Кремнёвым и имеет следующий вид

$$\vartheta_{cm} = \frac{2}{\pi Bi} \int_0^\infty \frac{Y_0(\mu)I_1(\mu) - I_0(\mu)Y_1(\mu)}{\mu \left[ I_0(\mu) + \frac{\mu}{Bi} I_1(\mu) \right]^2 + \mu \left[ Y_0(\mu) + \frac{\mu}{Bi} Y_1(\mu) \right]^2} e^{-\mu^2 F_0} \cdot \frac{d\mu}{\mu} \quad (2.44)$$

Аналитическая зависимость для коэффициента нестационарного теплообмена может быть получена согласно равенству (2.33), дифференцированием общего решения для безразмерной относительной температуры массива (2.39).

$$\kappa_\tau = \frac{\lambda}{R_0} \cdot \frac{4}{\pi^2} \int_0^\infty \frac{e^{-\mu^2 F_0} d\mu}{\mu \left[ I_0(\mu) + \frac{\mu}{Bi} I_1(\mu) \right]^2 + \mu \left[ Y_0(\mu) + \frac{\mu}{Bi} Y_1(\mu) \right]^2} \quad (2.45)$$

где  $I_0(\mu)$ ,  $I_1(\mu)$ ,  $Y_0(\mu)$ ,  $Y_1(\mu)$  – бесселевы функции первого и второго рода от действительного аргумента нулевого и первого порядка.

В уравнении (2.45) подинтегральная функция безразмерна, так как  $F_0$  и  $Bi$  – безразмерные критерии.

Однако пользоваться формулой (2.45) при практических расчётах из-за её сложности весьма затруднительно. В той же работе даны приближённые решения уравнения теплопроводности путём представления функций Бесселя экспоненциальными рядами. В результате получены более простые формулы для расчёта коэффициента нестационарного теплообмена:

– для выработок со временем обнажения горного массива менее года

$$\kappa_\tau = \alpha \left[ 1 - \frac{Bi}{Bi'} f(z) \right], \quad (2.46)$$

$$f(z) = 1 - \exp(Bi'^2 \cdot F_0) \operatorname{erfc}(Bi' \cdot F_0); \quad Bi' = Bi + 0,375. \quad (2.47)$$

Функция  $f(z)$  вычислена для пределов изменения аргумента  $z$  от 0 до 200, достаточных для практических расчётов, и представлена в виде таблицы или аппроксимирована и представлена в виде формул:

– при испарении влаги с поверхности выработки

$$\kappa_{\tau} = \frac{\lambda}{R_0} \left( 0,375 + \frac{R_0}{\sqrt{\pi a \tau}} \right); \quad (2.48)$$

– для выработок, проветриваемых свыше года

$$\kappa_{\tau} = \frac{1}{1 + \frac{\lambda}{2\alpha R_0}} \left[ \frac{\lambda}{2R_0} + \frac{\lambda}{\sqrt{\pi a \tau} \left( 1 + \frac{\lambda}{2\alpha R_0} \right)} \right]; \quad (2.49)$$

– при испарении влаги с поверхности выработки

$$\kappa_{\tau} = \frac{\lambda}{2R_0} + \frac{\lambda}{\sqrt{\pi a \tau}}. \quad (2.50)$$

Сравнение результатов расчётов по формулам (2.46) и (2.49) с точным решением (2.45) для значений критериев Био, равных 1 и 16, в пределах изменения критерия Фурье от 0 до 10, что характерно для условий угольных шахт, показало, что расхождение не превышает 10% и упрощённые зависимости могут быть рекомендованы для практического использования.

Коэффициенты нестационарного теплообмена по приведенным выше формулам могут быть вычислены для известного времени проветривания выработки в заданном сечении. Поскольку время проветривания начала и конца расчётной выработки значительно отличаются, при расчётах необходимо учитывать такое время проветривания, которое наиболее достоверно характеризует длительность охлаждения (нагрева) горных пород на расчётном участке. По этому вопросу нет единого мнения. Воропаевым А.Ф. расчётное время рекомендуется определять по формуле

$$\tau_p = \left[ \frac{0,6(\tau_n - \tau_k)}{\tau_n^{0,6} - \tau_k^{0,6}} \right]^{2,5} \quad (2.51)$$

где  $\tau_n$  и  $\tau_k$  – время проветривания соответственно начала и конца расчётного участка выработки, ч.

Для выработок, находящихся в стадии проходки, т.е.  $\tau_k = 0$ , по формуле

$$\tau_p = \left( \frac{0,6\tau_n}{\tau_n^{0,6}} \right)^{2,5} = 0,279\tau_n. \quad (2.52)$$

При этом если  $\tau_k/\tau_n > 0,2$ , то  $\tau_p$  вычисляется по формуле

$$\tau_p = \frac{\tau_n + \tau_k + 2\sqrt{\tau_n \cdot \tau_k}}{4} \quad (2.53)$$

Правомерность использования формулы (2.53) при определении коэффициента  $\kappa_\tau$  в тепловых расчетах выработок можно показать на основании известного положения теории математического анализа, согласно которому среднее значение функции  $f(x)$  на отрезке  $[a, b]$  равно

$$f(x) = \frac{\int_a^b f(x)dx}{b-a}. \quad (2.54)$$

Следовательно, для расчётного участка выработки коэффициент  $\kappa_\tau$  необходимо вычислять по формуле (2.54)

$$\kappa_\tau = \frac{\int_{\tau_k}^{\tau_n} \kappa_\tau d\tau}{\tau_n - \tau_k} \quad (2.55)$$

Для примера найдём среднее значение коэффициента  $\kappa_\tau$  при интенсивном испарении влаги с поверхности выработки (формула 2.48) для расчётного участка со временем проветривания  $\tau_n$  начала и  $\tau_k$  конца участка

$$\kappa_{\tau,ср} = \frac{\int_{\tau_k}^{\tau_n} \frac{\lambda}{R_o} \left( 0,375 + \frac{R_o}{\sqrt{\pi a \tau}} \right) d\tau}{\tau_n - \tau_k} = \frac{\lambda}{R_o} \left( 0,375 + \frac{R_o}{\sqrt{\pi a} \frac{(\sqrt{\tau_n} + \sqrt{\tau_k})}{2}} \right) \quad (2.56)$$

Очевидно, что

$$\left( \frac{(\sqrt{\tau_n} + \sqrt{\tau_k})}{2} \right)^2 = \frac{\tau_n + \tau_k + 2\sqrt{\tau_n \tau_k}}{4}, \quad (2.57)$$

т.е. правая часть равенства (2.57) представляет собой среднеинтегральное время проветривания ( $\tau_p$ ) расчётной выработки.

## Раздел 3. Термодинамические параметры рудничного воздуха

### 3.1. Основные свойства влажного воздуха

Рудничный воздух представляет собой смесь различных газов, содержащую сухую часть воздуха (азот, кислород, аргон, углекислый газ, и др. примеси), и небольшое количество водяного пара. *Смесь сухого воздуха и водяных паров называется влажным воздухом.*

Сухой воздух, хотя и представляет смесь газов, рассматривается как единое целое, так как в интервале температур от  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$  его состав и свойства не изменяются.

При температурах, наблюдающихся в шахтах, воздух всегда находится в газообразном (сухом) состоянии, в то время как водяной пар, в зависимости от атмосферных условий, может быть как в виде капельной жидкости, твердом состоянии, так и в виде перегретого или насыщенного пара. Но максимальное его давление в воздухе в указанном интервале температур близко к атмосферному. Причем возможен как прямой фазовый переход (испарение влаги), например – в воздухоподающих горных выработках различного назначения, так и обратный фазовый переход (конденсация влаги при понижении температуры воздуха), например, при движении в вентиляционных стволах или при искусственном охлаждении воздуха в выработках с повышенными температурами. Поэтому, с достаточной для технических расчетов точностью, влажный воздух рассматривается как воздушная смесь, подчиняющаяся законам идеальных газов.

Для температур и давлений, имеющих место в шахтах, влажный воздух рассматривается как идеальный газ, и при анализе его термодинамических свойств используются закономерности идеальных газовых смесей.

Термодинамические свойства сухого воздуха и водяного пара различны, поэтому свойства влажного воздуха зависят от их количественного соотношения. Физические свойства влажного воздуха характеризуются следующими параметрами: парциальным давлением водяного пара  $p_n$ , влагосодержанием  $d$ , относительной влажностью  $\varphi$ , удельной энтальпией  $i$ , удельной теплоемкостью  $c$ , плотностью  $\gamma$ , удельным объемом  $v$ , температурой по сухому термометру  $t_c$ , температурой по мокрому термометру  $t_m$ , температурой точки росы  $t_r$ .

Температурой точки росы  $t_r$  – это температура, до которой необходимо охладить влажный воздух при постоянном давлении, чтобы он стал насыщенным.

Согласно закону Дальтона сумма парциальных давлений газов, входящих в газовую смесь, равна общему давлению газовой смеси.

*Барометрическое давление* атмосферного воздуха представляет собой смесь, состоящую из сухого воздуха и водяного пара, общее давление которой, в соответствии с законом Дальтона, равно сумме парциальных давлений сухой его части ( $p_c$ ) и водяного пара ( $p_n$ ):

$$P = p_c + p_n, \quad (3.1)$$

где  $P$  – барометрическое (полное) давление газовой смеси рудничного воздуха;  $\text{Н/м}^2$ ;  $p_c$  – парциальное давление сухого воздуха,  $\text{Н/м}^2$ ;  $p_n$  – парциальное давление водяных паров,  $\text{Н/м}^2$ .

Давление газов и паров измеряется в  $\text{Н/м}^2$ . Сила в 1 Ньютон – это сила, сообщающая телу с постоянной массой в 1 кг ускорение  $1 \text{ м/с}^2$ . Единице давления  $1 \text{ Н/м}^2$  присвоено имя Паскаля - французского ученого (1623 - 1662 г.г.), одного из основоположников классической гидростатики. Соотношение единиц давления международной системы единиц СИ с технической системой МКГСС:

$$1 \text{ Н/м}^2 = 1 \text{ Па};$$

$$9,81 \text{ Н/м}^2 = 1 \text{ мм.вод.ст} = 1 \text{ кг/м}^2;$$

$$98,1 \text{ кН/м}^2 = 1 \text{ ат} = 1 \text{ кг/см}^2 = 735,57 \text{ мм.рт.ст};$$

$$100 \text{ Н/м}^2 = 1 \text{ мб (миллибар)};$$

$$100 \text{ кН/м}^2 = 1 \text{ бар} = 750 \text{ мм.рт.ст};$$

$$101,325 \text{ кН/м}^2 = 1 \text{ атм} = 760 \text{ мм.рт.ст}.$$

Парциальное давление водяного пара,  $p_n$ , во влажном воздухе при конкретной температуре не может быть выше определенной величины давления насыщения  $p_n$ :

$$p_n \leq p_n. \quad (3.2)$$

*Давление насыщения* это максимально возможное давление водяного пара при заданной температуре. Величина давления насыщения водяных паров определяется только температурой (рис. 3.1).

Если в воздухе  $p_n < p_n$ , то такой воздух называется ненасыщенным (водяной пар находится в перегретом состоянии), а когда  $p_n = p_n$ , то воздух является насыщенным (т.е. давление водяного пара в воздухе равно максимально возможному давлению при данной температуре воздуха).

Количество влаги, содержащейся в воздухе, измеряется в относительных величинах: на 1 кг сухого воздуха ( $d$ , г/кг<sub>св</sub>) или на  $(1+x)$  кг влажного воздуха ( $x$ , кг водяного пара, содержащегося в воздухе).

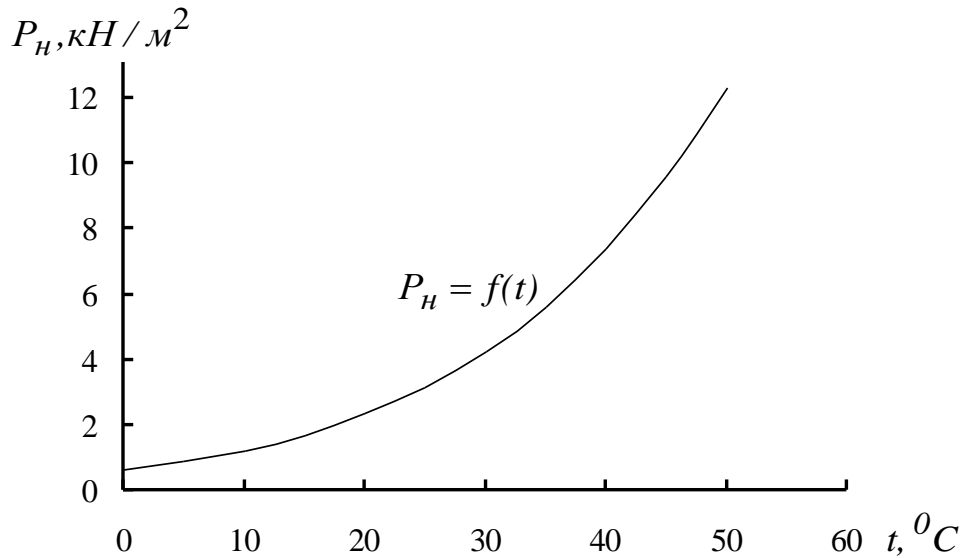


Рис. 3.1. Зависимость давления насыщения водяных паров от температуры

$$x = \text{кг}_{\text{пара}}/\text{кг}_{\text{с.в.}} \quad \text{или} \quad d = \Gamma_{\text{пара}}/\text{кг}_{\text{с.в.}}$$

$$x = d \cdot 10^{-3}, \text{ кг}/\text{кг}_{\text{с.в.}}$$

*Массовое влагосодержание*  $d$  (паросодержание) - отношение массового количества пара (влаги),  $m_n$ , содержащегося во влажном воздухе, к массовому количеству сухого воздуха,  $m_c$ :

$$d = m_n \cdot 10^3 / m_c, \text{ г}/\text{кг}_{\text{св.}} \quad (3.3)$$

Поскольку рудничный воздух считается идеальным газом, то он подчиняется закону Клапейрона:

$$Pv = RT, \quad (3.4)$$

где  $P$  – полное давление,  $\text{H}/\text{м}^2$ ;  $v$  – удельный объем,  $\text{м}^3/\text{кг}$ ;  $R$  – газовая постоянная,  $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ;  $T$  – абсолютная температура,  $\text{К}$  (см. ф. 2.19);

Для сухого воздуха и водяного пара уравнение (3.4) принимает вид:

$$P_c \cdot V = m_c \cdot R_c \cdot T, \quad (3.5)$$

$$P_n \cdot V = m_n R_n \cdot T, \quad (3.6)$$

где  $V$  – объем, занимаемый газом,  $\text{м}^3$ ;  $R_c$  – газовая постоянная сухого воздуха,  $R_c=287 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ ;  $R_n$  – газовая постоянная водяного пара,  $R_n=461,5 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ . Откуда, с учетом (3.3), (3.5) и (3.6), получаем:

$$d = 10^3 \cdot \frac{R_c \cdot p_n}{R_n \cdot p_c} = 622 \frac{p_n}{p_c} = 622 \frac{p_n}{P - p_n}, \text{ Г/кг}_{\text{с.в.}} \quad (3.7)$$

*Влагоёмкость воздуха* – максимальное количество водяных паров, которое может содержать воздух при данной температуре и барометрическом давлении, т.е. при  $p_n = p_n$ . Чем выше температура воздуха, тем больше его влагоёмкость.

$$d_{\text{max}} = 622 \frac{p_n}{P - p_n}, \quad (3.8)$$

где  $d_{\text{max}}$  – влагоёмкость воздуха,  $\text{Г/кг}_{\text{св}}$ .

Из формулы (3.8) следует, что влагосодержание воздуха уменьшается с повышением барометрического давления, т.е. с увеличением глубины работ на шахтах.

**Пример.** Определить влагоёмкость воздуха при температуре  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  и барометрическом давлении:  $100 \text{ кН}/\text{м}^2$  – на поверхности и  $120 \text{ кН}/\text{м}^2$  – в шахте. Давление насыщения, согласно рис. 3.1, составляет  $4,24 \text{ Н}/\text{м}^2$ .

$$d^{\text{нов}} = 622 \frac{4,24}{100 - 4,24} = 27,54 \text{ Г/кг}_{\text{с.в.}}$$

$$d^{\text{ш}} = 622 \frac{4,24}{120 - 4,24} = 22,78 \text{ Г/кг}_{\text{с.в.}}$$

Из приведенного примера видно, что влагосодержание воздуха при одинаковой температуре в шахте будет ниже на  $17 \%$ , что необходимо учитывать при решении вопросов горной аэрологии.

Из формул (3.7) и (3.8) также видно, что парциальное давление водяного пара может изменяться в следующих пределах:  $0 \leq p_n \leq p_n$ . Для удобства анализа состояния влажного воздуха применяется еще один показатель – относительная влажность.

*Относительная влажность воздуха* ( $\varphi$ ) – отношение фактического объемного содержания пара в воздухе ( $\gamma_n$ ) к максимально возможному при данной температуре ( $\gamma_{n,\text{max}}$ ), характеризует способность воздуха поглощать влагу в виде пара:

$$\varphi = \frac{\gamma_n}{\gamma_{n.max}}, \text{ дол. ед.} \quad (3.9)$$

При рассмотрении сухой части воздуха и его пара как идеальных газов, относительная влажность воздуха может быть определена также как отношение

$$\varphi = \frac{p_n}{P_n}, \quad (3.10)$$

Величину  $\varphi$  обычно выражают в процентах:  $0 < \varphi < 100\%$ . Для сухого воздуха  $\varphi = 0$ , для насыщенного воздуха  $\varphi = 100\%$ .

*Плотность влажного воздуха* определяется как его масса, содержащаяся в объеме, равном  $1 \text{ м}^3$ :

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (3.11)$$

где  $\rho$  – плотность влажного воздуха,  $\text{кг/м}^3$ ;  $m$  – масса,  $\text{кг}$ ;  $V$  – объем,  $\text{м}^3$ .

Пользоваться формулой (3.11) на практике затруднительно, поскольку ни масса воздуха, ни объем его обычно не известны. Поэтому плотность воздуха выражается через другие величины в известном уравнении для газовой смеси:

$$R_{вл} = \frac{8314}{r_n \mu_n + r_c \mu_c}, \quad (3.12)$$

где  $R_{вл}$  – газовая постоянная влажного воздуха,  $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ;  $r_n$  – объемная доля водяного пара;  $\mu_n$  – молекулярная масса водяного пара;  $r_c$  – объемная доля сухого воздуха;  $\mu_c$  – молекулярная масса сухого воздуха.

$$\mu_n = 18,016 \text{ кг/кмоль} \quad \mu_c = 28,964 \text{ кг/кмоль}$$

Выражая объемные доли компонентов  $r_n$  и  $r_c$  через их парциальное давление, получим:

$$r_c = \frac{p_c}{P} \quad \text{или} \quad r_c = \frac{P - p_n}{P}; \quad r_n = \frac{p_n}{P}. \quad (3.13)$$

С учетом (3.12) и (3.13) запишем

$$R_{вл} = \frac{8314}{\frac{p_n}{P} \cdot 18,016 + \frac{P - p_n}{P} \cdot 28,964}. \quad (3.15)$$



Из уравнения Клапейрона, записанного для влажного воздуха через его плотность, получим

$$\rho_{вл} = \frac{P}{R_{вл} \cdot T}. \quad (3.15)$$

Подставляя в (3.15) значение  $R_{вл}$  из выражения (3.14) и преобразуя полученное выражение, получим

$$\rho_{вл} = \frac{2,648 \cdot P - p_n}{760 \cdot T}. \quad (3.16)$$

В формуле (3.16) давления  $P$  и  $p_n$  в Н/м<sup>2</sup>, а температура  $T$  в град. К.

Анализ формулы (3.16) показывает, что чем больше парциальное давление пара при данной температуре, т.е. чем выше влажность воздуха, тем меньше плотность влажного воздуха. Таким образом, при одинаковых температурах влажный воздух всегда легче сухого.

*Энтальпия* ( $i$ ) – теплосодержание термодинамической системы. Энтальпия обладает свойством аддитивности, поэтому для влажного воздуха энтальпию представляют в виде суммы энтальпий сухой части воздуха и водяного пара

$$i = i_c + xi_n, \quad (3.17)$$

где  $i$  – энтальпия влажного воздуха, кДж/кг<sub>св.</sub>;  $i_c$  – энтальпия 1кг сухого воздуха, кДж/кг<sub>св.</sub>;  $x$  – влагосодержание воздуха, кг/кг<sub>св.</sub>;  $i_n$  – энтальпия водяного пара, кДж/кг.

$$i_c = c_p t, \quad (3.18)$$

где  $c_p$  – массовая удельная теплоемкость воздуха при изобарном процессе, кДж/(кг·°С).

Энтальпия водяного пара включает скрытую теплоту парообразования и теплоту перегрева пара

$$i_n = r + c_n \cdot t, \quad (3.19)$$

где  $r$  – теплота парообразования воды,  $r = 2501$  кДж/кг;  $t$  – температура по сухому термометру, °С;  $c_n$  – изобарная теплоемкость водяного пара, кДж/(кг·°С).

В горных выработках температура воздуха по сухому термометру может находиться в пределах 2 – 40 °С. С достаточной степенью точности можно принять в указанном диапазоне температур значение изобарной теплоемкости

воздуха  $1,004 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ , а изобарную теплоемкость водяного пара  $1,87 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ .

Таким образом, при расчетах вентиляции угольных шахт и кондиционировании воздуха на глубоких горизонтах, обработке материалов газовых и тепловых съёмов по вентиляции рекомендуется использовать следующую формулу для расчета энтальпии шахтного воздуха:

$$i = 1,004t + x(2501 + 1,87t). \quad (3.20)$$

### 3.2. *I-d* диаграмма влажного воздуха

Термодинамические процессы влажного воздуха удобно изображать и анализировать графически. С этой целью была построена *I-d* диаграмма (Рамзин Л.К.) в косоугольной системе координат. По оси ординат откладываются значения энтальпии воздуха  $i$ , а по оси абсцисс, расположенной под углом  $135^\circ$  к оси ординат, откладывается влагосодержание воздуха  $d$  (рис.3.2). Начало координат (точка 0) соответствует значениям  $i = 0$ ,  $d = 0$ . Ниже нулевой точки откладываются отрицательные значения энтальпии воздуха, выше – положительные. На полученной таким образом косоугольной сетке строятся линии изотерм  $t = \text{const}$ , линии постоянных относительных влажностей  $\varphi = \text{const}$ , влагосодержания  $d$ , шкала парциального давления водяного пара  $p_n$ .

Нижняя кривая  $\varphi = 100\%$  характеризует насыщенное состояние воздуха и называется *пограничной кривой*.

На *I-d* диаграмме область, расположенная выше пограничной кривой, является областью *ненасыщенного пара* ( $\varphi < 100\%$ ), а ниже пограничной кривой – областью *перенасыщенного влажного воздуха* ( $\varphi > 100\%$ ).

На *I-d* диаграмме каждая точка выше пограничной кривой отображает определенное состояние воздуха (температуру, влагосодержание, относительную влажность, энтальпию, парциальное давление пара). Для определения на *I-d* диаграмме точки, соответствующей некоторому состоянию воздуха, достаточно знать два независимых друг от друга параметра.

Искомая точка находится на пересечении линий, соответствующих этим параметрам. Проведя перпендикуляры к линиям, на которых откладываются другие параметры, определяют их значения.

Также определяется на *I-d* диаграмме температура точки росы. Так как температура точки росы является самой низкой температурой, до которой можно охладить воздух при постоянном влагосодержании, то для нахождения

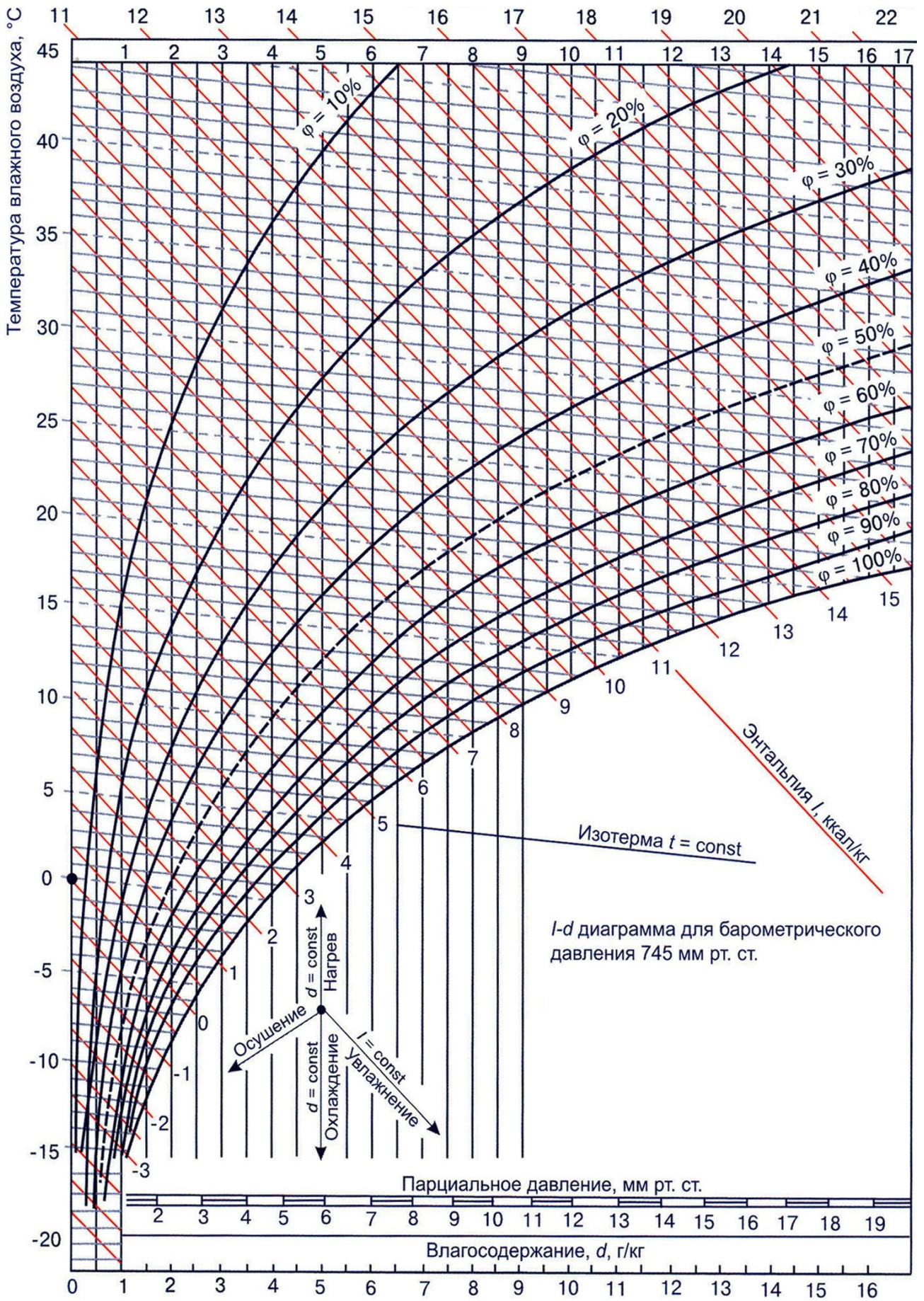


Рис. 3.2.  $I$ - $d$  диаграмма влажного воздуха

точки росы достаточно провести линию  $d=const$  до пересечения с кривой  $\varphi = 100\%$ . Точка пересечения этих линий есть точка росы, а соответствующая ей температура – температурой точки росы.

С помощью  $I-d$  диаграммы можно определить температуру воздуха по мокрому термометру. Для этого из точки с заданными параметрами воздуха проводим изоэнтальпу до пересечения с линией  $\varphi = 100\%$ . Температура, соответствующая точке пересечения этих линий, соответствует температуре по мокрому термометру.

$I-d$  диаграмма влажного воздуха построена для конкретного барометрического давления воздуха. Использование её для переменного давления связано с необходимостью введения расчетных поправок на отклонение давления от того конкретного значения, для которого построена диаграмма. Поэтому для облегчения графических расчетов по таблицам влажного воздуха Щербанем А.Н., Кремневым О.А. и Титовой Н.М. построены  $I-d$  диаграммы для давлений 500, 600, 700, 740, 760, 780, 800, 825, 850, 875, 900, 1000 мм рт. ст для интервалов изменения относительных влажностей через 5% в пределах от 0 до 100% и для интервалов изменения температур от  $-30^{\circ}\text{C}$  до  $+60^{\circ}\text{C}$ .

По  $I-d$  диаграмме удобно производить расчеты самых различных процессов, связанных с изменением параметров воздуха при его нагреве, увлажнении, охлаждении, осушении.

$I-d$  диаграмма влажного воздуха до настоящего времени является инструментом при проектировании систем кондиционирования воздуха, но при использовании печатной диаграммы существуют неудобства, связанные с тем, что диаграмма строится для определенного барометрического давления. Приходится также мириться с невысокой точностью определения параметров, поскольку они определяются на глаз, а невысокое качество печатной продукции, высокая насыщенность линий, недостаточный масштаб повышают вероятность возникновения ошибок. Указанные причины послужили поводом для разработки компьютерной программы расчета под названием « $I-d$  ДАИЧИ», которая является электронной версией  $I-d$  диаграммы. Программа создана в Техническом Центре ДАИЧИ в 2002 году. В отличие от имеющихся аналогов, программа « $I-d$  ДАИЧИ» позволяет строить комплекс процессов обработки воздуха при кондиционировании и определять основные параметры процесса, необходимые для выбора оборудования.

При работе с программой можно задавать любое значение барометрического давления – либо в Па, либо в мм.рт.ст – и на экране монитора появится соответствующее принятым параметрам изображение диаграммы. Размерности энтальпии воздуха будут соответствовать принятым размерностям давления воздуха в ккал/кг или кДж/кг.

### 3.3. Построение термодинамических процессов воздуха на $I-d$ диаграмме

*Процесс нагревания воздуха.* При нагревании воздуха линия термодинамического процесса проходит по прямой  $AB$  (рис.3.3) с постоянным влагосодержанием ( $d=const$ ). Температура воздуха и энтальпия повышаются, а относительная влажность понижается. Расход тепла на нагрев воздуха равен разности энтальпий конечного и начального состояний воздуха.

*Процесс охлаждения воздуха.* Процесс охлаждения воздуха на  $I-d$  диаграмме отражается прямой, направленной вертикально вниз (прямая  $AC$ , рис. 3.3). Расчет производится аналогично процессу нагревания. Однако если линия охлаждения идёт ниже линии насыщения, то процесс охлаждения пойдет по прямой  $AC$  и далее по линии  $\varphi = 100\%$  от точки  $C_1$  до точки  $C_2$ . Параметры точки  $C_2$ :  $d = 4,0$  г/кг;  $t = 0,5$  °С.

*Процесс осушения влажного воздуха.* Осушение влажного воздуха абсорбентами без изменения теплосодержания (без отвода и подвода тепла) происходит по прямой  $i=const$ , то есть по прямой  $AD$ , направленной вверх и влево (прямая  $AD_1$ , рис. 3.3). При этом влагосодержание и относительная влажность снижаются, а температура воздуха возрастает, так как в процессе абсорбции происходит конденсация пара на поверхности абсорбента, и освобожденная скрытая теплота пара переходит в тепло явное. Пределом этого процесса является точка пересечения прямой  $i = const$  с ординатой  $d = 0$  (точка  $D_1$ ). Воздух в этой точке не содержит влаги (сухой).

*Адиабатическое увлажнение и охлаждение воздуха.* Процесс увлажнения воздуха при отсутствии притока тепла будет идти по линии, отличающейся от линии  $i = const$  на теплосодержание жидкой фазы влаги. Эта величина незначительна, поэтому для температур, характерных для шахт, этот процесс можно приближенно считать для влажного воздуха адиабатным и происходящим по линии  $i = const$ . Фактически этот процесс адиабатичен для системы воздуха и увлажняющей его влаги и происходит по линии постоянных значений «мокрого» термометра.

Адиабатическое увлажнение и охлаждение (без теплообмена с внешней средой) на  $I-d$  диаграмме от исходного состояния (точка  $R$ ) отражается прямой, направленной вниз по  $i=const$  (точка  $K$ , рис. 3.3). Процесс происходит при контакте воздуха с водой, постоянно циркулирующей в обратном цикле. Температура воздуха при этом падает, влагосодержание и относительная влажность возрастают. Пределом процесса является точка на кривой  $\varphi=100\%$ , которая соответствует температуре по мокрому термометру. Одновременно эту же температуру должна приобрести рециркулирующая вода. Однако в реальных системах

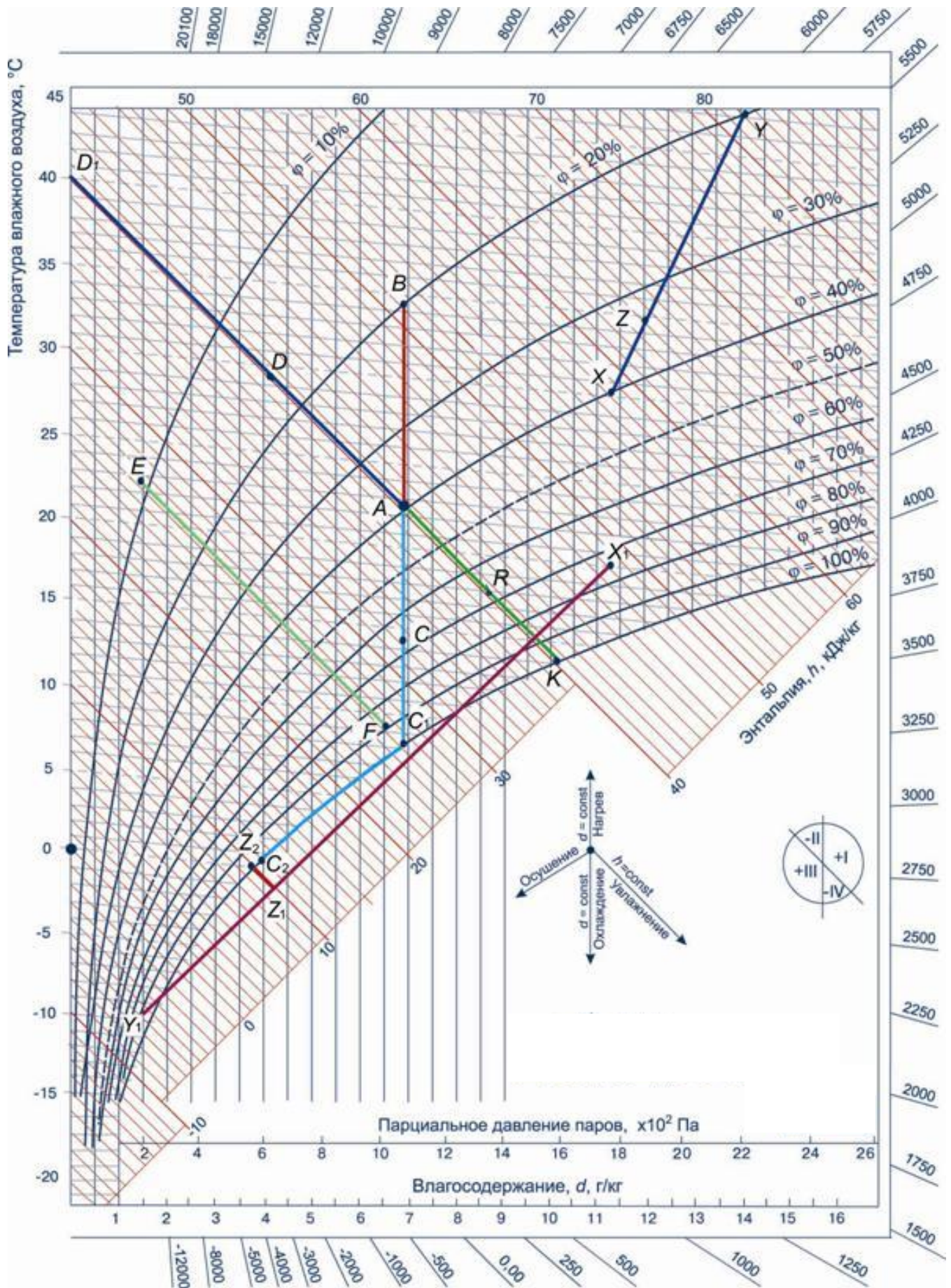


Рис. 3.3. Примеры построения термодинамических процессов воздуха на  $I-d$  диаграмме

кондиционирования воздуха при адиабатических процессах охлаждения и увлажнения воздуха точка  $\varphi=100\%$  практически не достигается.

*Смешение воздуха с различными параметрами.* На  $I-d$  диаграмме параметры смешанного воздуха (с параметрами, соответствующими точкам  $X$  и  $Y$ ) можно получить следующим образом. Соединяем точки  $X$  и  $Y$  прямой (рис. 3.3). Параметры смеси воздуха лежат на этой прямой, а точка  $Z$  делит ее на отрезки, обратно пропорциональные массе воздуха каждой из составных частей смеси. Если обозначить пропорцию смеси  $n=G_x/G_y$ , то, чтобы на прямой  $XU$  найти точку  $Z$ , необходимо прямую  $XU$  разделить на количество частей  $n+1$  и от точки  $X$  отложить отрезок, равный одной части. Точка смеси всегда будет ближе к параметрам того воздуха, сухая часть которого имеет большую массу.

При смешивании двух объемов ненасыщенного воздуха с состояниями, соответствующими точкам  $X_1$  и  $Y_1$  может случиться, что прямая  $X_1Y_1$  пересечет кривую насыщения  $\varphi=100\%$  и точка  $Z_1$  окажется в области туманообразования. Такое положение точки смеси  $Z_2$  показывает, что в результате смешения будет происходить выпадение влаги из воздуха. Точка смеси  $Z_1$  при этом перейдет в более устойчивое состояние на кривую насыщения  $\varphi=100\%$  в точку  $Z_2$  по изотальпе. При этом на каждый килограмм смеси выпадает  $dz_1-dz_2$  грамм влаги.

*Угловой коэффициент на  $I-d$  диаграмме.* Изменения состояния влажного воздуха на  $I-d$  диаграмме можно разделить на 4 характерных сектора (рис. 3.3).

Сектор I – процессы, при которых происходит повышение влагосодержания и увлажнение воздуха при контакте воздуха с водой при температуре воды выше температуры мокрого термометра.

Сектор II – процессы осушения воздуха с повышением его теплосодержания. Такие процессы возможны при применении химических поглотителей влаги с одновременным подогревом воздуха и встречаются на практике крайне редко.

Сектор III – процессы с уменьшением тепло- и влагосодержания воздуха. Их можно осуществлять при контакте воздуха с водой при температуре ее ниже точки росы.

Сектор IV – процессы понижения теплосодержания воздуха с одновременным увлажнением.

Отношение  $\varepsilon = \frac{I_2 - I_1}{d_2 - d_1} = \frac{\Delta I}{\Delta d}$  однозначно определяет характер процесса

изменения влажного воздуха. Причем значения величин  $\Delta I$  и  $\Delta d$  могут иметь знак «+» или «-», либо они могут быть равны нулю. Величина  $\varepsilon$  называется тепловлажностным отношением процесса изменения состояния влажного воздуха, а при изображении процесса лучом на  $I-d$  диаграмме – угловым коэффициентом:

$$\varepsilon = \frac{\Delta I}{\Delta d} \cdot 1000 = \pm \frac{Q_{изб}}{M_E}, \text{ кДж/кг} \quad (3.21)$$

Таким образом, угловой коэффициент равен отношению избыточного тепла ( $Q_{изб}$ ) к массе выделившейся влаги ( $M_E$ ). Угловой коэффициент изображается отрезками лучей на рамке поля  $I-d$  диаграммы.

## Литература к разделу [1 – 12].

### Вопросы для самостоятельного контроля знаний

1. Назовите основные факторы, влияющие на формирование естественного теплового режима горного массива.
2. Проанализируйте зависимость для определения естественной температуры горного массива,  $t_n$ . Объясните физический смысл геотермической ступени горного массива.
3. Объясните изменение температуры воздуха при движении его по вертикальным и наклонным выработкам.
4. За счет чего повышается влагосодержание воздуха в горных выработках, и как это влияет на температуру в выработках?
5. Перечислите основные источники тепловыделения в горных выработках, которые относятся к абсолютным источникам.
6. Назовите источники тепловыделений в горных выработках, которые относятся к относительным и почему?
7. Охарактеризуйте основные виды передачи тепла между горным массивом и воздухом в подземных выработках.
8. Дайте определения теплофизических характеристик горных пород, как они определяются и какая аналитическая связь между ними.
9. Охарактеризуйте процесс конвективного теплообмена в выработках, какие параметры влияют на коэффициент теплоотдачи между горным массивом и воздухом и как он рассчитывается?
10. Дайте определение понятия «лучеиспускательная способность», и какая зависимость между излучательной и поглощательной способностью тела?
11. Объясните суть нестационарного теплообмена между горным массивом и рудничным воздухом и какой коэффициент принят в горной теплофизике для его характеристики?
12. По какому показателю разделяют горные выработки при расчете коэффи-



циента нестационарного теплообмена и почему?

13. Дайте определения термодинамических параметров воздуха: парциальное давление и давление насыщения водяных паров, влагосодержание и влагоемкость воздуха, температура и относительная влажность воздуха, точка росы.
14. Проанализируйте зависимость для определения плотности влажного воздуха.
15. Охарактеризуйте зависимость для определения значения энтальпии рудничного воздуха.
16. Дайте характеристику  $I-d$  диаграммы влажного воздуха, приведите её достоинства и недостатки.
17. Опишите процесс нагревания, охлаждения и осушения влажного воздуха с помощью  $I-d$  диаграммы.
18. Охарактеризуйте величину углового коэффициента на  $I-d$  диаграмме и характер процессов изменения состояния влажного воздуха.

## **Часть II.**

*Рассмотрены теоретические основы расчёта изменения параметров воздуха в выработках различного назначения, проветриваемых за счёт общешахтной депрессии и вентиляторами местного проветривания, приведены аналитические зависимости для расчёта температуры утечек воздуха из выработанного пространства при различных схемах проветривания выемочных участков. Рассмотрены процессы нестационарного теплообмена между горным массивом и утечками воздуха в выработанном пространстве выемочных участков при различных способах управления горным давлением.*

*Опираясь на материалы раздела и справочную литературу, студент должен самостоятельно рассчитывать температуру воздуха в горных выработках, а также температуру утечек воздуха из выработанного пространства выемочных участков при различных способах управления кровлей и схемами проветривания. Прогнозировать тепловые условия в тупиковых выработках при естественных условиях формирования их теплового режима и при искусственном охлаждении воздуха, определять холодильную мощность воздухоохладителей.*

### **Раздел 4. Теоретические основы расчёта изменения параметров воздуха в выработках различного назначения, проветриваемых за счёт общешахтной депрессии**

#### **4.1. Температура воздуха в горных выработках при заданном законе изменения относительной влажности**

##### **4.1.1. Обоснование допущений и исходные данные при математической формулировке задачи**

Изменение тепловлажностных параметров воздуха в выработках шахт происходит под влиянием различных факторов, действие которых совмещено во времени и в пространстве (см. раздел 1). Задача совместного определения температуры и влагосодержания воздуха является весьма сложной, так как не исследованы все факторы, определяющие закономерности тепло- и массообмена горного массива и источников влаги и воздуха. Поэтому в теории тепловых

расчетов задаются законом изменения влажностного состояния воздуха, а изменение температуры воздуха вычисляется по количеству тепла, поступающего от различных местных источников.

Во многих работах принималось, что влагосодержание или относительная влажность воздуха в выработке являются постоянными. Однако такое положение характерно для незначительного количества выработок. В основном в выработках шахт влагосодержание и относительная влажность воздуха изменяется по их длине. Особенно значительные изменения этих параметров наблюдаются в выработках, проветриваемых менее года, в рабочих забоях и при искусственном охлаждении воздуха.

Анализ шахтных наблюдений показал, что между относительной влажностью воздуха и длиной выработки наблюдается определенная зависимость, которая близка к линейной. Скачкообразное изменение относительной влажности происходит только в пунктах смешивания вентиляционных потоков из различных выработок, появлении внезапных источников влаги (порыв труб, притоки шахтной воды и др.) и пунктах расположения воздухоохладителей при кондиционировании воздуха. Поэтому с достаточной степенью точности в качестве закона изменения относительной влажности в выработках различного назначения можно принять линейную зависимость.

Рассмотрим общий случай теплообмена и баланса тепла для элемента наклонной выработки в дифференциальной форме (рис. 4.1) при перечисленных ниже условиях

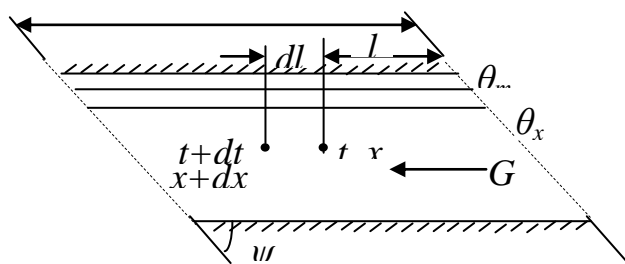


Рис. 4.1. Расчетная схема к описанию тепловых процессов в горной выработке

1. Относительная влажность воздуха ( $\varphi$ ) по длине выработки ( $L$ ) изменяется по линейной зависимости

$$\varphi_l = \varphi_1 + \xi l; \quad (4.1)$$

где  $\xi = \frac{\Delta\varphi}{L}$  – изменение относительной влажности воздуха на единицу общей длины выработки.

Многочисленными экспериментальными исследованиями МакНИИ установлено, что уровень относительной влажности воздуха в выработках глубокой шахты зависит от ее горно-геологических условий и технологии горных работ и при удалении от воздухоподающих стволов на 1,0-1,5 км в течение года остается практически постоянным (колебания составляют 2-3 %). В связи с этим при развитии горных работ и прогнозе ожидаемых температурных условий уровень относительной влажности воздуха и характер ее изменения принимаются по материалам замеров в аналогичных выработках, которые регулярно проводятся службой вентиляции или по материалам депрессионных съемок, выполняемых по заказам шахт.

2. Естественная температура горного массива с глубиной возрастает по линейному закону в направлении, нормальном к земной поверхности

$$t_n = t_n + \sigma l \sin \psi, \quad (4.2)$$

где  $t_n$  – естественная температура горных пород в начале выработки;  $l$  – наклонная длина выработки;  $\sigma$  – геотермический градиент;  $\psi$  – угол наклона выработки.

3. Влагосодержание воздуха в зависимости от температуры, относительной влажности и давления воздуха в небольших диапазонах изменения температуры (5-10 °С) аппроксимировано линейной зависимостью

$$x = \frac{0,622 \varphi n(t - \varepsilon)}{P - p_n^{cp}}; \quad (4.3)$$

где  $P$  – барометрическое давление в выработке;  $p_n^{cp}$  – среднее парциальное давление воздуха на расчетном участке выработки в диапазоне аппроксимации температуры;  $n, \varepsilon$  – коэффициенты уравнения аппроксимации при  $\varphi = 1,0$  и  $P = 101,3 \cdot 10^3$  Па. Значения коэффициентов для ожидаемого диапазона изменения температуры воздуха в выработке до 10 °С и 15 °С принимаются по табл. 4.1.

4. Тепловые потоки в окружающем горном массиве в направлении оси выработки несущественны, т. е.

$$\frac{\partial t(l, R, \tau)}{\partial l} \ll \frac{\partial t(l, R, \tau)}{\partial R}. \quad (4.4)$$

5. Теплофизические свойства (характеристики) горных пород принимаются постоянными, равными их средневзвешенным значениям  $\lambda, a, c, \gamma$ .

6. Расход воздуха в выработке  $G$ , ее поперечное сечение  $S$  и периметр  $U$  принимаются постоянными по длине и во времени.

7. Тепловой эквивалент силы тяжести при движении воздуха по наклонной выработке на элементарном участке равен

$$dQ = \pm gGl \sin \psi dl, \quad (4.5)$$

Таблица 4.1

Значения коэффициентов  $n$ ,  $\varepsilon$  и величины  $p_n^{cp}$  для различных диапазонов изменения температуры воздуха

Диапазон изменения температуры, °С	$n$ , Па/°С	$\varepsilon$ , °С	$p_n^{cp}$ , Па
0-10	61,5	-9,50	893,2
5-15	82,9	-5,09	1253
5-20	96,9	-3,06	1506
10-20	110,6	-0,69	1733
10-25	128,2	1,33	2080
15-25	145,8	3,70	2373
15-30	168,0	5,72	2813
20-30	189,9	8,07	3226
20-35	217,6	10,09	3786
25-35	244,9	12,43	4306
25-40	278,9	14,45	5040
30-40	312,6	16,77	5693
30-45	354,0	18,79	6226
35-45	395,3	21,11	7066
35-50	444,0	23,06	8626
40-50	494,6	25,40	9692

8. Тепловыделения от электрических потерь, механической работы и других источников (шахтная вода, окисление), которые не зависят от температуры воздуха или зависят от средних ее значений, принимаются равномерно распределенными по выработке и на единицу длины составляют

$$dQ = \frac{\sum Q_a}{L} dl + \frac{G_\varepsilon c_\varepsilon \Delta t_\varepsilon}{L} dl + q_0 U dl, \quad (4.6)$$

где  $q_0$  – удельное тепловыделение от окислительных процессов единицы поверхности выработки;  $\sum Q_a$  – суммарные тепловыделения от абсолютных местных источников,  $c_\varepsilon$  – массовая теплоёмкость воды.

9. Теплообмен воздуха с горным массивом носит нестационарный характер и для любого момента времени на участке выработки длиной  $dl$  определяется температурой воздуха и временем ее проветривания. При этом для определенного промежутка времени значение коэффициента  $\kappa_\tau$  принимается постоянным для расчетного времени ( $\tau$ ), равного среднеинтегральному времени проветривания выработки

$$dQ = \kappa_\tau U (t_n + \sigma l \sin \psi - t) dl, \quad (4.7)$$

где  $\kappa_\tau$  – коэффициент нестационарного теплообмена между горным массивом и воздухом;  $U$  – периметр выработки;  $t$  – температура воздуха в выработке.

10. При расположении в выработке различных охлаждающих и нагревающих трубопроводов (трубопроводы с хладоносителем и конденсаторной водой холодильных установок, сжатым воздухом или шахтной водой) тепловыделения на участке  $dl$  в общем виде составят

$$dQ_{mp} = \kappa_x U_x (t - \theta_x) dl + \kappa_m U_m (\theta_m - t) dl, \quad (4.8)$$

где  $\kappa_m, \kappa_x$  – коэффициенты теплоотдачи «теплых» и «холодных» трубопроводов;  $U_m, U_x$  – соответственно периметр «теплых» и «холодных» трубопроводов;  $\theta_m, \theta_x$  – температура жидкости или газа в «теплых» и «холодных» трубопроводах.

11. Массообменные процессы в выработках учитываются заданием закономерности изменения относительной влажности воздуха по длине выработки. Совокупность тепло- и массообменных процессов при этом является авторегулирующей системой с обратной связью. Интенсивность изменения температуры воздуха в выработке определяется уровнем относительной влажности воздуха и характером ее изменения по длине выработки.

Суммарные тепловыделения  $dQ$  в элементе выработки расходуются на повышение энтальпии воздуха путем его нагрева ( $dt$ ) и увлажнения ( $dx$ )

$$dQ = Gcdt + Grdx. \quad (4.9)$$

С учетом принятых допущений (1-11), приравнивая расход тепла его приходу, уравнение теплового баланса для элементарного участка выработки  $dl$ , с учетом принятых на рис. 4.1 и в формулах (4.1)-(4.9) обозначений, примет вид

$$dQ = \kappa_\tau U (t_n \pm \sigma l \sin \psi - t) dl + \kappa_m U_m (\theta_m - t) dl + \kappa_x U_x (t - \theta_x) dl \pm \frac{Gl \sin \psi}{427} dl + \frac{\Sigma Q}{L} dl. \quad (4.10)$$

В уравнениях (4.9) и (4.10) и на рис. 4.1:  $t$  – температура воздуха на расстоянии  $l$  от начала выработки;  $t_n$  – естественная температура горных пород в начале выработки;  $g$  – ускорение свободного падения;  $\sum Q$  – суммарные тепловыделения от абсолютных источников тепла в выработке;  $c$  – массовая теплоемкость воздуха;  $r$  – скрытая теплота парообразования;  $x$  – влагосодержание воздуха;  $\sigma$  – геотермический градиент;  $\psi$  – угол наклона выработки.

#### 4.1.2. Аналитические зависимости для расчета температуры воздуха в воздухоподающих выработках различного назначения

Найдем решение дифференциального уравнения (4.10) при законе изменения относительной влажности воздуха по длине выработки (4.1). Уравнение влагосодержания воздуха (4.3) примет вид

$$x = (\varphi_1 + \xi l) B' (t - \varepsilon), \quad (4.11)$$

где 
$$B' = \frac{0,622 n}{P - p_n^{cp}}. \quad (4.12)$$

Так как влагосодержание воздуха в выработке является функцией двух переменных – температуры и длины выработки, то дифференциал изменения ( $dx$ ) с учетом уравнения (4.11) примет вид

$$dx = (\varphi_1 + \xi l) B' dt + \xi B' t dl - \xi B' \varepsilon dl. \quad (4.13)$$

Подставляя значение  $dx$  в уравнение (4.9) с учетом  $dQ$  согласно (4.10) и выполнив преобразования, получим линейное уравнение первого порядка

$$\frac{dt}{dl} + \frac{nt}{A_l + Dl} = \frac{M \pm Kl}{A_l + Dl}, \quad (4.14)$$

где 
$$\frac{\kappa_\tau U + \kappa_m U_m + \kappa_x U_x}{Gc} + \xi B = \Pi; \quad \frac{\kappa_\tau U}{Gc} \sigma \sin \psi \pm g \frac{\sin \psi}{c} = K;$$

$$\frac{\kappa_\tau U}{Gc} t_n + \frac{\kappa_m U_m}{Gc} \theta_m + \frac{\kappa_x U_x}{Gc} \theta_x + \xi B \varepsilon + \frac{\sum Q}{GcL} = M;$$

$$\frac{r}{c} B' = B; \quad 1 + B\varphi_1 = A_l; \quad \xi B = D.$$

Для решения уравнения (4.14) применена подстановка вида  $t = uv$  с нахождением постоянной интегрирования из граничного условия  $t = t_1$  при  $l = 0$ .

Конечная расчетная зависимость для определения температуры воздуха в конце выработки или ее участка имеет вид

$$t_2 = t_1 B + \frac{1}{A + \Delta} \frac{B}{B} \left[ E + \Delta \quad B \varepsilon + 3600 \frac{\Sigma Q}{Gc} \pm L \sin \psi (\sigma T + 9,76 \cdot 10^3) \right]. \quad (4.15)$$

Знак «+» в формуле (4.15) относится к случаю нисходящего движения вентиляционной струи по выработке, знак «-» – к восходящему проветриванию.

$$B = \left( \frac{1 + B\varphi_1}{1 + B\varphi_2} \right)^{\left( 1 + \frac{A}{\Delta\varphi B} \right)} \quad \text{при} \quad \Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1. \quad (4.16)$$

Рассматривая частный случай, когда относительная влажность воздуха по длине выработки не изменяется, имеем  $\varphi_2 = \varphi_1 = \varphi$  и  $\Delta\varphi = 0$ . При  $\Delta\varphi = 0$  выражение для фактора  $B$  превращается в неопределенность. Раскрывается эта неопределенность по правилу Лопиталья. Заменяя функции в числителе и знаменателе их производными по  $\Delta\varphi$ , получим выражение

$$\ln B = \left[ -\frac{A + \Delta\varphi B}{1 + B\varphi - \Delta\varphi B} + \ln \left( 1 - \frac{\Delta\varphi B}{1 + B\varphi} \right) \right].$$

Положив в этой формуле  $\Delta\varphi = 0$ , получим значение фактора  $B$  для случая постоянной относительной влажности в выработке

$$B = \exp \left( -\frac{A}{1 + B\varphi} \right), \quad \text{при} \quad \varphi_1 = \varphi_2 = \varphi; \quad (4.17)$$

$$B = \frac{1542n}{P - p_n^{cp}}; \quad (4.18)$$

$$A = \frac{3600L(\kappa_\tau U + \kappa_m U_m + \kappa_x U_x + \kappa_{тн} U_{тп})}{Gc}; \quad (4.19)$$



$$E = \frac{3600L(\kappa_{\tau}Ut_n + \kappa_m U_m t'_n + \kappa_x U_x \theta_{x.c.p.} + \kappa_m U_m \theta_{m.c.p.})}{Gc} \quad (4.20)$$

$$T = \frac{3600\kappa_{\tau}UL[(A + \Delta\varphi B) - (1 + B\varphi_1)(1 - B)]}{Gc(A + 2\Delta\varphi B)(1 - B)} \quad (4.21)$$

В формулах (4.15 – 4.21) значения коэффициентов аппроксимации  $n$ ,  $\varepsilon$  и  $p_n^{cp}$  для ожидаемого диапазона изменения температуры воздуха в выработке принимаются по табл. 4.1.

Полученную аналитическую зависимость (4.15) рекомендуется использовать для определения температуры воздуха в различных типах выработок, проветриваемых за счет общешахтной депрессии, независимо от времени их существования и назначения (стволы, групповые, участковые выработки и лавы). По этой зависимости с учетом формул (4.16), (4.18-4.21) рассчитывается температура воздуха в конце выработки или на любом ее участке с постоянным расходом воздуха по известной начальной температуре и заданных начальных и конечных значениях относительной влажности воздуха, принятыми для аналогичных условий ведения горных работ или по статистическим данным.

**Расчет температуры воздуха в лавах.** Температуру воздуха в лавах пологих, наклонных и крутопадающих пластов со щитовой выемкой угля рассчитывают по формуле (4.15), в которой комплексы  $A$ ,  $E$  и  $T$  принимают следующий вид

$$A = \frac{3600(\kappa_{\tau}UL + 1,2\kappa_{cl}\vartheta_l L_{\kappa})}{Gc} ; \quad (4.22)$$

$$E = \frac{3600\kappa_{\tau}UL}{Gc} t_n + \frac{3600\kappa_{cl}\vartheta_l L_{\kappa}}{Gc} (t_n - \Delta t') ; \quad (4.23)$$

$$T = \frac{3600\kappa_{\tau}UL[(A + \Delta\varphi B) - (1 + B\varphi_1)(1 - B)]}{Gc(A + 2\Delta\varphi B)(1 - B)} , \quad (4.24)$$

где  $\kappa_{\tau}$  – коэффициент нестационарного теплообмена между транспортируемым углем и воздухом в лаве;  $\vartheta_l$  – ширина конвейера;  $L_{\kappa}$  – длина конвейера в лаве.

Температуру воздуха в лавах на крутых пластах с комбайновой и молотковой выемкой угля рассчитывают по формуле (4.15), в которой комплексы  $A$ ,  $E$  и  $T$  имеют вид

$$A = \frac{3600(\kappa_{cl}UL_p + \kappa_{\tau}F)}{Gc} ; \quad (4.25)$$

$$E = \frac{3600\kappa_{\tau}UL_p}{Gc}t_{n.cp} + \frac{3600\kappa_{\tau}F}{Gc}(t_{n.cp} - \Delta t'); \quad (4.26)$$

$$T = \frac{3600\kappa_{\tau}UL_p[(A + \Delta\varphi B) - (1 + B\varphi_1)(1 - B)]}{Gc(A + 2\Delta\varphi B)(1 - B)}, \quad (4.27)$$

где  $L_p$  – расчетная длина лавы;  $t_{n.cp}$  – средняя естественная температура пород в лаве;  $\Delta t'$  – снижение температуры угля в зоне выемки за счет дегазации и увлажнения;  $F$  – поверхность теплообмена падающего угля,  $\kappa_{\tau}$  – коэффициент нестационарного теплообмена между углем и воздухом в лаве для пологих, наклонных и крутых пластов, рассчитывается по формулам приведенным в СОУ-Н 10.1.00174088.027:2011 (раздел 6.4.5).

## **4.2. Температура утечек воздуха из выработанного пространства выемочных участков при различных схемах их проветривания**

### **4.2.1. Теплообменные процессы в выработанном пространстве выемочных участков при различных способах управления горным давлением**

Исследования аэродинамики выработанных пространств показали, что оно может быть разделено на две зоны – зону фильтрации, в которой происходит движение вентиляционных утечек, и зону, в которой движение утечек под действием общешахтной депрессии отсутствует. Эти участки выработанного пространства различаются по характеру и интенсивности теплообменных процессов в них и по влиянию на климатические условия в выработках выемочных участков глубоких горизонтов.

В зоне движения утечек воздуха основную роль в их нагреве играет конвективный теплообмен с обрушенными породами выработанного пространства. Величина нагрева утечек воздуха зависит от разности температур обрушенных пород и газо-воздушной смеси, размеров кусков породы, скорости подвигания очистного забоя, теплофизических характеристик вмещающих угольные пласты горных пород, длины пути и скорости фильтрации утечек. Закономерность распределения воздуха в зоне утечек нелинейная и зависит от физико-механических свойств обрушаемых пород, способа охраны выработок на выемочном участке.

Под влиянием сил горного давления фильтрационные характеристики выработанного пространства изменяются со временем, что приводит к снижению скорости и расхода воздуха в утечках. В непроветриваемой зоне выработанного пространства газо-воздушная смесь перемещается за счет естественной конвекции и диффузии. Окислительные процессы не протекают из-за отсутствия кислорода. Тепло из выработанного пространства в вентиляционную выработку по длине непроветриваемой зоны подводится посредством теплопроводности через породные куски и газо-воздушные промежутки между ними.

На характер тепловых процессов в выработанном пространстве и распределение теплопритоков из последнего между лавой и вентиляционным штреком большое влияние оказывает схема проветривания выемочного участка. В основу классификации схем проветривания выемочных участков с учетом теплового фактора положены три определяющих признака: схема подготовки шахтного поля, система разработки, взаимное направление движения свежей и исходящей струй воздуха по главным и участковым выработкам.

Анализ известных работ по классификации схем проветривания с учетом требований безопасности и теплового фактора по идентичности условий формирования газового и теплового состояния воздуха в участковых вентиляционных выработках с учетом влияния утечек из выработанного пространства, дает основание принять за основу классификацию схем проветривания выемочных участков, которая затем вошла составной частью в нормативные документы по проектированию вентиляции угольных шахт. Схемы проветривания выемочных участков с учетом теплового фактора классифицированы в 4 группы (табл.4.2). В основу приведенной классификации положены: направление движения утечек воздуха в выработанном пространстве относительно линии очистного забоя, поступающей и исходящей струи воздуха, а также направления движения подсежающей струи воздуха относительно очистного забоя.

С точки зрения геометрии фильтрационного движения утечек воздуха через обрушенные породы выработанного пространства на основе анализа известных работ, приведенные в табл. 4.2 схемы проветривания можно свести в три группы:

- возвратноточная на выработанное пространство при прямом порядке отработки выемочного участка;
- возвратноточная на массив угля схема проветривания при обратном порядке отработки выемочного участка;
- прямоточные схемы проветривания.

Согласно исследованиям, выработанное пространство представляет собой пористую среду, состоящую из кусков различной формы и размера и газо-воздушной смеси, заполняющей все пустоты между кусками породы.

Классификация схем проветривания выемочных участков  
по тепловому фактору

Группа схем	Индекс схемы	Классификационные признаки	Условное изображение схемы проветривания	Соответствие схемам проветривания НПАОП 10.0-7.08-93
1	а	Возвратоточное проветривание с направлением исходящей струи воздуха в сторону выработанного пространства		1-В-Н-вт 1-В-3-вт
	б	Прямоточное проветривание с направлением исходящей струи воздуха в сторону выработанного пространства		1-В-Н-пт 1-В-3-пт
2	а	Возвратоточное проветривание с направлением исходящей струи воздуха в сторону целика угольного массива		1-М-Н-вт 1-М-3-вт
	б	Прямоточное проветривание с направлением исходящей струи воздуха в сторону целика угольного массива		1-М-Н-пт 1-М-3-пт
3	а	Возвратоточное проветривание с подсвежением исходящей вентиляционной струи со стороны целика угольного массива		2-В-Н-вт 2-В-3-вт 3-В-Н-вт 3-В-3-вт
	б	Прямоточное проветривание с подсвежением исходящей вентиляционной струи со стороны выработанного пространства		2-М-Н-пт 2-М-3-пт
4	а	Возвратоточное проветривание с подсвежением исходящей вентиляционной струи со стороны выработанного пространства		2-М-Н-вт 2-М-3-вт
	б	Прямоточное проветривание с подсвежением исходящей вентиляционной струи со стороны целика угольного массива		2-В-Н-пт 2-В-3-пт 3-В-Н-пт 3-В-3-пт

Условные изображения:  $\longrightarrow$  – свежая струя;  $\dashrightarrow$  – утечки воздуха;  
 $\curvearrowright$  – исходящая струя

Происходящие при этом теплообменные процессы очень сложны. При передаче тепла от обрушенных пород фильтрующемуся воздуху имеют место процессы нестационарного кондуктивного теплопереноса в обрушенных кусках породы и конвективного тепломассообмена на их поверхности.

Методы решения задач по определению температуры фильтрата через пористые тела изложены в работах Чудновского А.Ф., Лыкова А.В. Наиболее полная физическая модель процессов нестационарного теплообмена дана в работе Иванцова Г.П., и Любова Б.Я. при рассмотрении движения газов через пористую среду. Однако полученные при этом решения не могут быть распространены на условия выработанных пространств выемочных участков шахт по причине переменной скорости фильтрации вентиляционных утечек по ширине зоны фильтрации.

#### 4.2.2. Определение коэффициента нестационарного теплообмена при управлении кровлей полным обрушением

В результате моделирования процесса нестационарного теплообмена при фильтрации теплоносителя через слой неподвижной руды получено критериальное уравнение в пределах чисел Рейнольдса ( $Re$ ) от 250 до 1400 и Фурье ( $F_0$ ) от 0,7 до 10

$$Ku_{\tau} = 4,3 \cdot 10^{-4} Re^{0,8} \cdot F_0^{-0,44}, \quad (4.28)$$

где

$$Ku_{\tau} = \frac{\kappa_m \cdot d_{\phi}}{\lambda_n}; \quad (4.29)$$

$$Re = \frac{V_{\phi} \cdot d_{cp}}{\nu}; \quad F_0 = \frac{a_n \cdot \tau}{d_{\phi}^2}, \quad (4.30)$$

$Ku_{\tau}$  – критерий нестационарного теплообмена;  $\kappa_m$  – коэффициент нестационарного теплообмена дисперсного слоя с фильтратом, Вт/(м<sup>2</sup>К);  $d_{\phi}$  – эквивалентный диаметр канала в слое, м,  $d_{\phi} \approx 0,35 d_{cp}^{1,15}$ ;  $d_{cp}$  – средний размер кусков породы, м;  $a_n$  – коэффициент температуропроводности кусков породы, м<sup>2</sup>/с;  $\lambda_n$  – коэффициент теплопроводности кусков породы, Вт/(мК);  $\tau$  – время проветривания, с;  $V_{\phi}$  – скорость фильтрации воздуха через дисперсный слой, м/с;  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости воздуха, м<sup>2</sup>/с.

Для шахт Донбасса в возможном диапазоне изменения расчетных показателей  $a = 7,6 \cdot 10^{-7}$  м<sup>2</sup>/с;  $\tau = 6 - 800$  ч;  $d = 0,1-0,5$  м и  $V_{\phi} = 0,12-0,03$  м/с, критерии  $F_0$  и  $Re$  принимают значения в диапазонах соответственно 0,7-90 и 300-1200, т.е. эти условия удовлетворительно описываются зависимостью (4.28). При

подстановке в нее формул (4.29) и (4.30) выражение для коэффициента нестационарного теплообмена обрушенных пород выработанного пространства, проветриваемых в течение времени  $\tau$ , воздухом со скоростью  $V_\phi$ , примет вид:

$$\kappa_\tau = 2,1 \cdot 10^{-4} \frac{d_\phi^{0,8} \lambda V_\phi^{0,8}}{\nu^{0,8} a^{0,44} \tau^{0,44}}. \quad (4.31)$$

При разработке инженерного метода расчета, учитывая малый диапазон скоростей фильтрации утечек в выработанном пространстве, принято, что количество тепла, отдаваемого обрушенными породами при переменной во времени скорости фильтрации утечек воздуха, равно количеству тепла, отдаваемого обрушенными породами за тот же период времени при постоянной во времени скорости фильтрации. В дальнейшем эта скорость называется расчетной скоростью фильтрации. При этом значение  $V_\phi$  определяется как среднеинтегральное из фактических скоростей фильтрации.

Исходя из геометрии фильтрационного движения воздуха через обрушенные породы, схемы проветривания выемочных участков (табл. 4.2) можно свести в три группы: возвратноточная на выработанное пространство (1а, 3а), возвратноточная на массив угля (2а, 4а) и прямоточные схемы проветривания (1б, 2б, 3б, 4б).

С учетом закономерностей воздухораспределения в выработанном пространстве при управлении кровлей на выемочных участках полным обрушением получены зависимости для определения коэффициента нестационарного теплообмена обрушенных пород с фильтрующимся воздухом. Для элементарной струи воздуха, притекающего в вентиляционный штрек на расстоянии  $l$  от лавы, формулы для коэффициента  $\kappa_{\tau,l}$ , в зависимости от схемы проветривания участка, имеют следующий вид:

– возвратноточная на выработанное пространство схема проветривания

$$\kappa_{\tau,l} = 2,1 \cdot 10^{-4} \frac{G_{ym}^{0,8} [1 - \exp(-\delta l)]^{0,8} d^{0,78} \lambda}{\rho^{0,8} m^{0,8} l^{0,8} \left( \tau_{zp} + \frac{86400l}{V_l} \right)^{0,44} \nu^{0,8} a^{0,44}} \quad (4.32)$$

– прямоточные на выработанное пространство схемы проветривания

$$\kappa_{\tau,l} = 2,1 \cdot 10^{-4} \frac{G_{ym}^{0,8} d^{0,78} \lambda [\exp(-0,8\delta l)]^{0,8}}{\nu^{0,8} a^{0,44} \rho^{0,8} m^{0,8} l} \int_0^l \frac{[\exp(\delta \xi) - 1]^{0,8} \cdot d\xi}{\xi^{0,8} \left( \tau_{zp} + \frac{86400\xi}{V_l} \right)^{0,44}}; \quad (4.33)$$

– возвратноточная на массив угля схема проветривания

$$\kappa_{\tau,l} = 0,43 \cdot 10^{-8} \frac{G_{ym}^{0,8} V_l^{0,44} d^{0,78} \lambda [1 - \exp(-\delta l)]^{0,8}}{\nu^{0,8} a^{0,44} \rho^{0,8} m^{0,8} l^{1,8}} \left[ \left( \frac{86400l}{V_l} + \tau_{zp} \right)^{0,56} - \tau_{zp}^{0,56} \right], \quad (4.34)$$

где  $G_{ym}$  – величина утечек воздуха через выработанное пространство, кг/с;  $d$  – средний диаметр обрушенных кусков породы, м;  $\delta$  – коэффициент, учитывающий воздухораспределение по длине штрека, м<sup>-1</sup>; для условий Донбасса  $\delta = 0,04-0,05$  м<sup>-1</sup>;  $m$  – мощность пласта, м;  $V_l$  – скорость движения лавы, м/с;  $\tau_{zp}$  – время, учитывающее не одновременность выемки угля по длине лавы, с;  $\xi$  – переменная интегрирования.

При определении температуры утечек воздуха из выработанного пространства для упрощения расчета целесообразно использовать среднее интегральное по длине зоны утечек значение коэффициента нестационарного теплообмена:

$$\kappa_{\tau} = \frac{\int_0^{L_n} \kappa_{\tau,l} \cdot dl}{\int_0^{L_n} dl}, \quad (4.35)$$

где  $L_n$  – длина участка вентиляционной выработки, на котором наблюдаются приточки воздуха из выработанного пространства, м.

Подставляя зависимость (4.32) в формулу (4.35) после ее интегрирования с использованием численных методов анализа получено выражение для расчета среднеинтегрального коэффициента нестационарного теплообмена обрушенных пород с фильтрующимся воздухом для возвратноточной на выработанное пространство схемы проветривания

$$\kappa_{\tau,em} = 0,79 \cdot 10^{-6} \frac{G_{ym}^{0,8} \cdot V_l^{0,44} \cdot d^{0,78} \cdot \lambda \cdot \delta^{1,24}}{\nu^{0,8} \cdot \rho^{0,8} m^{0,8} \cdot a^{0,44}}; \quad (4.36)$$

Более сложно протекают процессы теплообмена при прямоточных схемах проветривания выемочных участков. В этих случаях скорость фильтрации воздуха через обрушенные породы ( $V_{\phi}$ ) и время проветривания обрушенных пород по длине пути фильтрации ( $\tau_{\phi}$ ) являются переменными. С учетом геометрии фильтрации утечек и закономерностей воздухораспределения в выработанном пространстве:

$$G_g = G_{yч} - G_{np} \exp(-\delta l); \quad (4.37)$$

где  $G_{yч}$  – расход воздуха на выемочном участке, кг/с;  $G_{np}$  – количество воздуха, поступающего из выработанного пространства на вентиляционный штрек, кг/с;  $l$  – удаление линий утечек воздуха в выработанном пространстве от очистного забоя, м.

Формула (4.33) для коэффициента нестационарного теплообмена при прямоточной схеме проветривания, в котором интеграл определен численно при  $\tau_{ep} = 0$ ,  $0 \leq \delta l \leq 5$  и средних значениях теплофизических характеристик пород и воздуха, примет вид:

$$k_{\tau.lnm} = \begin{cases} 0,03 \cdot 10^{-4} \frac{G_{ym}^{0,8} \cdot d^{0,78} \cdot \lambda \cdot V_l^{0,44} \exp(-0,8\delta l) \delta^{0,83}}{\nu^{0,8} \cdot a^{0,44} \cdot \rho^{0,8} \cdot m^{0,8} \cdot l^{0,41}}, & 0 \leq \delta l \leq 1 \\ 0,02 \cdot 10^{-4} \frac{G_{ym}^{0,8} \cdot d^{0,78} \cdot \lambda \cdot V_l^{0,44} \exp(-0,29l) \delta^{-0,24}}{\nu^{0,8} \cdot a^{0,44} \cdot \rho^{0,8} \cdot m^{0,2} \cdot l}, & 1 \leq \delta l \leq 5. \end{cases} \quad (4.38)$$

При возвратноточной на массив угля схеме проветривания выемочного участка, для упрощения расчетной зависимости коэффициента нестационарного теплообмена, использован метод теплового баланса для всего объема проветриваемой зоны выработанного пространства. Принято, что коэффициент  $k_{\tau.l}$  является постоянной величиной во всем объеме проветриваемой зоны выработанного пространства. На основании расчетного анализа для реальных шахтных условий при  $\tau_{ep} = 0$  и ряда преобразований формула (4.36) для всей зоны утечек может быть представлена в виде:

$$k_{\tau.вм} = 2,91 \cdot 10^{-6} \frac{G_{ym}^{0,8} \cdot V_l^{0,44} \cdot d^{0,78} \cdot \lambda \cdot \delta^{1,24}}{\nu^{0,8} \cdot \rho^{0,8} \cdot m^{0,8} \cdot a^{0,44}}. \quad (4.39)$$

### 4.2.3. Нестационарный теплообмен между породами выработанного пространства и утечками воздуха при плавном опускании кровли (удержании на кострах)

*Формулировка математической модели.* Расчетная схема теплообмена при указанных способах управления кровлей в лавах приведена на рис. 4.2. В модели приняты следующие конкретизирующие допущения относительно геометрии, скорости движения утечек воздуха и характера теплообмена в выработанном пространстве.



Выработанное пространство имеет форму треугольника и подвигается вслед за лавой со средней скоростью  $V_n = const$ ; области 1 и 2 теплофизически однородны и имеют постоянные различные эффективные значения параметров  $\lambda_i$  и  $a_i = const, i = 1, 2, \lambda_1 \neq \lambda_2, a_1 \neq a_2$ .

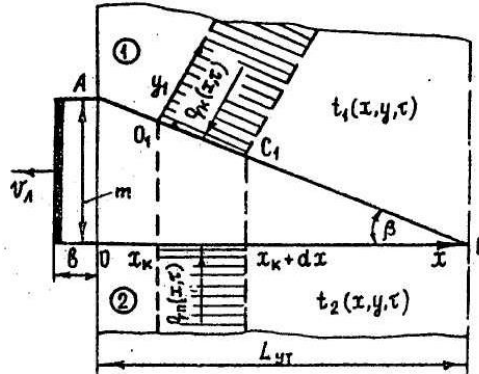


Рис. 4.2. Расчетная схема теплообмена между породами выработанного пространства и утечками воздуха при управления кровлей плавным опусканием (удержанием на кострах)

Температура горных пород ( $t_n$ ) в областях 1 и 2 определяется геотермией шахтного поля и глубиной работ  $H$ :

$$t_{1|_{\tau=0}} = t_{2|_{\tau=0}} = t_n(H),$$

где  $H = (H_1 + H_2)/2$ ;  $H_1, H_2$  – глубина от поверхности верхней и нижней отметки лавы, м.

Средняя скорость движения утечек воздуха изменяется линейно от  $V_{ym} = V_0$  при  $x = 0$  до  $V_{ym} = 0$  при  $x = L_{ym}$  ( $L_{ym} = L_{ов}$  – ширина зоны утечек);

$V_0$  – средняя скорость движения воздуха в призабойном пространстве лавы. Поскольку характерная для Донбасса мощность пласта  $m \approx 1$  м, а  $L_{ym} \approx 20$  м, имеем, что  $\sin\beta = m/AB = \operatorname{tg}\beta \approx 5 \times 10^{-2} \ll 1$ ,  $\cos\beta = 1$  и  $AO \approx OB = L_{ym}$ . Таким образом, площади поверхностей теплообмена почвы и кровли пласта в зоне утечек можно принять одинаковыми.

Температурные поля в кровле  $t_1(x, y, \tau)$  и в почве  $t_2(x, y_2, \tau)$  и их тепловые потоки  $q_k(x, \tau)$  и  $q_n(x, \tau)$  к воздуху в утечках описываются одинаковыми функциями, отличающимися лишь теплофизическими характеристиками пород кровли и почвы.

Для градиентов температуры вдоль лавы имеем

$$\frac{dt_i}{dx} \sim \frac{t_n(H) - t_e}{0,5m}; \quad \frac{dt_i}{dz} \sim \frac{t_n(H_1) - t_n(H_2)}{L_n},$$

где  $t_g$  – температура воздуха в лаве;  $H_1, H_2, H$  – соответственно минимальная, максимальная и средняя глубина работ на участке;  $L_n$  – длина лавы ( $L_n = 120 \div 250$  м).

Таким образом,  $\frac{dt_i}{dx} \ll \frac{dt_i}{dy}$ ,  $i = 1, 2$ , т. е. теплоперенос в почве и кровле принимаем одномерным.

В начальный момент времени  $\tau = 0$ , элемент сечения  $dx$  на рис. 4.2 совпадает с ОА и при движении лавы влево при  $\tau = L_{ym}/V_n = \tau_k$  занимает положение  $x = x_k$ . При  $\tau > \tau_k$  выделенный на рисунке элемент выходит из зоны контакта с воздухом.

Характер движения утечек воздуха через выработанное пространство турбулентный, кроме области, примыкающей к точке В. Для определения коэффициента теплообмена  $\alpha_{en} = \alpha_{en}(x)$  воспользуемся аналогией Рейнольдса, которая устанавливает линейную зависимость между этим коэффициентом, скоростью движения воздуха и коэффициентом аэродинамического сопротивления. Поскольку  $\alpha_{en} \sim V_{ym}(x)$ , то можно записать, что  $\alpha_{en}$  изменяется линейно от  $\alpha_{en}(0) = \alpha_0$  до  $\alpha_{en}(L_{ym}) = 0$ . Максимальное значение коэффициента теплообмена для ВП  $\alpha_{en}$  можно считать равным коэффициенту теплообмена в лаве  $\alpha_n$ , который определяется известными методами.

Таким образом, задача сводится к определению температурного поля в выделенном сечении (рис. 4.2) при коэффициенте теплообмена  $\alpha_{en}(\tau)$ , изменяющимся во времени.

Изложенное позволяет дать следующую математическую формулировку задачи теплообмена между породами выработанного пространства и утечками воздуха:

$$\frac{dt_i}{d\tau} = a_i \frac{d^2 t_i}{dy_i^2}, \quad \tau \in (0, \tau_L), \quad y_i \in (0, \infty), \quad i = 1, 2; \quad (4.40)$$

$$t_i = t_i(y_i, \tau), \quad t_i = t_i(y_i, 0) = t_n(H) = const, \quad y_i \in (0, \infty), \quad (4.41)$$

$$q_i = \lambda_i \left. \frac{dt_i}{dy_i} \right|_{y_i=0} = \alpha_{en}(\tau) [t_i(0, \tau) - t_{ym}], \quad \tau \in (0, \tau_L). \quad (4.42)$$

Так как коэффициенты нестационарного теплообмена между породами кровли и почвы определяются по формулам:

$$\kappa_\tau^{(1)} = q_1(\tau) [t_n(H) - t_{ym}]^{-1} \quad \text{и} \quad \kappa_\tau^{(2)} = q_2(\tau) [t_n(H) - t_{ym}]^{-1}, \quad (4.43)$$

то из (4.43) и (4.40-4.42) следует, что достаточно найти один из них, а второй определится значением соответствующих теплофизических характеристик почвы или кровли. Поэтому индекс « $i$ » в этих формулах можно опустить.

В соответствии с принятым допущением

$$V_{ym} = V_{ym}(x) = V_0 \left( 1 - \frac{x}{L_{ym}} \right), \quad (4.44)$$

а  $\alpha_{en} \sim V_{ym}(x)$ , т. е.  $\alpha_{en}(x) = C V_{ym}(x)$ ,

где  $C$  – размерная постоянная и можно записать:

$$\alpha_{en}(x) = \alpha_0 \left( 1 - \frac{x}{L_{ym}} \right) = \alpha_0 \left( 1 - \frac{V_{л} \tau}{L_{ym}} \right) = \alpha_{en}(\tau). \quad (4.45)$$

Выражение (4.45) конкретизирует граничное условие третьего рода (4.42), конкретизируя математическую модель теплообмена в выработанном пространстве выемочного участка при управлении кровлей плавным опусканием и удержанием на кострах.

*Определение коэффициента нестационарного теплообмена.* Определение коэффициента  $\kappa_{\tau}$  между вмещающими породами и утечками воздуха является сложной задачей методики тепловых расчетов. Определение температуры утечек воздуха  $t(y, \tau)$ , из краевой задачи (4.40 – 4.42) с учетом (4.45) весьма затруднено, так как условие (4.42) относит краевую задачу теплообмена к классу задач с переменным коэффициентом теплообмена, аналитические решения которых получены для небольшого числа частных случаев.

Для решения применен новый метод решения задач теплообмена с переменным коэффициентом  $\alpha$ . Он представляет собой аналог метода Дюамеля, примененного к  $\alpha(\tau)$ . Согласно этому методу, получено решение (4.40) – (4.42) при  $\alpha(\tau) = \alpha = const$ .

В этом случае решение этой задачи известно:

$$\Theta(y, \tau) = \frac{t_n - t(y, \tau)}{t_n - t_{ym}} = \operatorname{erfc} \left( \frac{y}{2\sqrt{\alpha\tau}} \right) - \exp \left( \frac{\alpha}{\lambda} y + \frac{\alpha^2}{\varepsilon^2} \tau \right) \cdot \operatorname{erfc} \left( \frac{y}{2\sqrt{\alpha\tau}} + \frac{\alpha}{\varepsilon} \sqrt{\tau} \right), \quad (4.46)$$

где  $\Theta(y, \tau)$  – безразмерная температура в области  $y > 0$ ;  $\varepsilon = \sqrt{\lambda(\rho c)}$  – термическая активность.

По формуле (4.43) находим, обозначая коэффициент нестационарного теплообмена при  $\alpha = const$ ,  $\kappa_{\tau,\alpha}$ :

$$\kappa_{\tau,\alpha} = \alpha(1 - \Theta_{cm}(\tau)), \quad (4.47)$$

$$\Theta_{cm}(\tau) = \Theta(y, \tau)_{y=0} = 1 - \exp\left(\frac{\alpha}{\varepsilon}\right)^2 \tau \cdot \operatorname{erfc}\left(\frac{\alpha}{\varepsilon} \sqrt{\tau}\right).$$

Введем функцию

$$W(z) = \exp z^2 \operatorname{erfc} z, \quad z = \frac{\alpha}{\varepsilon} \sqrt{\tau}. \quad (4.48)$$

Тогда (4.47) примет вид:

$$\kappa_{\tau,\alpha} = \alpha W(z). \quad (4.49)$$

Если перейти к переменному коэффициенту  $\alpha = \alpha(\tau)$ :

$$\alpha \rightarrow \alpha(\tau), \quad \kappa_{\tau,\alpha} \rightarrow \kappa_{\tau}(\tau) = \alpha(\tau) \tilde{W}[z(\tau)], \quad (4.50)$$

где  $\tilde{W}[z(\tau)]$  – вид функции  $W\left(\frac{\alpha}{\varepsilon} \sqrt{\tau}\right)$  при переменном коэффициенте теплообмена.

Поскольку коэффициент нестационарного теплообмена используется далее при расчете температуры утечек воздуха на выходе из выработанного пространства лавы, необходимо найти его среднее по выработанному пространству значение. Функция  $\tilde{W}[z(\tau)]$  может быть найдена методом пересчета и имеет следующий вид:

$$\tilde{W}_{\tau}[z(\tau)] = \exp[z^2(\tau)] \operatorname{erfc}[z(\tau)], \quad (4.51)$$

$$z(\tau) = \frac{1}{\varepsilon} \left[ \int_0^{\tau} \alpha^2(\tau') d\tau' \right]^{0,5}. \quad (4.52)$$

Таким образом, формула (4.50) принимает вид:

$$\kappa_{\tau}(\tau) = \alpha(\tau) \exp[z^2(\tau)] \operatorname{erfc}[z(\tau)]. \quad (4.53)$$

Среднее по выработанному пространству значение коэффициента нестационарного теплообмена  $\kappa_{\tau.cр}$  определяется, с учетом связи  $x = V_l \cdot \tau$ , по формуле

$$\kappa_{\tau.cр} = \frac{1}{L_{ym}} \int_0^{L_{ym}} \kappa_{\tau} \left( \frac{x}{V_l} \right) dx = \frac{1}{\tau_l} \int_0^{\tau_l} \kappa_{\tau}(\tau) d\tau. \quad (4.54)$$

Подставив в формулу (4.54) выражения (4.50-4.53), получим

$$\kappa_{\tau.cр} = \alpha_0 \int_0^1 (1 - \xi) \tilde{W}_{\tau} [z(\xi)] d\xi, \quad \xi = \frac{x}{L_{ym}}, \quad (4.55)$$

где 
$$z(\xi) = \frac{1}{\varepsilon} \left[ \int_0^{\xi/V_l} \alpha^2(\tau) d\tau \right]^{0,5} = \frac{\alpha_0}{\varepsilon} \left( \frac{L_{ym}}{3V_l} \right)^{0,5} \left[ 1 - (1 - \xi)^3 \right]^{0,5}. \quad (4.56)$$

Выражение (4.56) можно представить в виде

$$z(\xi) = Z_0 \varphi(\xi), \quad (4.57)$$

где 
$$z_0 = \frac{\alpha_0}{\varepsilon} \left( \frac{L_{ym}}{3V_l} \right)^{0,5} = 0,577 \sqrt{F_{OL}}, \quad F_{OL} = \frac{\alpha_0^2}{\varepsilon} \tau_l, \quad \tau_l = \left( \frac{L_{ym}}{V_l} \right),$$

а формулу (4.47) в виде

$$\kappa_{\tau.cр} = \alpha_0 A(Z_0), \quad (4.58)$$

где 
$$A(Z_0) = \int_0^1 (1 - \xi) \tilde{W}_{\tau} [Z_0 \varphi(\xi)] d\xi.$$

Интеграл в формуле (4.58) вычисляется численно, величина его зависит от параметра  $Z_0$ , имеющего смысл характерного безразмерного времени охлаждения вмещающих пласт пород. Его величина зависит от теплофизических характеристик пород ( $\varepsilon = \sqrt{\lambda \rho c}$ ), ширины зоны утечек  $L_{ym}$ , скорости подвигания лавы  $V_l$ , скорости движения воздуха в лаве (что определяет  $\alpha_0$ ), т. е. всех основных параметров выемочного участка. Анализ показывает, что при любых возможных значениях этих параметров значение  $Z_0 \in [0, 1; 40]$ . В крайний случаях, которые имеют лишь теоретический интерес, из (4.58) имеем

$$A(Z_0) \rightarrow 0,5 \text{ при } Z_0 \rightarrow 0; \quad A(Z_0) \rightarrow 0 \text{ при } Z_0 \rightarrow \infty.$$

Интеграл  $A(Z_0)$  вычислен на ПЭВМ для значений  $Z_0$  в диапазоне  $[0,1; 40]$ . Полученные значения приведены в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Значения функции  $A(Z_0)$  в зависимости от параметра  $Z_0$

$Z_0$	0,1	0,25	0,50	0,75	1,0	2,0	3,0	4,0
$A(Z_0)$	0,399	0,347	0,280	0,233	0,198	0,121	0,086	0,066
$Z_0$	5,0	7,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	40,0
$A(Z_0)$	0,054	0,039	0,028	0,019	0,015	0,012	0,010	0,008

По данным таблицы построена номограмма и получена приближенная (максимальная относительная погрешность не более 11%) формула:

$$A(Z_0) = \begin{cases} 0,40 - 0,27(Z_0 - 0,1) & Z_0 \in [0,1; 0,75] \\ 0,23 - 0,09(Z_0 - 0,75) & Z_0 \in [0,75; 2,0] \\ 0,141 - [0,0154 - (0,01Z_0 - 0,141)^2]^{0,5} & Z_0 \in [2,0; 15,0] \\ 0,019 - 0,00044(Z_0 - 15) & Z_0 \in [15,0; 50,0] \end{cases} \quad (4.59)$$

Если породы почвы и кровли пласта имеют разные теплофизические характеристики, коэффициенты нестационарного теплообмена в этом случае определяются по формуле

$$\kappa_{\tau, \text{ср}} = 0,5\alpha_0 [A(Z_k) + A(Z_n)], \quad (4.60)$$

где  $\alpha_0$  – коэффициент теплоотдачи в лаве, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Значения функций  $A(Z_k)$  и  $A(Z_n)$  рассчитываются по формуле (4.59), в которой  $Z_0 = Z_k$  и  $Z_0 = Z_n$ .

### 4.3. Аналитические зависимости для расчета температуры утечек воздуха из выработанного пространства при различных схемах проветривания выемочных участков

#### 4.3.1. Математическая формулировка задачи

Утечки воздуха через выработанное пространство выемочных участков в зависимости от схемы проветривания составляют 15-85 % от расхода воздуха на участке [НПАОП 10.0-7.08-93]. Основную роль в нагреве утечек воздуха играет нестационарный тепломассообмен с обрушенным горным массивом, тем-

пература которого близка к естественной температуре пород на глубине ведения горных работ.

Массообмен с водой, поступающей из вентиляционной выработки и лавы, повышают влагосодержание утечек. При разработке отдельных пластов и при вмещающих породах, склонных к низкотемпературному окислению, тепловыделения от окислительных процессов могут повышать температуру утечек воздуха.

Количество тепла, отдаваемого обрушенным массивом, зависит от объема выработанного пространства, через который движутся утечки воздуха. Оно сложено из шаровых частиц диаметром, равным среднему диаметру кусков обрушенной породы  $d_{cp}$ , м, принятого по данным анализа процентного содержания отдельных ее фракций.

Теплофизические и аэродинамические характеристики фильтрата принимаются постоянными, как и скорость фильтрации и пористость выработанного пространства по длине фильтрации. Поверхность теплообмена фильтрата с обрушенными породами значительно превосходит поверхность вмещающего горного массива, вследствие чего потоком тепла от нее пренебрегаем.

Температуру воздуха по высоте зоны обрушения, учитывая перемешивание потока, принимаем также одинаковой.

Принимаем, что объем вынутаго пласта при обрушении кровли становится равным объему образующихся пор, величина поверхности теплообмена обрушенных пород с утечками  $F$ , м<sup>2</sup>, составит

$$F_{en} = \Omega Z \xi \cdot L_{np} \cdot L_{\phi}, \quad (4.61)$$

где  $\Omega$  – поверхность теплообмена в единице объема выработанного пространства, м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>;  $Z$  – мощность слоя обрушенных пород, м; ( $Z = m/p$ , см. рис. 4.3);  $m$  – вынимаемая мощность пласта, м;  $\xi$  – коэффициент, учитывающий распространение фильтрата по высоте зоны обрушения, принимаем  $\xi = 1$ ;  $L_{np}$  – длина участка вентиляционной выработки, на котором наблюдаются притечки воздуха, м;  $L_{\phi}$  – длина пути фильтрации вентиляционных утечек через обрушенные породы, м.

$$\Omega = 1,55 d_{cp}^{-0,64}, \quad (4.62)$$

где  $d_{cp}$  – средний диаметр кусков обрушенной породы, м.

Суммарные тепловыделения  $dQ$  в элементе объема выработанного пространства расходуются на повышение энтальпии утечек воздуха путем их нагрева на величину  $dt$  и увлажнения на  $dx$ . Уравнение теплового баланса в дифференциальной форме будет иметь вид

$$G_{ym} c dt + G_{ym} r dx = \kappa_{\tau} \Omega Z L_{ym} \xi(t_{en} - t) dy + Q_a / L_{\phi} dy, \quad (4.63)$$

где  $\kappa_{\tau}$  – коэффициент нестационарного теплообмена обрушенных пород с утечками воздуха;  $Q_a$  – суммарные тепловыделения от абсолютных источников в выработанном пространстве.

Решение уравнения (4.63) может быть получено при задании закона изменения относительной влажности или влагосодержания утечек воздуха, которые зависят от влажностного состояния вмещающих пород, технологии выемки пласта, температуры и его относительной влажности на воздухоподающем штреке, температуры вмещающих пород. В общем случае эти параметры на длине фильтрации утечек воздуха изменяются по сложному закону. Однако в связи с небольшой длиной зоны фильтрации (100 – 320 м) можно принять в качестве закона их изменения линейную зависимость.

#### 4.3.2. Температура утечек воздуха при возвратноточной на выработанное пространство схеме проветривания участка

Для условий сплошной системы разработки при данной схеме проветривания выемочного участка принимаем, что утечки воздуха в выработанном пространстве движутся параллельно очистному забою (рис. 4.3).

Рассмотрим объем выработанного пространства размерами  $Z \cdot L_{np} \cdot dy$ , м<sup>3</sup>, находящийся на расстоянии  $y$ , м, от воздухоподающего штрека. Тепловой баланс для элемента выработанного пространства в этом случае описывается уравнением (4.63).

Изменение относительной влажности воздуха по длине зоны фильтрации утечек описывается линейным законом, аналогичным уравнению (4.1)

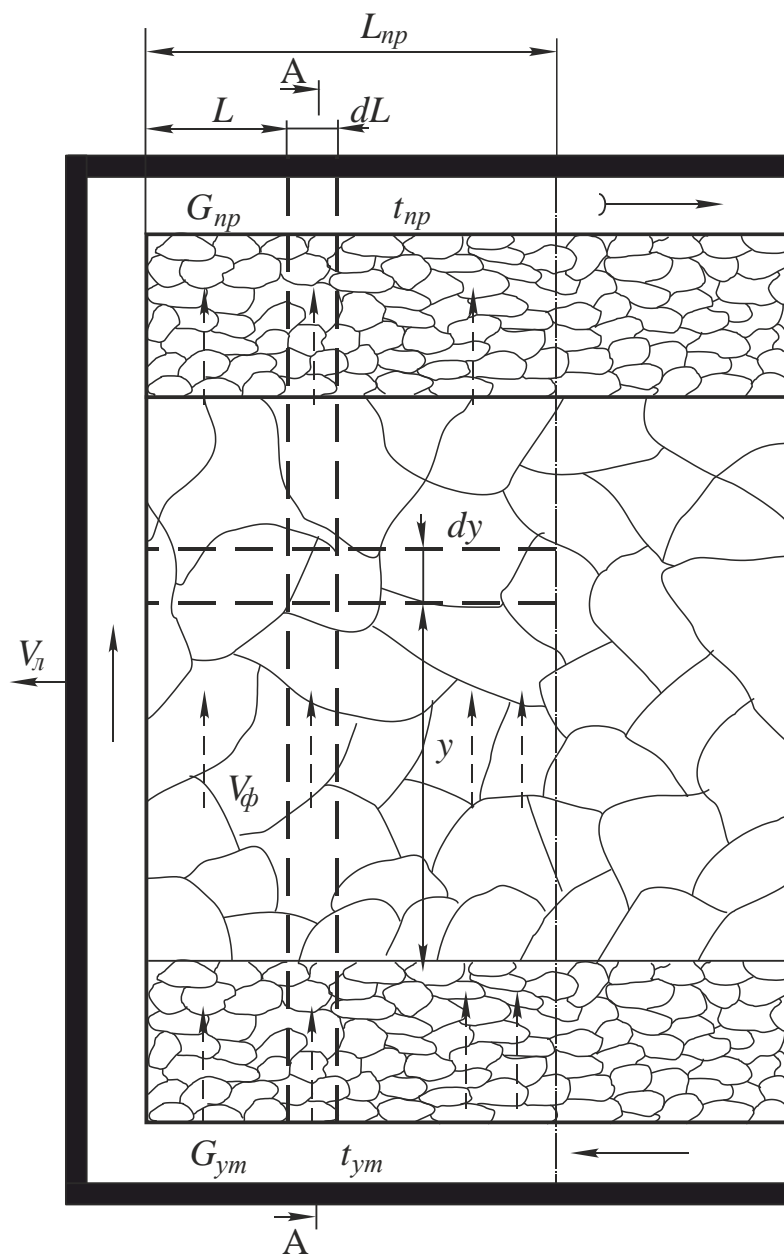
$$\varphi_{np} = \varphi_{ym} + \frac{\Delta\varphi_y}{L_{\phi}}, \quad (4.64)$$

а аппроксимированная зависимость влагосодержания  $x$  от  $\varphi$ , его  $t$  и  $P$  в виде формулы (4.11)

$$x = \left( \varphi_{ym} + \frac{\Delta\varphi}{L_{\phi}} \right) B' (t - \varepsilon), \quad (4.65)$$

где  $B'$  – определяется по формуле (4.12).





A-A

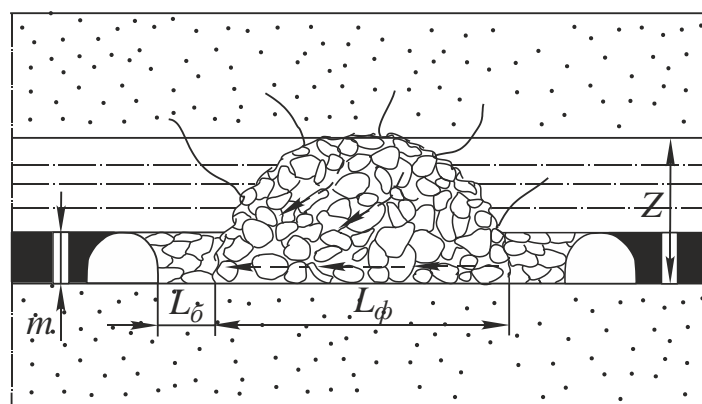


Рис. 4.3. Расчетная схема к определению температуры притоков воздуха при возвратной на выработанное пространство схеме проветривания

Продифференцировав зависимость (4.65) по температуре и длине зоны фильтрации утечек воздуха, получим выражение для  $dx$

$$dx = \left( \varphi_{ym} + \frac{\Delta\varphi}{L_\phi} y \right) B' dt + \frac{\Delta\varphi}{L_\phi} B' t dy - \frac{\Delta\varphi}{L_\phi} B \varepsilon dy.$$

Подставляем полученное значение  $dx$  в уравнение (4.63) и, выполнив ряд преобразований, получим

$$\frac{dt}{dy} + \frac{G_{ym} r dx B' + \frac{\Delta\varphi}{L_\phi} + \kappa_{\tau, \varepsilon n} l \Omega Z \xi L_{np}}{G_{ym} [c + r B' (\varphi_{ym} + \frac{\Delta\varphi}{L_\phi} y)]} t = \frac{G_{ym} r \cdot \frac{\Delta\varphi}{L_\phi} B' \varepsilon + \kappa_{\tau, \varepsilon n} \Omega Z \xi L_{np} t_{\varepsilon n} + \frac{Q_a}{L_\phi}}{G_{ym} [c + r B' (\varphi_{ym} + \frac{\Delta\varphi}{L_\phi} y)]}. \quad (4.66)$$

Решая уравнение (4.66) относительно температуры воздуха, притекающего из выработанного пространства на вентиляционный штрек при  $t = t_{np}$  при  $y = L_\phi$  и начальном условии  $t = t_{ym}$  при  $y = 0$ , получим зависимость для расчета температуры утечек  $t_{np}$  при принятом законе изменения относительной влажности по его длине

$$t_{np} = t_{ym} B + \frac{1-B}{\Gamma + B \Delta\varphi} \left( \Gamma \cdot t_{\varepsilon n} + B \Delta\varphi \varepsilon + \frac{Q_a}{G_{ym} \cdot c} \right), \quad (4.67)$$

где 
$$B = \left( \frac{1 + B \varphi_{ym}}{1 + B \varphi_{np}} \right)^{\left( 1 + \frac{\Gamma}{\Delta\varphi B} \right)} \quad \text{при} \quad \Delta\varphi = \varphi_{np} - \varphi_{ym}; \quad (4.68)$$

$$B = \exp\left( \frac{-\Gamma}{\Delta\varphi B} \right) \quad \text{при} \quad \varphi_{ym} = \varphi_{np} = \varphi, \quad (4.69)$$

$$\Gamma = \frac{\kappa_{\tau, \varepsilon n} \Omega \xi L_{np} L_\phi \cdot m}{G_{ym} \cdot c}. \quad (4.70)$$

Значение  $B$  определяется по формуле (4.20), а коэффициентов аппроксимации  $n$ ,  $\varepsilon$  и  $r_n^{cp}$  для ожидаемого диапазона изменения температуры утечек воздуха в выработанном пространстве по табл. 4.1.

Изменение влагосодержания воздуха по длине выработки по физической сущности процесса его увлажнения происходит более равномерно, чем измене-

ние температуры. Задаваться данными измерений относительной влажности утечек воздуха из выработанного пространства сложно, так как они могут быть получены только при специальных исследованиях. Исходя из этого факта при прогнозе температуры утечек воздуха из выработанного пространства при разработке расчетных зависимостей можно задаваться законом изменения их влагосодержания и использовать при этом материалы замеров относительной влажности воздуха в выработках участка, которые выполняются в соответствии с требованиями правил безопасности на глубоких горизонтах действующих шахт.

Найдем решение дифференциального уравнения (4.63) при линейном законе изменения влагосодержания утечек воздуха по длине зоны фильтрации  $L_{\phi}$ .

Изменение влагосодержания утечек воздуха в зоне фильтрации при этом описывается линейной зависимостью

$$x_{np} = x_{ym} + \frac{\Delta x}{L_{\phi}} y, \quad (4.71)$$

а аппроксимированная зависимость влагосодержания от относительной влажности, температуры и барометрического давления в этом случае имеет вид:

$$x = \frac{0,622 \varphi n(t - \varepsilon)}{P - p_n^{cp}}. \quad (4.72)$$

Тогда решение уравнения (4.63) для температуры утечек воздуха  $t_{np}$ , поступающих из выработанного пространства в общую вентиляционную струю на выходе из лавы или в штрек с исходящей струей, будет иметь вид

$$t_{np} = (\Gamma + VA_{np})^{-1} (\Gamma I + VA_{ym}) t_{ym} + V \left( \Gamma t_{en} + E + \frac{Q_a}{G_{ym} c} \right), \quad (4.73)$$

где

$$\Gamma = \frac{\kappa_{\tau.en} \Omega Z \xi L_{np} L_{\phi}}{G_{ym} \cdot c}; \quad (4.74)$$

$$I = \exp(-\Gamma); \quad (4.75)$$

$$V = 1 - I; \quad (4.76)$$

$$A_{np(ym)} = \frac{1542 n_{np(ym)} n_{p(ym)}}{P_{np(ym)} - P_{n,np(ym)}^{cp}}; \quad (4.77)$$

$$E = A_{np} \varepsilon_{np} - A_{ym} \varepsilon_{ym}, \quad (4.78)$$

$t_{ym}$  – средняя температура утечек воздуха в выработанное пространство на воздухоподающем штреке;  $\varphi_{ym}$  – относительная влажность воздуха на воздухоподающем штреке под лавой.

Значения коэффициентов аппроксимации  $n$ ,  $\varepsilon$  и  $p_n^{cp}$  для ожидаемого диапазона изменения температуры воздуха в выработанном пространстве принимаются по табл. 4.1 (см. пункт 4.1).

Сравнивая полученные решения, можно отметить, что формула (4.67) более проста, чем формула (4.73), а результаты сравнительных расчетов находятся в пределах допустимой погрешности (не более 1,0 °С).

### **4.3.3. Температура утечек воздуха из выработанного пространства при прямоточных схемах проветривания участка**

Обобщая результаты шахтных исследований и результаты моделирования аэродинамики выработанных пространств при прямоточных схемах проветривания выемочных участков, можно принять следующую модель движения воздуха через обрушенные породы: при прямоточных на массив схемах проветривания (2б, 3б) утечки воздуха из воздухоподающей выработки, фильтруясь через обрушенные породы, сосредоточенно притекают в лаву в ее конце; при прямоточных на выработанное пространство схемах проветривания (1б, 4б) утечки воздуха от начала (входа) лавы через обрушенные породы рассредоточенно поступают в вентиляционную выработку. При разработке математической модели нестационарного теплообмена в выработанном пространстве для этих схем проветривания принимаем следующие допущения: линии тока утечек воздуха через обрушенные породы параллельны между собой; скорость фильтрации воздуха по граничной линии тока, разделяющей проветриваемую и непроветриваемую зоны выработанного пространства, равна нулю; закономерность расхода воздуха по длине вентиляционной выработки при поступлении исходящей струи на выработанное пространство и по длине воздухоподающей выработки при выдаче исходящей струи на массив угля описывается нелинейной зависимостью (4.37). Принимаем также, что тепловыделения от обрушенных пород расходятся на нагрев воздуха и его увлажнение.

Уравнение теплового баланса для элементарного объема выработанного пространства размерами  $Z \cdot ds \cdot dl$ , расположенном на расстоянии  $l$  от лавы по вентиляционному штреку и  $s$  по линии тока длиной  $S$  (рис. 4.4):

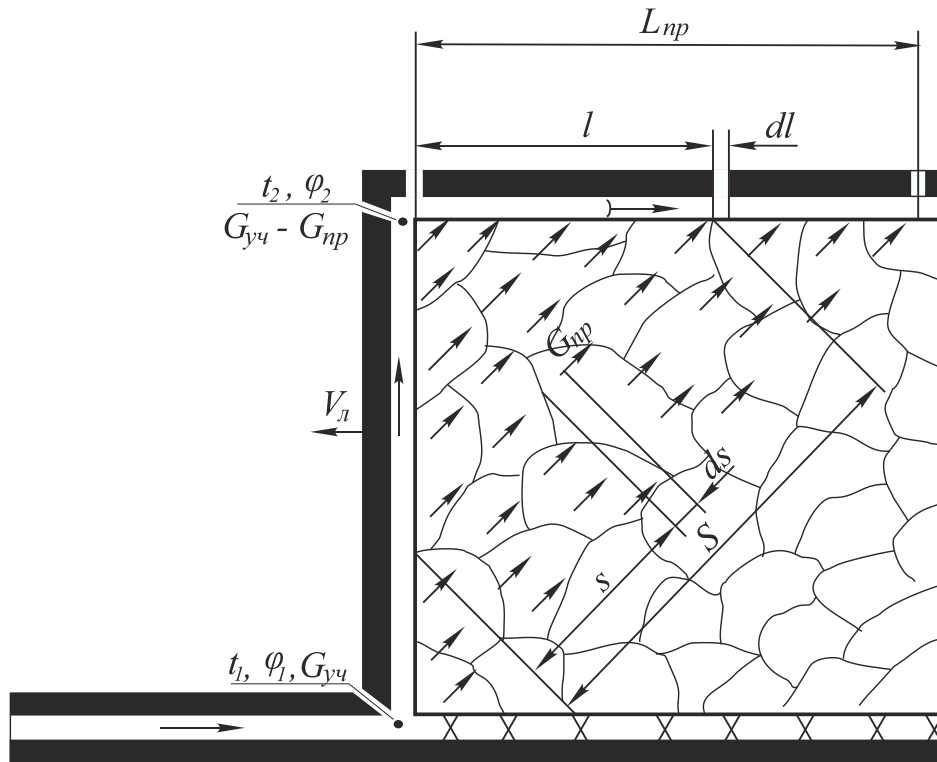


Рис. 4.4. Расчетная схема движения утечек воздуха в выработанном пространстве при прямоточных схемах проветривания выемочных участков

$$G_l c dt + Gl r dx = \kappa_\tau \Omega Z ds dl (t_{en} - t), \quad (4.79)$$

где  $G_l$  – количество воздуха, фильтрующегося через рассматриваемый объем выработанного пространства;  $\kappa_\tau$  – коэффициент нестационарного теплообмена обрушенных пород с утечками воздуха на участке  $dl$ , расположенном на расстоянии  $l$  от лавы.

Уравнение (4.79) решено при принятом допущении о линейной зависимости между влагосодержанием и длиной пути фильтрации  $s$ , при линейной аппроксимации зависимости влагосодержания от температуры, относительной влажности и барометрического давления в возможном диапазоне изменения температуры утечек воздуха (табл. 4.1). Формула для определения температуры притоков воздуха при  $t_{np} = t_{cp.l}$  при  $s = 0$  и  $t_{ym} = t_{cp.l}$  при  $s = S$  имеет вид:

$$t_{np.l} = (\Gamma_l + V_l A_{np})^{-1} \left[ (\Gamma_l I_l + V_l A_{ym}) t_{ym} + V (\Gamma_l \cdot t_{en} + E_l) \right], \quad (4.80)$$

где 
$$\Gamma_l = \frac{\kappa_{dl} \Omega Z S}{\delta G_{ym} c e^{-\delta l}}, \quad I = e^{-\Gamma l}, \quad V l = 1 - I_l, \quad A_{np} = \frac{1542 n_{np} \varphi_{np}}{P_{np} - P_{н.нр}^{cp}},$$

$$A_{ym} = \frac{1542n_{ym} \varphi_{ym}}{P_{ym} - P_{н.ум}^{cp}}, \quad E_l = A_{np} \varepsilon_{np} - A_{ym} \varepsilon_{ym}.$$

Исходя из геометрии фильтрационного течения утечек воздуха,

$$S = \frac{l}{L_{np}} \sqrt{L_l^2 + L_{np}^2}.$$

При прямоточных схемах проветривания выемочных участков (1б, 2б, 3б, 4б) процессы теплообмена в выработанном пространстве протекают более сложно. В этих случаях скорость фильтрации воздуха через обрушенные породы ( $v_\phi$ ) и время их проветривания ( $\tau$ ) являются переменными. Общая расчетная формула для коэффициента  $\kappa_{те}$  имеет вид уравнения (4.33), в котором интеграл вычислялся численно при  $\tau_{ep} = 0$ , а интегральная функция с точностью до 5% аппроксимирована степенными зависимостями, и конечные формулы для определения коэффициентов нестационарного теплообмена в факторе теплообмена  $\Gamma$  вычисляются по формулам (4.38).

#### **4.3.4. Температура утечек воздуха из выработанного пространства при возвратноточной на массив угля схеме проветривания участка**

Исследования закономерностей движения утечек воздуха в выработанном пространстве выемочных участков при столбовой системе разработки (схемы 2а, 4а) показали, что основная часть утечек переходит в выработанное пространство в непосредственной близости от сопряжения лавы с воздухоподающей выработкой. Изменение направления фильтрации утечек воздуха происходит в среднем по длине лавы в сечении выработанного пространства на расстоянии  $0,5L_l$  и основное их количество притекает в тупик погашаемой вентиляционной выработки. Пренебрегая перетеканием воздуха по длине лавы из рабочего пространства лавы в выработанное и обратно, принимаем, что в любом сечении проветриваемой зоны выработанного пространства, перпендикулярном очистному забою, движется одно и то же количество воздуха  $G_{ym}$ . Исходя из изложенного, утечки и притоки воздуха в начальном и конечном пунктах лавы принимаем сосредоточенными (рис. 4.5).

Закономерность изменения расхода воздуха  $G_{ym}$  по ширине проветриваемой зоны выработанного пространства по аналогии с воздухом распределением в выработках при схемах проветривания с направлением исходящей струи на вы-

работанное пространство (схемы 1а, 3а) описывается зависимостью (4.37).

Задача определения температуры притоков воздуха в тупик вентиляционного штрека, исходя из симметрии движения утечек, разбивается на две части. Зная температуру и относительную влажность воздуха на воздухоподающем штреке, определяем температуру утечек воздуха в среднем по длине лавы в сечении выработанного пространства. Затем уже определяем температуру притоков воздуха в кутке вентиляционной выработки, задаваясь значением относительной влажности в этой выработке.

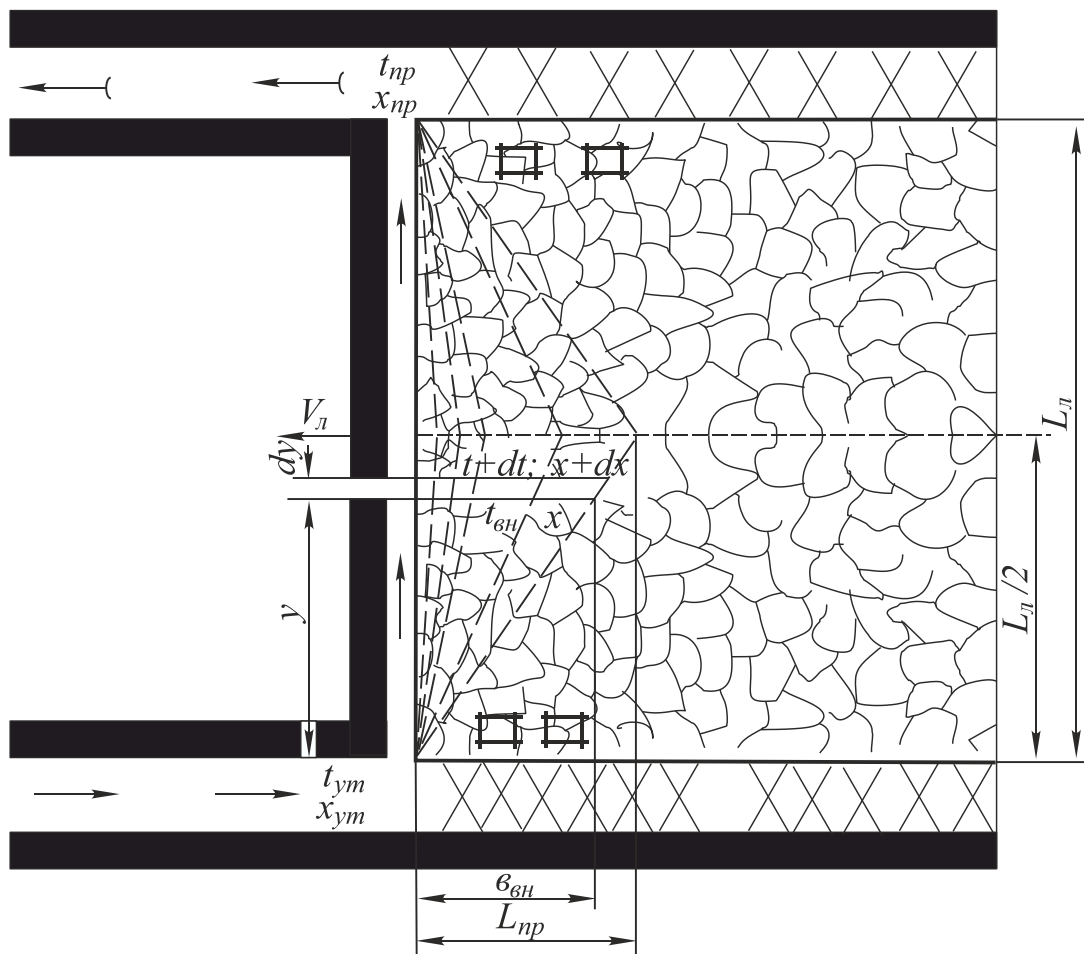


Рис. 4.5. Расчетная схема движения утечек воздуха в выработанном пространстве при возвратной на целик схеме проветривания выемочного участка

Для нижней половины проветриваемой зоны выработанного пространства при  $y \in [0, 0,5L_l]$  уравнение теплового баланса для элементарного объема выработанного пространства расположенного на расстоянии  $y$  от начала лавы, запишется в виде (рис. 4.4):

$$G_{ym} c dt + G_{ym} r dx = \kappa_{\tau.вн} \Omega Z \xi \epsilon_n (t_{вн} - t) dy + \frac{2Q_a}{L_{np} L_l} \epsilon_n dy, \quad (4.81)$$

где  $t_{\text{вн}}$  – температура обрушенных горных пород в лаве;  $e_n$  – ширина зоны фильтрации утечек воздуха.

При решении уравнения (4.81) принято предположение о линейной зависимости между приращением влагосодержания и площадью фильтрации утечек воздуха.

Выразим значения  $e_n$  и  $dx$  через известные величины. Для утечек в нижней половине выработанного пространства

$$e_n = \frac{2L_{np}}{L_l} y \quad \text{при } 0 < y < \frac{L_l}{2}; \quad (4.82)$$

$$x_{np} = x_{ym} + \frac{2\Delta x}{L_{np} \cdot L_l} y \frac{L_{np}}{L_l}; \quad \text{или} \quad x_{np} = x_{ym} + 0,5 \frac{\Delta x}{\frac{L_l}{2}} y. \quad (4.83)$$

Изменение влагосодержания при изменении длины зоны фильтрации  $y$  найдем в виде дифференциала  $x$  по  $y$

$$dx = \frac{2\Delta x^2}{L_l} y dy. \quad (4.84)$$

Подставив  $e_n$  и  $dx$  в уравнение (4.81), и решая его при граничном условии  $t=t_{ym}$  при  $y=0$ , получим аналитическую зависимость для определения температуры утечек воздуха  $t'_{ym}$  в среднем сечении проветриваемой зоны выработанного пространства  $(0,5L)$ :

$$t'_{ym} = \frac{1}{K} [ Kt_{\text{вн}} + D - N + \exp( KL_l U^2 ) \cdot ( Kt_{ym} - Kt_{\text{вн}} - D + N ) ], \quad (4.85)$$

$$K = \frac{\kappa_{\tau_{\text{вн}}} \Omega Z \xi L_{np}}{G_{ym} c}; \quad (4.86)$$

$$D = \frac{2Q_a}{G_{ym} c L_l}; \quad (4.87)$$

$$N = \frac{2r\Delta x}{cL_l}; \quad (4.88)$$



$$U = \frac{y}{L_n}. \quad (4.89)$$

Аналогично получено решение уравнения теплового баланса для участка утечек воздуха на второй половине зоны утечек выработанного пространства, т. е. при изменении координаты в пределах  $y \in [L_n/2, L_n]$ .

Уравнение теплового баланса для элементарного участка выработанного пространства в верхней части зоны утечек воздуха при возвратной на угольный массив схеме проветривания выемочного участка примет вид

$$G_{ym} c dt + G_{ym} r dx = \kappa_{\tau_{en}} \Omega Z \xi \epsilon_n (t_{en} - t) dy + \frac{2Q_a}{L_{np} L_n} \epsilon_6 dy, \quad (4.90)$$

В этом случае

$$\epsilon_6 = \frac{2(L_n - y)L_{np}}{L_n} \quad \text{при} \quad \frac{L_n}{2} < y < L_n; \quad (4.91)$$

$$x = x_{ym} + \frac{\Delta x}{2} + \frac{2\Delta x}{2L_{np} \cdot 0,5L_n} \cdot 0,5 \left[ L_{np} + \frac{2(L_n - y)L_{np}}{L_n} \right] \left( y - \frac{L_n}{2} \right); \quad (4.92)$$

$$dx = \frac{4\Delta x}{L_n^2} (L_n - y) dy. \quad (4.93)$$

Подставив значение  $dx$  в уравнение (4.90) и произведя преобразования и группирование членов уравнения, решим его при начальном условии

$$t_{|y=0,5L_n|} = t'_{ym|y=0,5L_n|}$$

$$t_{ym} = t_{en} + \frac{D}{K} \frac{N}{K} + \exp\left[\frac{KL_n}{4}(V^2 - 1)\right] \left( t'_{ym} - t_{en} - \frac{D}{K} + \frac{N}{K} \right), \quad (4.94)$$

где 
$$V = \frac{2(L_n - y)}{L_n}. \quad (4.95)$$

Температуру притечек воздуха из выработанного пространства на вентиляционный штрек определим из уравнения (4.94) при условии  $V = 0$ .

$$t_{np} = t_{en} + \frac{D}{K} - \frac{N}{K} + \exp\left(-\frac{KL_{\text{л}}}{4}\right) \cdot \left(t'_{ym} - t_{en} - \frac{D}{K} + \frac{N}{K}\right). \quad (4.96)$$

Подставляя в уравнение (4.96) значения  $K$ ,  $D$ ,  $N$ , согласно равенствам (4.86-4.88), и вместо  $x$  на основании (4.92) выражение

$$\Delta x = \frac{c(A_{np}t_{np} - A_{ym}t_{ym} - E)}{r}, \quad (4.97)$$

получим зависимость для определения температуры притечек воздуха из выработанного пространства в вентиляционный штрек при возвратноточной на массив схеме проветривания выемочных участков

$$t_{np} = (\Gamma + VA_{np})^{-1} \cdot [(I\Gamma \cdot VA_{ym})t_{ym} + V(\Gamma t_{en} + E + \frac{Q_a}{G_{ym}c})], \quad (4.98)$$

где

$$\Gamma = \frac{\kappa_{\tau.en} \Omega Z \xi L_{np} L_{\text{л}}}{2G_{np}c}. \quad (4.99)$$

Значения коэффициента нестационарного теплообмена  $\kappa_{\tau.en}$  между обрушенными породами выработанного пространства и утечками воздуха при схемах проветривания (1а, 3а) рассчитываются по формуле (4.34), а комплексов  $I$ ,  $V$ ,  $A_{np,ym}$ ,  $E$  рассчитываются по формулам (4.75) – (4.78).

#### **4.4. Расчет температуры воздуха в лавах при поступлении теплопритоков воздуха из выработанного пространства**

Утечки воздуха через выработанное пространство очистных забоев зависят от схемы проветривания выемочного участка, системы разработки, способа управления кровлей в лаве, состава боковых пород и составляют 15-85% от расхода воздуха, поступающего к лаве. При температуре вмещающих горных пород выше температуры воздуха в конце лавы (26°C), тепло выносимое вентиляционными утечками из выработанного пространства тепло может оказывать существенное влияние на тепловлажностные параметры воздуха в лаве и в выработках с исходящей струей воздуха. Это вызывает необходимость учета влияния утечек воздуха на тепловые условия в лавах и в выработках с исходящей струей воздуха.

Аналитические зависимости для расчета температуры утечек воздуха в выработанном пространстве выемочных участков получены из дифференциального уравнения теплового баланса при задании закона изменения относительной влажности или влагосодержания утечек воздуха в выработанном пространстве и линейной аппроксимации влагосодержания от  $\varphi$ ,  $t$  и  $P$  [формулы (4.1), (4.3) и (4.65), (4.11) и (4.72)], апробированы в широком диапазоне условий горных работ при различных способах управления горным давлением на выемочных участках, приведены в подразделе 4.3.

При управлении горным давлением на выемочном участке полным обрушением и схемах их проветривания с поступлением исходящей из лавы вентиляционной струи на выработанное пространство (схемы 1а, 1б, 3а, 4б), а также на массив угля с подачей на участок дополнительного количества воздуха в исходящую струю лавы по отдельной выработке (схемы 3б, 4а), основное количество утечек воздуха из выработанного пространства поступает в лаву вблизи сопряжения обрушенных пород с бутовой полосой в зависимости от способа поддержания вентиляционной выработки.

Для расчета температуры воздуха в лаве её разбивают на два расчетных участка: от начала до пункта поступления утечек воздуха из выработанного пространства ( $L'$ ) и от пункта смешения основного воздушного потока в лаве с притоками воздуха из выработанного пространства ( $l_6$ ).

Температура воздуха в лаве без учета притечек воздуха (на длине  $L'$ ) рассчитывается по формулам (4.15), (4.22) – (4.24) или (4.25) – (4.27). При этом на длине лавы  $L' = L_l - l_6$  в этих расчетных формулах величины  $t_1 = t_1$ ,  $t_2 = t_6$ ,  $\varphi_1 = \varphi_1$ ,  $\varphi_2 = \varphi_6$ ,  $G = G_l$ .

Расход воздуха в рабочем пространстве лавы на длине расчетного участка  $L'$  определяется по формуле

$$G_l = \frac{G_{уч} - G_{дон}}{1 + (k_{ум.в.} - 1) \cdot k_{ум.л}}, \quad (4.100)$$

где  $G_{уч}$  – расход воздуха на участке;  $G_{дон}$  – расход воздуха в дополнительной выработке;  $k_{ум.в.}$  – коэффициент утечек воздуха через выработанное пространство в пределах выемочного участка;  $k_{ум.л}$  – поправочный коэффициент, зависящий от способа поддержания выработки.

Величина притечек воздуха из выработанного пространства в лаву вычисляется по формуле

$$G_{пр.л} = G_{ум} \cdot k_{ум.л}, \quad (4.101)$$

где  $G_{ум}$  – расход утечек воздуха через выработанное пространство;  $k_{ум.л}$  – коэффициент, учитывающий поступление воздуха из выработанного пространства в лаву.

Температура и относительная влажность воздуха в лаве после смешения с притечками воздуха из выработанного пространства рассчитывается по формулам

$$t_{см} = \frac{t_{\delta} G_{л} + t_{пр} G_{пр.л}}{G_{л} + G_{пр.л}}, \quad (4.102)$$

$$\varphi_{см} = \frac{\varphi_{\delta} \frac{p_{н}^{t_2}}{p_{н}^{t_{см}}} G_{л} + \varphi_{пр} \frac{p_{н}^{t_{пр}}}{p_{н}^{t_{см}}} G_{пр.л}}{G_{л} + G_{пр.л}}, \quad (4.103)$$

где  $p_{н}^{t_{см}}$  – парциальное давление насыщенных водяных паров при температуре смеси воздуха  $t_{см}$ ;  $p_{н}^{t_2}$  – парциальное давление насыщенных водяных паров при температуре  $t_2 = t_{\delta}$ .

#### **4.5. Аналитические зависимости для расчета температуры воздуха в выработках с исходящей струей при заданном законе притечек воздуха по их длине**

При прогнозировании температуры воздуха в выработках вентиляционных горизонтов необходимо учитывать как теплопритоки воздуха из выработанного пространства выемочных участков, так и утечки воздуха из воздухоподающих выработок. При этом в зависимости от системы разработки и схемы проветривания выемочного участка теплопритоки воздуха из выработанного пространства могут быть как сосредоточенными в одном пункте, так и переменными по длине выработки. В настоящее время разработаны методы расчетов температуры воздуха в выработках, которые учитывают различные законы изменения расхода воздуха по их длине. В нормативном документе по прогнозированию температуры воздуха в выработках вентиляционных горизонтов для участковых выработок с переменным расходом воздуха (схемы проветривания выемочных участков 1а, 1б, 3а, 4б) расчетные зависимости получены при задании закона изменения влагосодержания воздуха по длине выработки. К недостаткам этого метода расчета относится необходимость задания коэффициентов аппроксимации влагосодержания воздуха от его температуры, которая является искомой величиной. Это приводит к увеличе-

нию объема расчетов, существенному усложнению программы при применении ЭВМ, снижению точности расчетов.

Для устранения отмеченных недостатков, уменьшения ошибок при прогнозировании температуры воздуха в выработках с переменным расходом воздуха, использования реальных исходных данных относительной влажности в таких выработках, целесообразно получить для них расчетные зависимости при задании закона изменения относительной влажности по длине выработок, как и в нормативной методике.

Расчетная схема к учету влияния притоков из выработанного пространства на температуру воздуха в вентиляционном штреке приведена на рис. 4.6. Уравнение теплового баланса для элементарного участка этой выработки  $dl$ , находящегося на расстоянии  $l$  от лавы, имеет вид:

$$cGdt + ctdG + rG\delta x + rxdG = \kappa_{\tau}U(t_{nl} \pm \sigma \sin \psi - t)dl + q_a dl + \kappa_m U_m(\theta_m - t)dl - \kappa_x U_x(t - \theta_x)dl + gG \sin \psi dl + g \sin \psi dlG + ct_{np}dG + rx_{np}dG \quad (4.104)$$

где  $c$  – массовая теплоемкость воздуха при изобарном процессе;  $G$  – расход воздуха;  $r$  – скрытая теплота парообразования;  $x$  – влагосодержание воздуха;  $\kappa_{\tau}$  – коэффициент нестационарного теплообмена горных пород с воздухом;  $U$  – периметр сечения вентиляционной выработки;  $t_{nl}$  – естественная температура горных пород в месте сопряжения выработки с лавой;  $t_{np}$  – температура утечек воздуха из выработанного пространства;  $q_a$  – величина тепловыделений от абсолютных источников на единице длины выработки;  $\psi$  – угол наклона пласта;  $\kappa_{\tau}$ ,  $\kappa_x$  – коэффициенты теплопередачи соответственно греющего и охлаждающего трубопроводов;  $U_{\tau}$ ,  $U_x$  – периметры соответственно греющего и охлаждающего трубопроводов;  $\theta_{\tau}$ ,  $\theta_x$  – средняя температура агента в трубопроводах.

Принимаем линейную зависимость изменения относительной влажности в пределах выработки (формула 4.11). С учетом зависимости (4.3) изменение влагосодержания при изменении температуры воздуха на  $dt$  на длине  $dl$  описывается формулой (4.13). Закономерность изменения расхода воздуха по длине вентиляционной выработки при указанных выше схемах проветривания выемочных участков описывается уравнением

$$G = G_{yч} - G_{np} \exp(-\delta l), \quad (4.105)$$

где  $G_{np}$  – количество воздуха, притекающего из выработанного пространства в вентиляционный штрек;  $\delta$  – эмпирический коэффициент.

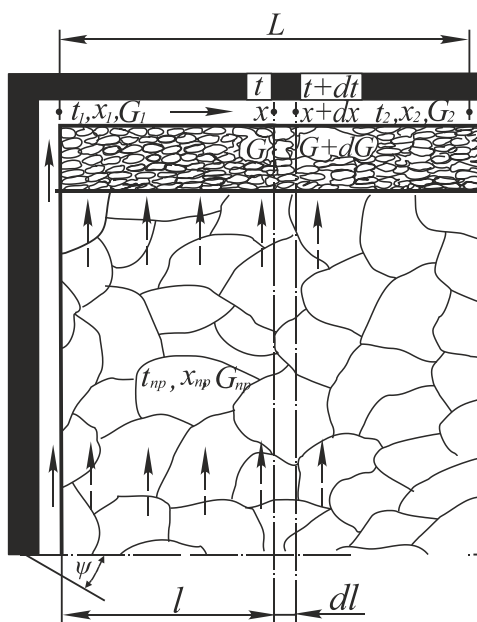


Рис. 4.6. Расчетная схема к учету влияния тепловыделений из выработанного пространства на температуру воздуха в вентиляционном штреке

Для условий Донбасса при управлении кровлей полным обрушением  $\delta = 0,04-0,05$ .

Приращение количества воздуха на участке выработки  $dl$  выразится зависимостью

$$dG = \delta G_{np} \exp(-\delta l) dl. \quad (4.106)$$

Подставив значение  $dx$  и  $dG$  согласно уравнениям (4.13) и (4.106) в дифференциальное уравнение (4.104) и разделив его на  $cG_{yч}$ , получим

$$dt - ae^{-\delta l} dt + at\delta e^{-\delta l} dl + B(\varphi_1 + \xi l)dt + B\xi tdl - B\xi \varepsilon dl - Ba(\varphi_1 + \xi l)e^{-\delta l} dt - Ba\xi te^{-\delta l} dl + Ba\xi e^{-\delta l} dl + Ba(\varphi_1 + \xi l)(t - \varepsilon)\delta e^{-\delta l} dl = A(t_n + \delta l \sin \psi - t)dl + Bdl + D(\theta_m - t)dl - M(t - \theta_x)dl + Ndl - aNe^{-\delta l} dl + aNle^{-\delta l} dl + at_{np}\delta e^{-\delta l} dl + aR\delta e^{-\delta l} dl, \quad (4.107)$$

$$\text{где } a = \frac{G_{np}}{G_{yч}}; \quad B = \frac{r}{c} B'; \quad A = \frac{\kappa_\tau U}{G_{yч} c}; \quad B = \frac{g}{G_{yч} c};$$

$$D = \frac{\kappa_m U_m}{G_{yч} c}; \quad M = \frac{\kappa_x U_x}{G_{yч} c}; \quad N = \frac{g \sin \psi}{c}; \quad R = \frac{rx_{np}}{c}.$$

После приведения подобных членов уравнение (4.107) примет вид

$$Pdt - Ze^{-\delta} dt + Wte^{-\delta} dl + Eldt + Vtdl - Sdl - Tle^{-\delta} dt + Юe^{-\delta} dl = \quad (4.108)$$

$$= Щle^{-\delta} - Яlte^{-\delta} dl + Hldl,$$

где  $P = I + B\varphi_l$ ;  $Z = aP$ ;  $W = a(\delta P - B\xi)$ ;  $V = B\xi + A + D + M$ ;

$$S = B\xi\varepsilon + At_{nl} + B + D\theta_m + M\theta_x + N; \quad T = Ba\xi;$$

$$Ю = a(B\xi\varepsilon - B\varphi_l\varepsilon\delta + N - \delta \cdot t_{np} - R\delta);$$

$$Щ = a\delta(B\xi\varepsilon + N); \quad Я = B\xi a\delta; \quad H = A\sigma \sin \psi; \quad E = B\xi.$$

Расчетный анализ, выполненный по формуле (4.108), показал, что членами уравнения со слагаемыми  $T$ ,  $Щ$ ,  $E$ , и  $Я$  можно пренебречь, и это не окажет влияния на значение конечной температуры воздуха на расчетном участке (табл. (4.4). С учетом принятых упрощений дифференциальное уравнение (4.108) можно представить в следующем виде

$$\frac{dt}{dl} = \frac{Hl + S - Юe^{-\delta} - (We^{-\delta} + V)t}{P - Ze^{-\delta}}. \quad (4.109)$$

Произведем замену переменной, выражая  $e^{-\delta}$  через  $y$ . Тогда уравнение (4.109) примет вид

$$\frac{dt}{dy} - \frac{Wy + V}{\delta y(P - Zy)} t = \frac{H}{\delta} \frac{\ln y - S + Юy}{\delta y(P - Zy)}. \quad (4.110)$$

Решим уравнение (4.110) без правой его части

$$\frac{dt}{dy} = \frac{Wy + V}{\delta \cdot y(P - Zy)} t. \quad (4.111)$$

Получим выражение

$$t = Cy^K (P - Zy)^{\nu}, \quad (4.112)$$

где  $\nu = -\left(\frac{W}{\delta Z} + K\right)$  и  $K = \frac{V}{\delta P}$ .

Таблица 4.4

Исходные данные и результаты сравнительных расчетов по уравнению (4.108) и упрощенному уравнению (4.109) и формуле (4.118)

Температура воздуха в начале выработки, $t_1$ , °C	Относительная влажность воздуха в выработке, д. ед.		Естественная температура пород, $t_p$ , °C	Температура (°C) и относительная влажность притечек воздуха, д. ед.		Расход воздуха на участке, $G_{уч}$ , кг/с	Длина выработки, $L$ , м	Коэффициент $a = \frac{G_{np}}{G_{уч}}$	Коэффициент нестационарного теплообмена, $k_e$ , Вт/м <sup>2</sup> ·°C	Угол наклона выработки, $\psi$ , °	Температура воздуха в конце выработки, °C		
	в начале, $\varphi_1$	в конце, $\varphi_2$		$t_{пр}$ , °C	$\varphi_{пр}$						расчет на ЭВМ, формулы		по формуле (4.118)
											(4.108)	(4.109)	
29,4	0,80	0,82	39,4	34,3	0,85	30,42	600	0,147	0,49	0,105	30,49	30,5	30,5
26,0	0	0	40,0	30,0	0	15,0	2000	0,5	0,3	0	32,31	32,31	32,3
39,0	0,90	0,95	48,0	40,0	0,40	20,0	400	0,2	1,0	0	36,38	36,37	36,4
20,0	0,60	0,80	50,0	45,0	0,68	25,0	800	0,05	0,1	-0,4	17,71	17,48	17,5
30,0	0,70	0,90	44,0	35,0	0,90	40,0	1000	0,3	5,0	0,3	34,95	35,14	35,6
26,0	1,0	1,0	39,0	35,0	0,52	5,0	60	0,4	0,8	-0,1	26,27	26,26	26,3

Заменим в уравнении (4.112) постоянную  $C$  неизвестной функцией  $U$  и полученное выражение подставим в уравнение (4.110). После преобразований оно примет следующий вид

$$dU = \frac{\left( \frac{H}{\delta} \ln y - S + I\alpha y \right) dy}{\delta y^{K+1} (P - Zy)^{(\nu+1)}} \quad (4.113)$$

Сомножитель  $(P - Zy)^{(\nu+1)}$  в знаменателе разложим в ряд по формуле бинома Ньютона, ограничившись двумя членами разложения, т. е.

$$(P - Zy)^{(\nu+1)} = \varepsilon^{-1} (1 - \nu y)^{-1}, \quad (4.114)$$

где  $\nu = a(\nu + 1)$ ;  $\varepsilon = P^{(-\nu-1)}$ .

Подставим выражение (4.114) в дифференциальное уравнение (4.113) и, интегрируя его, получим



$$\begin{aligned}
U &= \frac{H}{\varepsilon^{-1}\delta^2} \int \frac{\ln y dy}{y^{K+1}(1+\varepsilon y)^{-1}} - \frac{S}{\varepsilon^{-1}\delta} \int \frac{dU}{y^{K+1}(1+\varepsilon y)^{-1}} + \frac{Ю}{\varepsilon^{-1}\delta} \int \frac{dy}{y^K(1+\varepsilon y)^{-1}} = \\
&= y^{-K} \left\{ \Pi \left[ \frac{\varepsilon y \left( \ln y - \frac{1}{1-K} \right)}{1-K} - \frac{\ln y + \frac{1}{K}}{K} \right] - \mathcal{E} \left( \frac{1}{-K} + \frac{\varepsilon y}{1-K} \right) + \tilde{R} y \left( \frac{1}{1-K} + \frac{\varepsilon y}{2-K} \right) + C_1 y^K \right\}, \quad (4.115)
\end{aligned}$$

где 
$$\Pi = \frac{H\varepsilon}{\delta^2}; \quad \mathcal{E} = \frac{Se}{\delta}; \quad \tilde{R} = \frac{Ю\varepsilon}{\delta}.$$

Подставив значение  $U$  из формулы (4.115) в выражение (4.112), получим общее решение дифференциального уравнения (4.110)

$$t = (P - Zy)^\nu (\Pi\gamma - \mathcal{E}\eta + \tilde{R}\lambda + C_1 y^K), \quad (4.116)$$

где  $\gamma = \varepsilon\beta y(\ln y - \beta) - \alpha(\ln y + \alpha); \quad \eta = \beta\varepsilon y - \alpha; \quad \lambda = y(\beta + wy);$

$$\alpha = K^{-1}; \quad \beta = (1-K)^{-1}; \quad w = \varepsilon(2-K)^{-1}.$$

При начальном условии (при  $l=0, y=1$  и  $t=t_1$ ) получим частное решение дифференциального уравнения (4.110)

$$t = (P - Zy)^\nu \{ \Pi\gamma - \mathcal{E}\eta + \tilde{R}\lambda + y^K [t_1(P - Zy)^\nu + F] \}, \quad (4.117)$$

где 
$$F = \Pi(\varepsilon\beta^2 + d^2) + \mathcal{E}(\varepsilon\beta - L) - \tilde{R}(\beta + w).$$

После подстановки в уравнение (4.117) значений отдельных величин, ряда преобразований и пренебрегая малыми величинами, получим окончательное выражение для температуры воздуха в конце вентиляционной выработки с учетом утечек воздуха из выработанного пространства обрабатываемых лав:

$$t_2 = \frac{1}{m(1-ay)^\rho} \{ H - D + Ey + f [mt_1(1-a)^\rho + D - E] \}, \quad (4.118)$$

где  $m = \varepsilon^\rho; \quad \varepsilon = 1 + B\varphi_1; \quad \rho = 1 + A; \quad A = \frac{\kappa_\tau U + \kappa_m U_m + \kappa_x U_x + \kappa_{\tau,m} U_m}{N};$

$$N = \varepsilon \delta G_{yч} c \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}; \quad a = \frac{G_{ym}}{G_{yч}}; \quad K = A + \frac{B(\varphi_2 - \varphi_1)}{\varepsilon \delta L}; \quad y = \exp(-\delta L);$$

$$H = \frac{m \kappa_\tau U \sigma \sin \psi L}{KN}; \quad f = \exp(-K \delta L); \quad M = \frac{m B \varepsilon}{\varepsilon \delta K L} (\varphi_2 - \varphi_1);$$

$$D = \frac{H}{\delta K L} - M - \frac{m}{KN} (\kappa_\tau U t_n + q_a + \kappa_{am} U_{mp} t'_n + \kappa_m U_m \theta_m + \kappa_x U_x \theta_x \pm g G_{yч} \sin \psi \cdot 3,6 \cdot 10^{-3});$$

$$E = \frac{aK}{1-K} \left\{ M + \frac{m}{K\varepsilon} \left[ \frac{g \sin \psi}{\delta c} - B \varphi_1 \varepsilon - t_{np} - B_{np} \varphi_{np} (t_{np} - \varepsilon_{np}) \right] \right\}.$$

Сравнение результатов расчетов по формуле (4.118) с результатами численного решения по уравнениям (4.108) и (4.109) показало (табл. 4.4), что отклонения практически находятся в пределах точности расчетов.

## **Раздел 5. Теоретические основы расчета параметров воздуха в выработках, проветриваемых вентиляторами местного проветривания**

### **5.1. Анализ методов прогноза тепловых условий в тупиковых горных выработках**

Исследованию процессов теплообмена в тупиковых выработках и разработке методов прогноза температуры воздуха в них посвящен ряд работ отечественных и зарубежных авторов.

Известны эмпирические и аналитические методы прогнозирования температурных условий в тупиковых выработках. Наибольшее распространение получили аналитические методы, основанные на решении систем алгебраических уравнений теплового баланса тупиковой выработки или систем дифференциальных уравнений.

Эмпирические методы прогноза не получили широкого распространения, что объясняется необходимостью иметь большое количество шахтных экспериментальных данных, которые были бы получены по однотипной методике измерений.

Известные статистические зависимости для расчета температуры воздуха получены для тупиковых выработок Донбасса при буровзрывном и комбайновом способах их проведения на глубинах от 500 м до 1100 м при расходах воздуха 90-400 м<sup>3</sup>/мин. В них приводятся зависимости для определения температуры воздуха на выходе из вентиляционного трубопровода ( $t_2$ ), призабойной зоны ( $t_4$ ) и на выходе из тупиковой выработки ( $t_5$ ) в зависимости от температуры воздуха ( $t_o$ ) перед ВМП (см. рис. 5.1), температуры горного массива на глубине ведения работ ( $t_n$ ), длины трубопровода ( $L_m$ ) и расхода воздуха в трубопроводе ( $Q_m$ ). При этом, если температура воздуха на выходе из призабойной зоны превышает допустимые Правилами безопасности нормы ( $t_4 > t_{пб}$ ), предлагаются статистические зависимости по определению холодопотребности выработки ( $Q_{om}$ ) в функции  $Q_{om} = f(t_{пб}, t_n, Q_{во}, k_\tau)$ . Эти зависимости, как и вся методика, не нашли практического применения, так как технология проведения подготовительных выработок уже в 90-е годы прошлого века существенно изменилась, а статистические данные базировались на материалах замеров, выполненных в 60-70-е годы.

Результаты фактических замеров в тупиковых выработках, особенно при комбайновом способе их проведения, технических характеристиках нового оборудования, отличаются от расчетных по этим формулам на 3-5 °С и более, что не позволяет рекомендовать их для практического применения.

Методы тепловых расчетов, основанные на решении систем дифференциальных уравнений, отличаются сложными математическими моделями тепло- и массообмена в выработках. Получение аналитических решений возможно только с использованием численных методов.

Достоверность методов прогноза, основанных на решении систем дифференциальных уравнений теплового баланса, зависит от учета массообменных процессов в них. Однако широкие исследования этих процессов в условиях горных выработок шахт и рудников не проводились.

В Украине, как и в СССР, для прогнозирования температуры воздуха в тупиковых выработках широкое применение получили методы, основанные на решении уравнений теплового баланса, в которых влагообменные процессы в тупиковой выработке учитываются заданием значений относительной влажности воздуха, полученных по замерам в аналогичных условиях ведения горных работ или по статистическим данным.

Многолетние экспериментальные исследования в глубоких шахтах Донбасса показали, что в тупиковых выработках доверительные интервалы изменения относительной влажности воздуха в характерных пунктах сравнительно небольшие и зависят от влажностных характеристик выработок и вида технологического процесса в них.

В методиках прогноза температуры воздуха в тупиковых выработках расчетные зависимости процессов тепло- и массообмена получены из системы линейных уравнений теплового баланса для характерных участков движения воздушного потока при нагнетательной схеме проветривания (рис. 5.1).

Отличие этих методик расчета температуры воздуха состоит в представлении расчетного участка выработки 3-4 (призабойной зоны) в виде местного источника или в виде полой полусферы с учетом реального воздухораспределения в этой зоне. Изменение влагосодержания воздуха в уравнениях теплового баланса по длине выработки в призабойной зоне аппроксимируется линейной или квадратичной зависимостями.

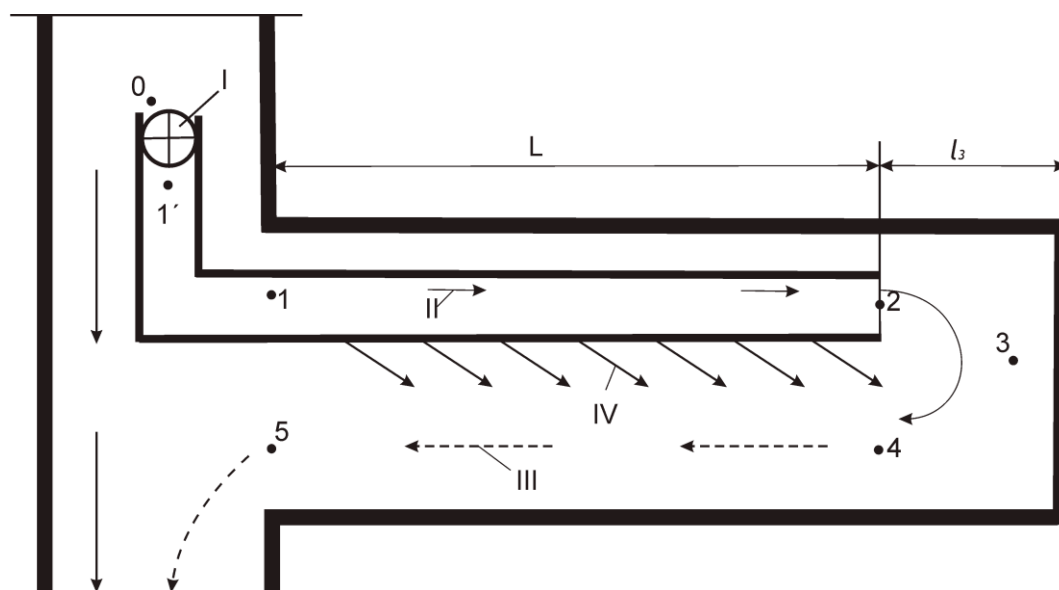


Рис. 5.1. Схема тупиковой выработки при нагнетательной схеме проветривания: 0-5 – характерные расчетные пункты вентиляционного трубопровода и выработки; I – вентилятор местного проветривания (ВМП);

II – свежая струя воздуха; III – исходящая струя;

IV – утечки воздуха через трубопровод

Исходные уравнения теплового баланса в этих методиках для участков воздухопровода (1-2), призабойного пространства (2-4) и участка сквозного проветривания выработки (4-5) имеют следующий вид (рис. 5.1):

$$G_{cp}c(t_2 - t_1) = 0,5k_{mp}F_{mp}(t_5 + t_4 - t_1 - t_2) \pm gG_{cp}L_{1-2} \sin \psi; \quad (5.1)$$

$$G_2c(t_4 - t_2) + G_2r(d_4 - d_1) = \kappa_{\tau_3} F_3 \left( t_{n3} - \frac{t_3 + t_4}{2} \right) + \Sigma Q_3; \quad (5.2)$$

$$G_{cp}c(t_5 - t_4) + G_{cp}(d_5 - d_4) = \kappa_{\tau_{4-5}}^{cp} F_{64-5} \left( t_{ncp} - \frac{t_5 + t_4}{2} \right) + , \quad (5.3)$$

$$+ 0,5\kappa_{mp} F_{mp} (t_4 + t_5 - t_1 - t_2) \pm gG_{cp} L_{4-5} \sin \psi + \sum Q_{M4-5}$$

где  $G_{cp}$  – средние по длине выработки и трубопровода массовый расход воздуха, кг/с;  $\kappa_{mp}$  – коэффициент теплопередачи от поверхности трубопровода к воздуху, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  $L$  – длина трубопровода, м;  $\psi$  – угол наклона выработки, град;  $\kappa_{\tau_3}$  – коэффициент нестационарного теплообмена между горным массивом и воздухом в призабойной зоне, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  $\kappa_{\tau_{4-5}}^{cp}$  – коэффициент нестационарного теплообмена на участке выработки между началом выработки и концом трубопровода, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  $Q$  – тепловыделения местных источников тепла, Вт;  $F$  – поверхность теплообмена, м<sup>2</sup>.

Индексы при условных обозначениях обозначают соответствующие расчетные участки выработки и воздухопровода.

Решение системы уравнений теплового баланса (5.1) – (5.3) при линейном законе аппроксимации изменения влагосодержания воздуха от температуры с учетом влияния утечек воздуха из вентиляционного трубопровода на формирование теплового режима тупиковой выработки, форма призабойного пространства и аэродинамика вентиляционной струи в этой зоне, величина тепловыделений от различных местных источников тепла позволило получить несложные расчетные зависимости для определения температуры воздуха в характерных пунктах тупиковой выработки при естественных условиях формирования теплового режима (рис. 5.1):

$$t_2 = \frac{[t_1(1 - N_T) \pm 0,01\Delta H] \Pi_3 + 2N_T \Pi_3}{\Pi_3 + N_T(\Pi_3 + 2N_3 - 2)}; \quad (5.4)$$

$$t_4 = \frac{\Pi_3 + t_2(1 - N_3)}{\Pi_3}; \quad (5.5)$$

$$t_5 = \frac{N_6 t_n + t_4(1 - 2N_m - 0,5N_6 n_m \varphi_4) + N_m(t_1 + t_2) - m_m(\varphi_5 - \varphi_4) \pm 0,01\Delta H + \frac{\sum Q_6}{G_{cp} c_p}}{1 + 0,5N_6 + n_m \varphi_5}, \quad (5.6)$$

где: буквенные индексы «*m*», «*з*», «*в*» при расчетных величинах *N*, *L*, *П* обозначают соответствующие участки тупиковой выработки;  $\Delta H$  – разность высотных отметок начала и конца соответствующего участка выработки, м.

Формулы для расчета входящих в уравнения (5.4) – (5.6) величин приведены в работе<sup>2</sup>.

Однако в уравнении теплового баланса для участка выработки от призабойной зоны до ее устья (уравнение 5.3) приняты ошибочные рекомендации по учету температуры и относительной влажности воздуха на этом участке, что существенно влияет на достоверность прогноза климатических условий. В этом уравнении не учитывают тепловые параметры утечек воздуха, поступающих из вентиляционной трубы в исходящую струю воздуха, что также приводит к существенным погрешностям при прогнозировании тепловых условий в тупиковой выработке и определении холодильной мощности средств охлаждения воздуха.

Для устранения этих недостатков и с целью повышения точности прогнозирования температурных условий в тупиковых выработках при нагнетательном проветривании составлены и решены уравнения теплового баланса для характерных расчетных участков выработки и воздухопровода. При этом для естественных условий формирования климатических условий система уравнений теплового баланса состоит из трех уравнений (рис. 5.1), а при искусственном охлаждении воздуха с расположением пункта охлаждения на произвольном расстоянии от начала выработки (рис. 5.2) – из пяти уравнений.

Анализ методов прогнозирования тепловых условий в тупиковых горных выработках, проветриваемых вентиляторами местного проветривания, позволяет констатировать, что применявшимся ранее методам прогноза присущи следующие недостатки:

- не учитываются утечки воздуха и теплообмен через вентиляционный воздухопровод, их влияние на формирование теплового режима выработок;
- искажена картина теплообмена между горным массивом и воздухом, между утечками воздуха из вентиляционного трубопровода и воздухом в выработке;
- не учитываются процессы теплообмена в призабойной зоне тупиковой выработки;
- не разработана методика расчета холодопроизводительности средств охлаждения воздуха при их расположении по длине тупиковой выработки.

---

<sup>2</sup>Методика прогнозирования температурных условий в выработках, проветриваемых с помощью вентиляторов местного проветривания /Утв. Минуглепромом СССР 22.12.1982. – Макеевка-Донбасс: изд. МакНИИ. – 1982. –33с.

## **5.2. Аналитические зависимости для расчета температуры воздуха в тупиковых горных выработках**

### **5.2.1. Математическая модель теплообменных процессов в выработках**

При нагнетательной схеме проветривания тупиковых выработок вентиляционная струя проходит три характерных участка, отличающихся процессами теплообмена, которые оказывают влияние на изменение тепловлажностных параметров воздуха в них (температуры, относительной влажности, влаго содержания и энтальпии). К этим участкам относятся: вентиляционный трубопровод (участок 0-2), призабойное пространство (участок 2-4) и участок 4-5 обратного движения вентиляционной струи от призабойной зоны до устья тупиковой выработки (рис. 5.1).

На участке 0-2 тепловлажностные параметры воздуха изменяются под влиянием: тепловыделений при работе вентиляторной установки; теплообмена через стенки вентиляционного трубопровода с воздухом, движущимся по свободному сечению выработки; тепловыделений от сжатия или расширения воздуха при его движении по вертикальным или наклонным участкам выработки.

На участке 2-4 тепловлажностные параметры воздуха изменяются под влиянием: теплообмена с горным массивом и отбитой горной массой; тепловыделений горнопроходческого оборудования, машин и механизмов; теплообмена с водой, подаваемой на орошение при работе горнопроходческого оборудования.

При обратном движении вентиляционной струи по свободному сечению тупиковой выработки (участок 4-5) тепловлажностные параметры воздуха изменяются под влиянием: теплообмена с горным массивом и транспортируемой горной массой; теплообмена с водой в выработке; теплообмена с воздухом в вентиляционном трубопроводе; теплообмена с утечками воздуха из вентиляционного трубопровода; тепловыделений от работы местных источников; тепловыделений от сжатия или расширения воздуха при его движении по наклонным выработкам.

Для упрощения математической модели принимаем следующие допущения:

1. Поперечное сечение тупиковой выработки ( $S$ , м<sup>2</sup>) и ее периметр ( $U$ , м) являются постоянными по длине и равны средневзвешенным значениям.

2. Тепло- и массообменные процессы в тупиковой выработке рассматриваются как саморегулирующая автоматическая система и учитываются заданием среднестатистических значений относительной влажности воздуха в характер-

ных пунктах выработки. Интенсивность изменения температуры воздуха зависит от характера изменения относительной влажности воздуха по длине выработки.

3. Относительная влажность воздуха по длине вентиляционного трубопровода и свободного сечения тупиковой выработки изменяется по линейной зависимости (4.1).

4. Влажосодержание воздуха в зависимости от температуры, относительной влажности и давления аппроксимируется линейной зависимостью (4.3).

5. На расчетном участке вентиляционного трубопровода 1'-2 (рис. 5.1) массообменные процессы отсутствуют, т.е. влажосодержание воздуха на этом участке постоянно :  $x'_1 = x_2 = const$  .

6. Участок вентиляционного трубопровода от места установки ВМП до устья выработки существенно мал по сравнению с длиной трубопровода в тупиковой выработке  $L$  . В связи с этим тепло- и массообменными процессами на участке 1'-1 (рис. 5.1) пренебрегаем. Тепловлажностные параметры воздуха в вентиляционном трубопроводе в пункте 1 принимаем равными тепловлажностным параметрам в пункте 1' ;

7. В расчетных пунктах 1, 5 и 2, 4 (рис. 5.1) принимаем:

$$G_1 = G_5; \quad G_2 = G_4, \quad (5.7)$$

где  $G_1 - G_5$  – массовый расход воздуха, кг/с, в расчетных пунктах 1, 2, 4 и 5;

8. Массовый расход воздуха в конце вентиляционного трубопровода определяется по формуле:

$$G_2 = \kappa_d G_1, \quad (5.8)$$

где  $\kappa_d$  – коэффициент доставки воздуха.

9. Тепловыделения от электрических потерь, работы машин и механизмов, шахтной воды, транспортируемого ископаемого, людей, трубопроводов с тепло- и хладоносителем и других местных источников принимаются равномерно распределенными по длине расчетных участков тупиковой выработки.

10. Тепловой эквивалент силы тяжести при движении воздуха по наклонным выработкам равен:

$$Q_{сж} = \pm \frac{GL \sin \psi}{427}, \quad (5.9)$$

где  $G$  – массовый расход воздуха на расчетном участке, кг/с.

С учетом принятых допущений математические модели процессов тепло-



массообмена в тупиковой подготовительной выработке при естественных условиях формирования теплового режима для характерных участков примут вид:

– участок трубопровода 1-2

$$G_2 i_2 - G_1 i_1 = \kappa_{mp} F_{mp} \left( \frac{t_5 + t_4}{2} - \frac{t_1 + t_2}{2} \right) \pm \frac{(G_1 + G_2) L \sin \psi}{2 \cdot 427} - (G_1 - G_2) \frac{(i_1 + i_2)}{2}; \quad (5.10)$$

– участок тупиковой выработки 4-5

$$G_5 i_5 - G_4 i_4 = \kappa_{\tau} F_{\tau} \left( t_n - \frac{t_4 + t_5}{2} \right) + (G_1 - G_2) \left( \frac{i_1 + i_2}{2} \right) \pm \frac{(G_5 + G_4) L \sin \psi}{2 \cdot 427} + Q_{\tau} - \kappa_{mp} F_{mp} \left( \frac{t_4 + t_5}{2} - \frac{t_2 + t_1}{2} \right); \quad (5.11)$$

– участок призабойной зоны тупиковой выработки 2-4

$$G_4 i_4 - G_2 i_2 = \kappa_{\tau_3} F_3 \left( t_{n_3} - \frac{t_2 + t_4}{2} \right) + Q_3, \quad (5.12)$$

где  $i$  – энтальпия воздуха, Дж/кг;  $\kappa_{mp}$  – коэффициент теплопередачи от поверхности трубопровода к воздуху, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $F_{mp}$  – площадь поверхности вентиляционного трубопровода, м<sup>2</sup>;  $t$  – температура воздуха, °C;  $t_n, t_{n_3}$  – температура горных пород в выработке и забое соответственно, °C;  $Q_{\tau}, Q_3$  – тепловыделения местных источников соответственно в выработке и призабойной зоне, Вт;  $F_{\tau}, F_3$  – площадь поверхности соответственно выработки и призабойной зоны, м<sup>2</sup>. Цифровая индексация в формулах соответствует номерам характерных пунктов выработки на рис. 5.1.

### 5.2.2. Температура воздуха в характерных пунктах тупиковой горной выработки при естественных условиях формирования теплового режима

Приведенная система уравнений (5.10) – (5.12) имеет четыре неизвестных:  $t_1, t_2, t_4$  и  $t_5$ . При ее решении используем очевидные соотношения (допущения 7 и 8):

$$G_1 = G_5 \text{ и } G_2 = G_4.$$

Энтальпия воздуха при линейной аппроксимации зависимости вла­госодержания от температуры определяется по формуле

$$i = c[t + B(t - \varepsilon)\varphi], \quad (5.13)$$

где  $B$  рассчитывается по формуле (4.18);  $n$ ,  $\varepsilon$  - коэффициенты уравнения линейной аппроксимации вла­госодержания от температуры при  $\varphi=1$  и  $P=101,3 \cdot 10$  Па. Принимаются по табл. 4.1.

$$t_1 = t_o + \Delta t_{\text{вн}}, \quad (5.14)$$

где  $t_o$  - температура воздуха в выработке перед ВМП, С;  $\Delta t_{\text{вн}}$  - приращение температуры воздуха в воздухопроводе от электрических потерь в двигателе ВМП.

Тогда с учетом (5.7) и (5.8), после ряда преобразований системы уравнений (5.10) – (5.12), конечные зависимости для расчета температуры воз­духа в характерных пунктах выработки при естественных условиях формиро­вания ее теплового режима примут следующий вид:

– температура воздуха на выходе вентиляционного трубопровода

$$t_2 = \frac{t_1(Y_m \theta_m + Z_m) + \text{Ш}_m + \text{Э}_m Y_m}{Y_m}; \quad (5.15)$$

– температура воздуха в призабойной зоне

$$t_4 = \frac{Y_m t_2 - Z_6 t_1 - \text{Ш}_6}{W_6}; \quad (5.16)$$

– температура воздуха в устье выработки

$$t_5 = \frac{j_6 t_1 + M_6 t_4 + R_6}{H_6}, \quad (5.17)$$

где

$$\begin{aligned} \kappa_d &= \frac{G_2}{G_1}; & A &= \frac{\kappa_\tau U_6 L}{2G_1 c}; & B_{6,m} &= \frac{1542n}{P_{cp} - p_t^H}; & N &= \frac{\kappa_m U_m L}{2G_1 c}; \\ \mu &= 1 - \kappa_d; & E &= \frac{(1 + \kappa_d)}{854c} gL \sin \psi; & \Phi &= \frac{\kappa_{\tau_3} F_3}{2G_1 c}; & \lambda &= N + 0,5\mu; \end{aligned}$$

$$F_m = \kappa_d (1 + B_m \varphi_2), \quad F_6 = \kappa_d (1 + B_6 \varphi_5), \quad F_3 = \kappa_d (1 + B_3 \varphi_4); \quad q = \frac{\kappa_d}{\kappa_d + \lambda};$$

$$H_6 = 1 + B_6 \varphi_5 + A + qN; \quad \varphi_2 = \frac{d_{t_1} P_{cp}}{(0,622 + d_{t_1}) p_{t_2}^n}; \quad j = 1 + \mu B_6 \varphi_1 - q(1 - \lambda);$$

$$M = F_6 - A - qN; \quad Y = \kappa_d + \lambda; \quad Z = 1 - \lambda + \frac{N \cdot j}{H};$$

$$R_6 = 2At_n + \frac{\sum Q_6}{G_{1c}} \pm qE + B_6 \varepsilon (\varphi_5 - \kappa_d \varphi_4 - \mu \varphi_1);$$

$$W = N \left( 1 + \frac{M}{H} \right); \quad \text{Щ}_{6,m} = \frac{RN}{H} \pm E; \quad y = \frac{\Phi - \kappa_d}{Y}; \quad \theta_T = \kappa_d B_m \varphi_1 - yZ;$$

$$V = F_T + \Phi + Wy; \quad \text{Я}_T = \frac{W}{V}; \quad \text{Э} = 2\Phi t_{nz} + \frac{\sum Q_3}{G_{1c}} + \kappa_d B_m \varepsilon (\varphi_4 - \varphi_1) - \text{Щу}.$$

Знак «плюс» перед комплексом  $E$  принимается при движении воздуха по выработке или воздухопроводу вниз, знак «минус» – при движении воздуха вверх.

Если в результате расчетов, выполненных по формулам (5.15-5.17), температура воздуха в призабойной зоне  $t_4$  и в устье выработки  $t_5$  будет превышать допустимые санитарными правилами нормы, то необходимо осуществлять регулирование теплового режима тупиковой выработки с помощью различных горнотехнических мероприятий или искусственного охлаждения воздуха.

### 5.2.3. Температура воздуха в характерных пунктах тупиковой выработки при искусственном охлаждении воздуха

Схема тупиковой выработки с расположением в ней пункта охлаждения воздуха приведена на рис. 5.2.

Уравнения теплового баланса для отдельных участков воздухопровода и выработки при искусственном охлаждении воздуха в соответствии со схемой, приведенной на рис. 5.2, примут вид:

участок воздухопровода 1-6 ( $l = L - l'$ )

$$G_6 i_6 - G_1 i_1 = k_m F_m'' \left( \frac{t_9 + t_{10}}{2} - \frac{t_1 + t_6}{2} \right) \pm \frac{(G_1 + G_6) l'' \sin \psi}{2 \cdot 427} - (G_1 - G_6) \frac{(i_1 + i_6)}{2}; \quad (5.18)$$

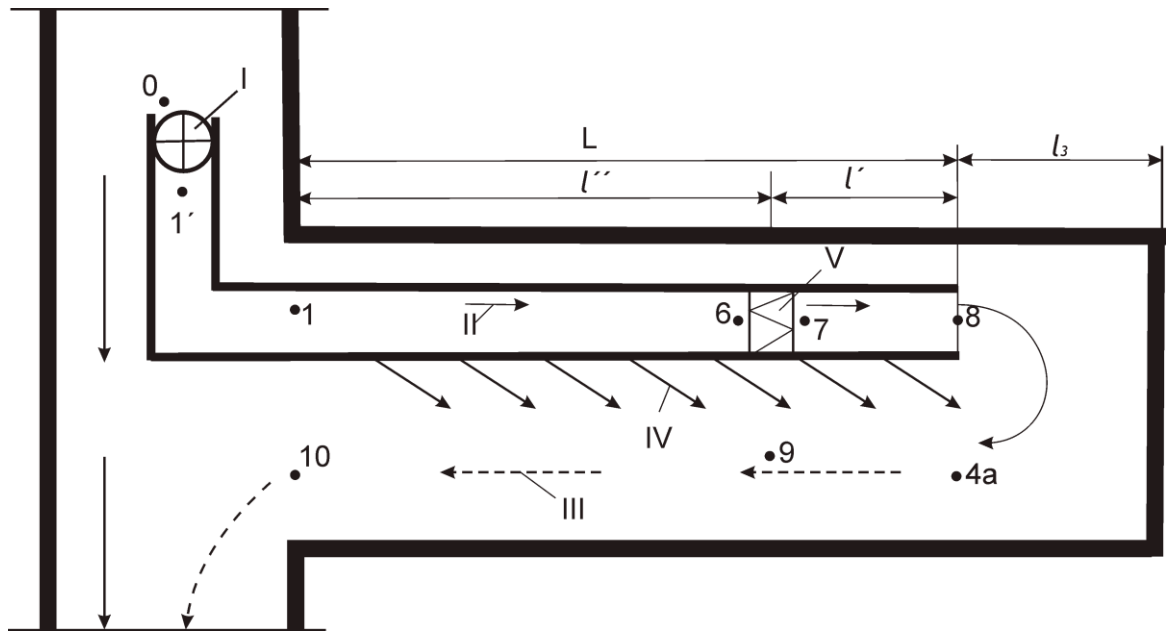


Рис. 5.2. Расчетная схема тупиковой выработки при искусственном охлаждении воздуха: 0-1, 6-8, 4а – 10 – характерные расчетные пункты вентиляционного трубопровода и выработки; I – вентилятор местного проветривания (ВМП); II – свежая струя воздуха; III – исходящая струя воздуха; IV – утечки воздуха через воздухопровод; V – воздухоохладитель

участок тупиковой выработки 9-10 ( $l''$ )

$$G_{10}i_{10} - G_9i_9 = \kappa_\tau F'_6 \left( t_n - \frac{t_9 + t_{10}}{2} \right) + (G_1 - G_6) \left( \frac{i_1 + i_6}{2} \right) \pm \pm \frac{(G_{10} + G_9) l'' \sin \psi}{2 \cdot 427} + Q_6 \frac{l''}{L} - \kappa_m F'_m \left( \frac{t_9 + t_{10}}{2} - \frac{t_1 + t_6}{2} \right) ; \quad (5.19)$$

участок воздухопровода 7-8 ( $l'$ )

$$G_8i_8 - G_7i_7 = \kappa_m F'_m \left( \frac{t_{4a} + t_9}{2} - \frac{t_7 + t_8}{2} \right) \pm \frac{(G_7 + G_8) l' \sin \psi}{2 \cdot 427} - (G_7 - G_8) \left( \frac{i_7 + i_8}{2} \right) ; \quad (5.20)$$

участок тупиковой выработки 4<sub>a</sub>-9

$$G_9i_9 - G_{4a}i_{4a} = \kappa_\tau F'_6 \left( t_n - \frac{t_{4a} + t_9}{2} \right) + (G_7 - G_8) \left( \frac{i_7 + i_8}{2} \right) \pm \pm \frac{(G_9 + G_{4a}) l' \sin \psi}{2 \cdot 427} + Q_6 \frac{l'}{L} - \kappa_m F'_m \left( \frac{t_{4a} + t_9}{2} - \frac{t_7 + t_8}{2} \right) ; \quad (5.21)$$

участок призабойной зоны  $l_3$

$$G_{4a}i_{4a} - G_8i_8 = \kappa_{\tau_3} F_3 \left( t_{n_3} - \frac{t_8 + t_{4a}}{2} \right) + Q_3. \quad (5.22)$$

В уравнениях (5.18) – (5.22) условные обозначения приняты те же, что и в балансовых уравнениях (5.10) – (5.12) при естественных условиях формирования теплового режима тупиковой выработки. Цифровая индексация условных обозначений соответствует номерам характерных пунктов выработки на рис. 5.2.

Приведенная система уравнений (5.18) – (5.22) имеет 6 неизвестных  $t_6, t_7, t_8, t_{4a}, t_9, t_{10}$ . Для ее решения задаемся значением температуры воздуха на выходе из призабойной зоны  $t_{4a} = t_{ив}$ , которая принимается в соответствии с требованиями Правил безопасности в зависимости от скорости движения воздуха и его относительной влажности на участке выработки  $l_3$ .

Для решения приведенной системы уравнений вводим соотношения:

$$G_1 = G_{10}; \quad G_6 = G_7 = G_9; \quad G_8 = G_{4a}; \quad G_6 = \kappa''_d G_1; \quad G_8 = \kappa'_d G_7. \quad (5.23)$$

Энтальпия воздуха определяется по формуле (5.13). С учетом принятых соотношений (5.23) и уравнения (4.12) исходные уравнения (5.18-5.22) примут следующий вид:

$$\kappa''_d [ct_6 + rB'(t_6 - \varepsilon)\varphi_6] - ct_1 - rB'(t_1 - \varepsilon)\varphi_1 = \frac{\kappa_m F_m''}{2G_1} (t_9 + t_{10} - t_6 - t_1) \pm \quad (5.24)$$

$$\pm \left( 1 + \kappa''_d \right) \frac{l'' \sin \psi}{854} - \frac{(1 - \kappa''_d)}{2} [ct_1 + rB'(t_1 - \varepsilon)\varphi_1 + ct_6 + rB'(t_6 - \varepsilon)\varphi_6];$$

$$ct_{10} + rB'(t_{10} - \varepsilon)\varphi_{10} - \kappa''_d [ct_9 + rB'(t_9 - \varepsilon)\varphi_9] = \frac{\kappa_{\tau} F_6''}{2G_1} (2T_n - t_9 - t_{10}) + \quad (5.25)$$

$$+ \frac{(1 - \kappa''_d)}{2} [ct_1 + rB'(t_1 - \varepsilon)\varphi_1 + ct_6 + rB'(t_6 - \varepsilon)\varphi_6] \pm \left( 1 + \kappa''_d \right) \frac{l'' \sin \psi}{854} +$$

$$+ \frac{Q_6 l''}{G_1 L} - \frac{\kappa_m F_m''}{2G_1} (t_9 + t_{10} - t_6 - t_1);$$

$$\begin{aligned} \kappa'_d [ct_8 + rB'(t_8 - \varepsilon)\varphi_8] - ct_7 - rB'(t_7 - \varepsilon)\varphi_7 = \frac{\kappa_m F'_m}{2G_7} (t_9 + t_{4a} - t_7 - t_8) \pm \\ \pm (1 + \kappa'_d) \frac{l' \sin \psi}{854} - \frac{(1 - \kappa'_d)}{2} [ct_7 + rB'(t_7 - \varepsilon)\varphi_7 + ct_8 + rB'(t_8 - \varepsilon)\varphi_8]; \end{aligned} \quad (5.26)$$

$$\begin{aligned} ct_9 + rB'(t_9 - \varepsilon)\varphi_9 - \kappa'_d [ct_{4a} + rB'(t_{4a} - \varepsilon)\varphi_{4a}] = \frac{\kappa_\tau F'_6}{2G_7} (2t_n - t_{4a} - t_9) + \\ + \frac{(1 - \kappa'_d)}{2} [ct_7 + rB'(t_7 - \varepsilon)\varphi_7 + ct_8 + rB'(t_8 - \varepsilon)\varphi_8] \pm (1 + \kappa'_d) \frac{l' \sin \psi}{854} + \\ + \frac{Q_6 l'}{G_7 L} - \frac{\kappa_m F'_m}{2G_7} (t_9 + t_{4a} - t_7 - t_8); \end{aligned} \quad (5.27)$$

$$\begin{aligned} \kappa_d [ct_{4a} + rB'(t_{4a} - \varepsilon)\varphi_{4a}] - \kappa_d [ct_8 + rB'(t_8 - \varepsilon)\varphi_8] = \\ = \frac{\kappa_{\tau_3} F_3}{2G_7} (2t_{n_3} - t_8 - t_{4a}) + \frac{Q_3}{G_7}. \end{aligned} \quad (5.28)$$

Упростим уравнения (5.24-5.28), приняв следующие обозначения:

$$\begin{aligned} B = \frac{r}{c} B'; \quad D = B\varepsilon; \quad A'' = \frac{\kappa_\tau F''_6}{2G_1 c}; \quad A' = \frac{\kappa_\tau F'_6}{2G_7 c}; \quad N'' = \frac{\kappa_m F''_m}{2G_1 c}; \\ N' = \frac{\kappa_m F'_m}{2G_1 c}; \quad \mu = 1 - \kappa_d; \quad E'' = (1 + \kappa''_d) \frac{l'' \sin \psi}{854 c}; \quad E' = (1 + \kappa'_d) \frac{l' \sin \psi}{854 c}; \\ \Pi' = \frac{Q_6 l'}{G_7 c L}; \quad \Pi'' = \frac{Q_6 l''}{G_1 c L}; \quad \text{Ю}' = \frac{Q_3}{G_7 c}; \quad \Phi' = \frac{\kappa_{\tau_3} F_3}{2G_7 c}. \end{aligned}$$

После преобразований с учетом введенных обозначений получаем систему из пяти уравнений с шестью неизвестными:  $t_6, t_7, t_8, t_{4a}, t_9, t_{10}$ . Для ее решения задаемся значением температуры воздуха на выходе из призабойной зоны ту-пиковой выработки  $t_{4a}$ , которая принимается в соответствии с требованиями правил безопасности (ПБ) и санитарными правилами (СПиН) в зависимости от скорости движения воздуха в этой части выработки и величины его относительной влажности, т. е.,  $t_{4a} = t_{пб}$ .

Температуру воздуха в характерных пунктах тупиковой выработки рассчитывают в следующей последовательности:

$$t_8 = \frac{C'_3}{\Phi'_3} \frac{t_{\text{ИБ}} (F'_3 + \Phi'_3)}{\kappa'_d (1 + B_{3,8})}; \quad (5.29)$$

$$t_7 = \frac{Y'_m t_8}{\mathcal{A}'_m \theta'_m + Z'} \frac{\mathcal{W}'_m \mathcal{E}'_m \mathcal{A}'_m}{\mathcal{A}'_m \theta'_m + Z'}; \quad (5.30)$$

$$t_9 = \frac{j'_6 t_7 + M'_6 t_{\text{ИБ}} + R'_6}{H'_6}; \quad (5.31)$$

$$t_6 = \frac{W'_m t_9 + Z_6 t_1 + \mathcal{W}_6}{Y_6}; \quad (5.32)$$

$$t_{10} = \frac{j_6 t_1 + M_6 t_9 + R_6}{H_6}, \quad (5.33)$$

где  $l = L - l'$ ;  $\kappa_d = 1 - \frac{G_{ym} l}{G_1 L}$ ;  $\kappa'_d = \frac{G_1 - G_{ym}}{G_7}$ ;  $\mu = 1 - \kappa_d$ ;  $\mu' = 1 - \kappa'_d$ ;

$$A = \frac{\kappa_\tau U_6 l}{2G_1 c}; \quad A' = \frac{\kappa'_\tau U'_6 l'}{2G_7 c}; \quad N = \frac{\kappa_m U_{mp} l}{2G_1 c}; \quad N' = \frac{\kappa'_m U_{mp} l'}{2G_7 c};$$

$$E = \frac{(1 + \kappa_d) - l \sin \psi}{993,2c}; \quad E' = \frac{(1 + \kappa'_d) - l' \sin \psi}{993,2c}; \quad \lambda = N + 0,5\mu; \quad \lambda' = N' + 0,5\mu';$$

$$F_{6,m} = (1 + B_6 \varphi_9) \kappa_d; \quad F'_3 = (1 + B_3 \varphi_{4a}) \kappa'_d; \quad q = \frac{\kappa_d}{\kappa_d + \lambda}; \quad q' = \frac{\kappa'_d}{\kappa'_d + \lambda'};$$

$$H_{6,m} = 1 + B_{6,m} \varphi_{10} + A + qN; \quad H'_6 = 1 + B_{6,m} \varphi_9 + A' + q'N'; \quad \Phi'_3 = \frac{\kappa_{\tau_3} F_3}{2G_7 c};$$

$$I_{O_3} = \frac{\sum Q_3}{G_7 c}; \quad M_{6,\tau} = F_{6,\tau} - A - qN; \quad M'_{6,\tau} = F'_{6,\tau} - A' - q'N';$$

$$j_{\epsilon, \tau} = 1 + \mu B_{\epsilon, \tau} \varphi_1 - q(1 - \lambda); \quad j'_{\epsilon, \tau} = 1 + \mu' B_{\epsilon, \tau} \varphi_7 - q'(1 - \lambda');$$

$$R_{\epsilon, m} = 2A t_{n_{16}} + \frac{\Sigma Q_{\epsilon_{16}} l}{G_1 c L} - (\pm E q) + B_{\epsilon, m} \varepsilon (\varphi_{10} - \kappa_d \varphi_9 - \mu \varphi_1);$$

$$R'_{\epsilon, m} = 2A' t_{n_{78}} + \frac{\Sigma Q_{\epsilon_{73}} l'}{G_7 c L} - (\pm E' q') + B_{\epsilon, m} \varepsilon (\varphi_9 - \kappa'_d \varphi_{4a} - \mu' \varphi_7);$$

$$Y'_m = \kappa'_d + \lambda'; \quad W'_m = N' \left( 1 + \frac{M'_m}{H'_m} \right); \quad Z' = 1 - \lambda' + \frac{N' \cdot j'}{H'}; \quad \text{Щ} = \frac{RN}{H} \pm E;$$

$$\text{Щ}'_m = \frac{R'N'}{H'} \pm E'; \quad y' = \frac{\kappa'_d - \Phi'_3}{Y'}; \quad \nu'_m = F'_m + \Phi'_3 - W'_m \cdot y'; \quad \Theta' = \kappa'_d B_m \varphi_7 + y' Z';$$

$$C' = \text{Ю}_3 + 2\Phi'_3 t_{n_3} + \kappa'_d B_3 \varepsilon (\varphi_{4a} - \varphi_8);$$

$$\text{Э}' = \text{Ю}_3 + 2\Phi'_3 t_{n_3} + \kappa'_d B_m \varepsilon (\varphi_{4a} - \varphi_7) + \text{Щ}'_m \cdot y'; \quad \text{Я}' = \frac{W'_m}{\nu'_m}.$$

При расположении воздухоохладителя в устье выработки ( $l=L$ ) температуру воздуха на выходе из выработки рассчитывают по формуле (5.31) для определения температуры  $t_9$ . При этом температуру воздуха перед воздухоохладителем принимают равной температуре воздуха в трубопроводе после ВМП –  $t_l$ .

Знак «плюс» перед комплексами  $E$  и  $E'$  принимают при движении воздуха по воздухопроводу вниз, знак «минус» – при движении воздуха вверх.

При искусственном охлаждении воздуха изменение его температуры от вентилятора до выхода из выработки по расчетным участкам может выходить за пределы диапазонов коэффициентов аппроксимации  $n$ ,  $\varepsilon$  и  $p_n^{cp}$ , приведенных в табл. 4.1. В этом случае диапазон аппроксимации принимают для каждого расчетного участка: воздухопровода – до и после воздухоохладителя, призабойной зоны, а также для участков выработки до и после воздухоохладителя. Это положение отражено в буквенной индексации «в», «т» и «з» расчетных комплексов для различных расчетных участков.

Если  $Q_x > 0$ , расчет окончен. При  $Q_x < 0$  производят корректировку значений относительной влажности воздуха после воздухоохладителя по формулам (5.37) – (5.42). На основании уточненного значения  $\varphi_7$  после воздухоохладителя



тепловые расчеты повторяют и получают реальное значение его мощности.

Таким образом, температура воздуха в характерных пунктах тупиковой выработки при искусственном охлаждении по схеме на рис. 5.2 рассчитываются по формулам (5.29) – (5.33).

По расчетным значениям температуры воздуха можно определить холодопотребность воздухоохладителя ( $Q_x$ ) для обеспечения нормальных тепловых условий в тупиковой выработке.

$$Q_x = G_7 c [t_6 (1 + B_{т1-6} \cdot \varphi_6) - t_7 (1 + B_{м7-8} \cdot \varphi_7) + B_{м7-8} \cdot \varepsilon_{т7-8} \cdot \varphi_7 - B_{м1-6} \cdot \varepsilon_{м1-6} \cdot \varphi_6], \quad (5.34)$$

где 
$$G_7 = G_1 - \frac{G_{ym} l}{L}; \quad (5.35)$$

$$B_{\varepsilon, m, z} = \frac{1542n}{P_{cp} - p_n^{t_{\varepsilon, m, z}}}, \quad (5.36)$$

где  $P_{cp}$  – среднее барометрическое давление воздуха на расчетном участке выработки, Па.

Значения величин  $n$ ,  $\varepsilon$  и  $p_n^t$  принимают соответственно для возможного диапазона изменения температуры воздуха в выработке, воздухопроводе и призабойной зоне тупиковой горной выработки по табл. 4.1.

При машинном счете значения коэффициентов аппроксимации  $n$  и парциального давления водяных паров  $p_n^{cp}$  определяют для фактических интервалов изменения температуры воздуха в начале ( $t_n$ ) и в конце ( $t_k$ ) расчетных участков выработки и воздухопровода по зависимостям:

$$p_{t_{n,k}}^H = 133,32 \exp\left(\frac{360 + 18,7t_{n,k}}{236 + t_{n,k}}\right), \quad (5.37)$$

где 
$$\left. \begin{aligned} p_n^{t_n} &= n(t_n - \varepsilon); \\ p_n^{t_k} &= n(t_k - \varepsilon). \end{aligned} \right\} \quad (5.38)$$

Определение значений относительной влажности воздуха в пунктах 6-8 производят в следующей последовательности:

так как  $d_{t_1} = d_{t_6}$ , то

$$\varphi_6 = \frac{d_{t_1} P_{cp}}{(0,622 + d_{t_1}) p_H^{t_6}}; \quad (5.39)$$

$$\varphi_7 = \frac{d_{t_6} P_{cp}}{(0,622 + d_{t_6}) p_H^{t_7}}, \quad (5.40)$$

где  $d_{t_1}$ ,  $d_{t_6}$  – влагосодержание воздуха при температурах  $t_1$  и  $t_6$ , кг/кг.

При этом если получим, что  $\varphi_7 > 1$ , принимаем  $\varphi_7 = 1,0$ . Тогда

$$d_{t_7} = 0,622 \left( \frac{\varphi_7 p_H^{t_7}}{P_{cp} - \varphi_7 p_H^{t_7}} \right). \quad (5.41)$$

Принимаем  $d_{t_7} = d_{t_8}$ , тогда

$$\varphi_8 = \frac{d_{t_7} P_{cp}}{(0,622 + d_{t_7}) p_H^{t_8}}. \quad (5.42)$$

При расположении воздухоохладителя в устье тупиковой выработке ( $l = 0$ ) температура воздуха на выходе из выработки находится по формуле (5.31). При этом температура воздуха перед пунктом охлаждения принимается равной температуре воздуха в воздухопроводе после ВМП.

При известной производительности воздухоохладителя можно определить температуру воздуха на выходе из воздухоохладителя по формуле:

$$t_7 = \frac{l}{l + B_m \varphi_7} \left[ t_6 (1 + B_m \varphi_6) - \frac{Q_x}{G_{7c}} + B_m \varepsilon_m (\varphi_7 - \varphi_6) \right]. \quad (5.43)$$

**Литература к разделу [1,2,4,8,13-50].**

## Вопросы для самостоятельного контроля знаний

1. Перечислите допущения, которые приняты при формулировке математической модели теплообмена в дифференциальном уравнении теплового баланса воздухоподающей выработки при линейном законе изменения относительной влажности воздуха по её длине.

2. Исходя из геометрии фильтрационного движения утечек воздуха через обрушенные породы выработанного пространства, в принятой классификации схем проветривания выемочных участков по тепловому фактору, какие и сколько групп схем можно выделить? Назовите эти схемы.

3. При управлении кровлей в лавах полным обрушением – какие допущения приняты при разработке расчётных зависимостей для коэффициента нестационарного теплообмена  $k_{\tau}$  обрушенных пород выработанного пространства?

4. Какие допущения приняты в математической модели теплообмена между породами выработанного пространства и утечками воздуха при разработке расчётных зависимостей для коэффициента нестационарного теплообмена  $k_{\tau}$  при управлении кровлей в лавах плавным опусканием?

5. Какие допущения приняты при формулировке математической модели теплообмена в выработанном пространстве при выводе зависимостей для расчета температуры утечек воздуха из выработанного пространства при различных схемах проветривания выемочных участков?

6. От чего зависит поступление теплопритоков воздуха из выработанного пространства и как они влияют на температуру воздуха в лавах?

7. Прокомментируйте особенность расчета температуры воздуха в участковых выработках с исходящей вентиляционной струей.

8. Перечислите недостатки известных методов прогноза тепловых условий в тупиковых горных выработках, проветриваемых вентиляторами местного проветривания.

9. Опишите особенности формирования тепловлажностных параметров воздуха в тупиковых выработках при нагнетательной схеме проветривания.

10. Приведите перечень допущений, которые приняты в математической модели теплообмена в тупиковой горной выработке при естественных условиях формирования её теплового режима.

11. Какие допущения приняты в системе уравнений теплового баланса для расчётных участков тупиковой горной выработки при искусственном охлаждении воздуха.

## **Часть III.**

*Рассмотрены математические основы изучения теплового режима глубоких шахт, особенности его формирования в действующих глубоких шахтах при разработке пологих, наклонных и крутых пластов.*

*Изучив материалы раздела, студент должен уметь самостоятельно определять виды маршрутных тепловых съемок и пункты замеров тепловлажностных параметров воздуха, владеть методикой выполнения измерений, уметь обобщить полученные данные с целью оценки теплового режима шахты. Знать особенности формирования теплового режима шахт, разрабатывающих пологие, наклонные и крутые пласты, а также особенности формирования теплового режима тупиковых горных выработок.*

### **Раздел 6. Методологические основы изучения теплового режима глубоких шахт**

#### **6.1. Задачи и методы изучения теплового режима действующих шахт**

Формирование теплового режима горных выработок и тепловлажностного режима окружающего их породного массива происходит под влиянием значительного числа факторов, корректное математическое описание которых сопряжено с целым рядом трудностей. Эти причины делают практически невозможным детальное исследование теплового режима горных выработок шахт и рудников с использованием только аналитических методов, несомненные достоинства которых – малая трудоемкость и широкий диапазон применения.

Эти методы необходимо сочетать с моделированием и анализом теплового режима шахт и рудников в натуральных условиях. Достоинствами метода шахтных исследований являются достоверность получаемых результатов, полнота отражения и возможность анализа многочисленных факторов и особенностей, не поддающихся или весьма трудно поддающихся учету при моделировании или использовании аналитических методов. Недостатки – частный характер ре-

зультатов, т. е. невозможность их распространения на условия и время, существенно отличающиеся от условий и времени выполнения данных шахтных исследований.

Основными задачами шахтных исследований теплового режима выработок являются:

- накопление фактического материала для общей количественной оценки теплового режима шахт и рудников;

- установление общих тенденций и закономерностей теплового режима подземных выработок;

- оценка влияния специфических и местных особенностей выработок (утечки воздуха, изменения вентиляционного режима, гидрогеологические условия и др.) на их тепловой режим;

- анализ теплового режима конкретных шахт или рудников для разработки рекомендаций по его улучшению;

- получение обоснованных исходных данных для выбора начальных и граничных условий при моделировании процессов горного тепломассообмена;

- исследование малоизученных процессов в горных выработках и получение количественных показателей, входящих в расчетные формулы (тепловыделение при окислении, изменение относительной влажности воздуха при движении по цепи горных выработок и др.);

- получение эмпирических зависимостей и величин, характеризующих действительный тепловой режим отдельных выработок и шахт;

- проверка и оценка точности аналитических формул и расчетных зависимостей, полученных в результате моделирования;

- оценка возможности и эффективности применения различных средств и способов регулирования теплового режима.

Исходя из задач изучения теплового режима действующих шахт и рудников, комплекс шахтных экспериментов может включать следующие исследования: геотермические в скважинах и шпурах, пробуренных с поверхности и из горных выработок; температурного поля воздушного потока в различных пунктах вентиляционной сети шахты в разное время года; суточного теплового режима отдельных выработок в течение года; теплового режима тупиковых выработок в период их проходки; изменений температуры и тепловыделений от транспортируемых пород и ископаемого, их теплообмена с воздушным потоком; теплового баланса шахты или рудника и отдельных выработок в разное время года; а также ежемесячные или ежедекадные маршрутные тепловые съемки по основным участкам с неблагоприятными климатическими условиями в разное время года.

Помимо перечисленных исследований для анализа теплового режима шахты или рудника необходимо иметь полную характеристику изменений температуры, относительной влажности и барометрического давления воздуха на поверхности.

Необходимы, в частности, следующие данные: среднегодовые и среднемесячные значения температуры, относительной влажности и барометрического давления воздуха на поверхности; минимальная, максимальная и средняя температуры атмосферного воздуха в течение суток по месяцам; среднемесячные значения параметров атмосферного воздуха ( $t$  и  $\varphi$ ) и его давления ( $P$ ) для Донецкого бассейна.

## **6.2. Контроль и анализ теплового режима шахт**

### **6.2.1. Тепловые съемки в шахтах**

Тепловые съемки в шахтах выполняют для установления основных факторов и причин, оказывающих влияние на параметры микроклимата в горных выработках в связи с изменением горно-геологических и горнотехнологических условий горных работ.

Материалы тепловых съемок используют для получения исходных данных к тепловым расчетам при разработке мероприятий по нормализации теплового режима в выработках.

Тепловые съемки в выработках с нормальными параметрами микроклимата носят контрольный характер.

Основными параметрами, характеризующими тепловой режим горных выработок по их длине и во времени, являются: температура, относительная влажность, скорость, влаго- и теплосодержание воздуха. На изменение этих параметров влияют следующие основные факторы:

- колебания температуры и относительной влажности поступающего в шахту атмосферного воздуха;
- нагревание воздуха вследствие его сжатия при движении вниз и охлаждение за счет расширения при движении вверх в вертикальных и наклонных выработках;
- тепло- и массообмен воздуха с горными породами и транспортируемым ископаемым;
- тепло- и массообмен воздуха с шахтной водой;
- теплообмен с трубопроводами тепло- и хладоносителя, расположенными в выработках;
- тепловыделения от электрических потерь в двигателях, трансформаторных

подстанциях, от трения при работе различных машин и механизмов, от окислительных процессов и пр.

Интенсивность и направление теплообменных процессов зависят от разности значений температуры воздуха и источника тепловыделения, а также площади их поверхности и скорости воздушного потока.

Оценку влияния перечисленных выше факторов на тепловлажностные параметры воздуха выполняют путем проведения натурных исследований и наблюдений в шахтах. Основным методом исследований являются тепловые съемки.

*Цель тепловых съемок* – получение достоверной информации о тепловом режиме отдельных горных выработок, рабочих горизонтов шахты или рудника в целом.

*Задачи тепловых съемок:*

- оценка состояния тепловых условий в горных выработках и определение причин нагревания и увлажнения воздуха;
- получение исходных данных для выполнения тепловых расчетов;
- разработка мероприятий по обеспечению нормативных климатических условий в горных выработках;
- получение исходных материалов для научно-исследовательских целей.

Тепловые съемки проводят в пунктах горных выработок, место расположения, последовательность и количество которых устанавливают в зависимости от вида съемки. Тепловые съемки, выполняемые по заранее намеченному или установленному пути следования, называют *маршрутными тепловыми съемками*. Маршрутные тепловые съемки делят на *полные и неполные*.

*Полную маршрутную тепловую съемку* проводят с целью оценки тепловых условий по всему пути движения воздуха от устья воздухоподающего ствола до выхода из выемочного участка, тупиковой выработки или до канала вентилятора главного проветривания (рис. 6.1, точки 1-37).

*Неполные маршрутные тепловые съемки* ведут начало от групповых или участков воздухоподающих выработок. Их проводят с целью оценки тепловых условий крыла, выемочного участка, тупиковой подготовительной выработки и т. п. (рис. 6.1, точки 38-43, узел 1, точки 52-58).

При строительстве глубоких шахт до сбойки стволов тепловые съемки производят во всех проходимых и пройденных выработках, начиная от поверхности шахты. После сбойки стволов и обеспечения общешахтного проветривания вентиляторами главного проветривания тепловые съемки выполняют так же, как и в действующих шахтах.

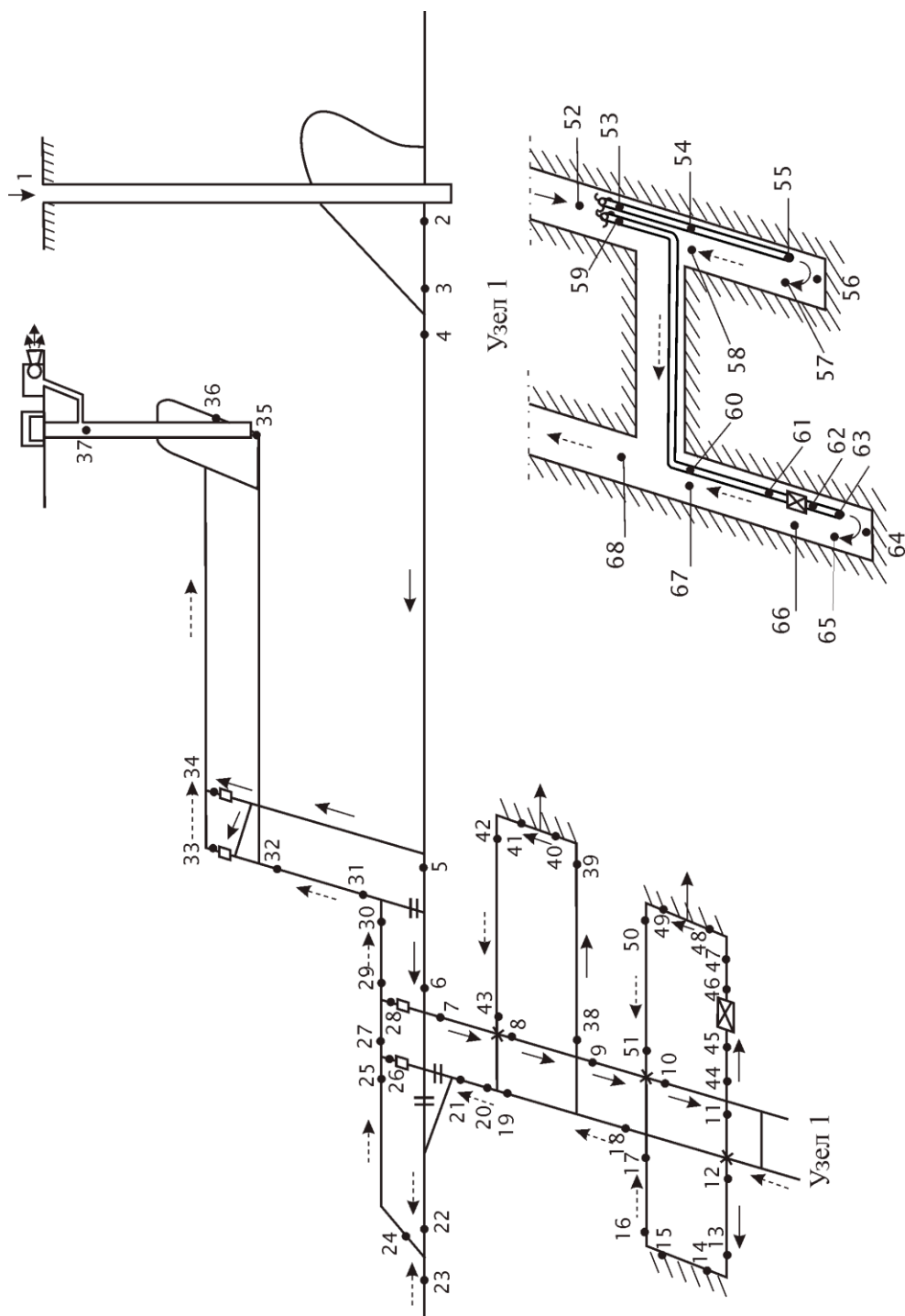


Рис 6.1. Схема расположения замерных пунктов при выполнении маршрутных тепловых съемок: 1-37 – основные замерные пункты полной тепловой съемки; 38-43, 44-51, узел 1 – замерные пункты при неполной тепловой съемке.



Работы, выполняемые при тепловых съемках, включают в себя замеры: температуры воздуха и его барометрического давления на поверхности; температуры и скорости воздуха в воздухоподающих, очистных, тупиковых и вентиляционных выработках; температуры транспортируемого ископаемого, шахтной воды и объектов, находящихся в выработках; замеры поперечного сечения выработок, параметров воздухоохлаждающих устройств (температур хладоносителя и воздуха на входе и выходе из охладителей, количество проходящего через них хладоносителя и воздуха); геотермические измерения температуры породного массива в шпурах.

Тепловые съемки могут иметь контрольный или регулярный характер.

Контрольные съемки проводят по заданию контролирующих организаций, при инспекторских проверках и пр.

Регулярные тепловые съемки проводят с целью контроля состояния тепловых условий в рабочих забоях и отдельных горных выработках в соответствии с графиком обследований горных выработок.

Контрольные тепловые съемки проводят на действующих шахтах при глубине горных работ более 600 м не реже одного раза в три года, а при необходимости и на шахтах с меньшей глубиной разработки. Сроки повторных контрольных тепловых съемок устанавливает техническая дирекция производственного объединения, компании. Они не должны превышать трех лет.

Регулярные тепловые съемки проводят на рабочих местах в выработках с повышенными температурами воздуха горными мастерами службы ВТБ и ИТР шахт не реже одного раза в месяц.

Маршруты тепловых съемок и пункты замеров выбирают на основе анализа планов горных работ и схемы вентиляции шахты. По каждому маршруту составляют схему всех последовательных выработок с указанием названий выработок, положения и номеров пунктов замеров. Пункты замеров намеченного маршрута уточняют непосредственно в шахте.

Требования к выбору пунктов замеров в выработках, проветриваемых за счет общешахтной депрессии:

- в пределах участка между ближайшими пунктами замеров не должно быть ответвлений вентиляционной струи;
- расстояние между пунктами замеров в выработке не должно превышать 500 м;
- замеряемые участки необходимо выбирать по возможности однородными по горногеологическим условиям, креплению и степени увлажнения;
- пункты замеров температуры и относительной влажности воздуха располагают на расстоянии не менее 5 м после разветвления вентиляционной струи и 10 м после местного источника тепловыделения (по направлению движения вентиляционной струи);

– пункты замеров расхода воздуха располагают на расстоянии не менее 15-20 м после разветвления вентиляционной струи и 5 м перед местными источниками тепловыделений (по направлению движения вентиляционной струи). Выработка в пункте замера расхода воздуха должна быть не загромождена, иметь одинаковое сечение и крепление на расстоянии не менее 5 м с каждой стороны от пункта замера. При отсутствии в выработке участков, отвечающих перечисленным требованиям, замер расхода воздуха производят в местах с наиболее удовлетворительным состоянием крепи и сечения.

На рис. 6.2 приведены схемы расположения пунктов замеров при выполнении тепловых съемок в пределах выемочных участков.

Пункты замеров на выемочном участке располагают:

– в воздухоподающей выработке до лавы – согласно вышеизложенным требованиям;

– перед лавой – на расстоянии не более 10 м до входа воздуха в призабойное пространство лавы;

– в лаве – в указанных на рис. 6.3 точках технологических дорог сечения призабойного пространства лавы и на расстоянии до 5 м от входа и выхода вентиляционной струи из очистного забоя;

– в вентиляционной выработке с исходящей, а также подсвежающей струями – в зависимости от схемы проветривания участка согласно рис. 6.2.

Температуру и относительную влажность притоков воздуха из выработанного пространства лавы в выработки с исходящей струей воздуха при возвратно-точной на целик (столбовая система разработки, рис. 6.2, б и е) и прямоточной на целик (комбинированная система разработки) схемах проветривания измеряют в тупике вентиляционной выработки на расстоянии до 3 м от линии посадочной крепи в лаве. Температуру и относительную влажность притоков воздуха при схемах проветривания с направлением исходящей струи воздуха на выработанное пространство (рис. 6.2 а, г, д) измеряют в лаве за посадочной крепью на расстоянии до 5 м перед бутовой полосой и в вентиляционных окнах, оставляемых в бутовой полосе или целиках, на расстоянии 15-20 м от лавы, при щитовой системе (рис. 6.2, з) – в погашаемой части вентиляционного штрека.

При искусственном охлаждении воздуха дополнительно производят замеры параметров воздуха перед воздухоохладителем и на расстоянии до 10 м от воздухоохладителя по ходу движения вентиляционной струи (рис. 6.1, точки 45 и 46).

Требования к выбору пунктов замеров в выработках, проветриваемых вентиляторами местного проветривания.

Пункты замеров располагают (рис. 6.1, узел 1):

– в свободном сечении выработки перед ВМП (пункт 52);

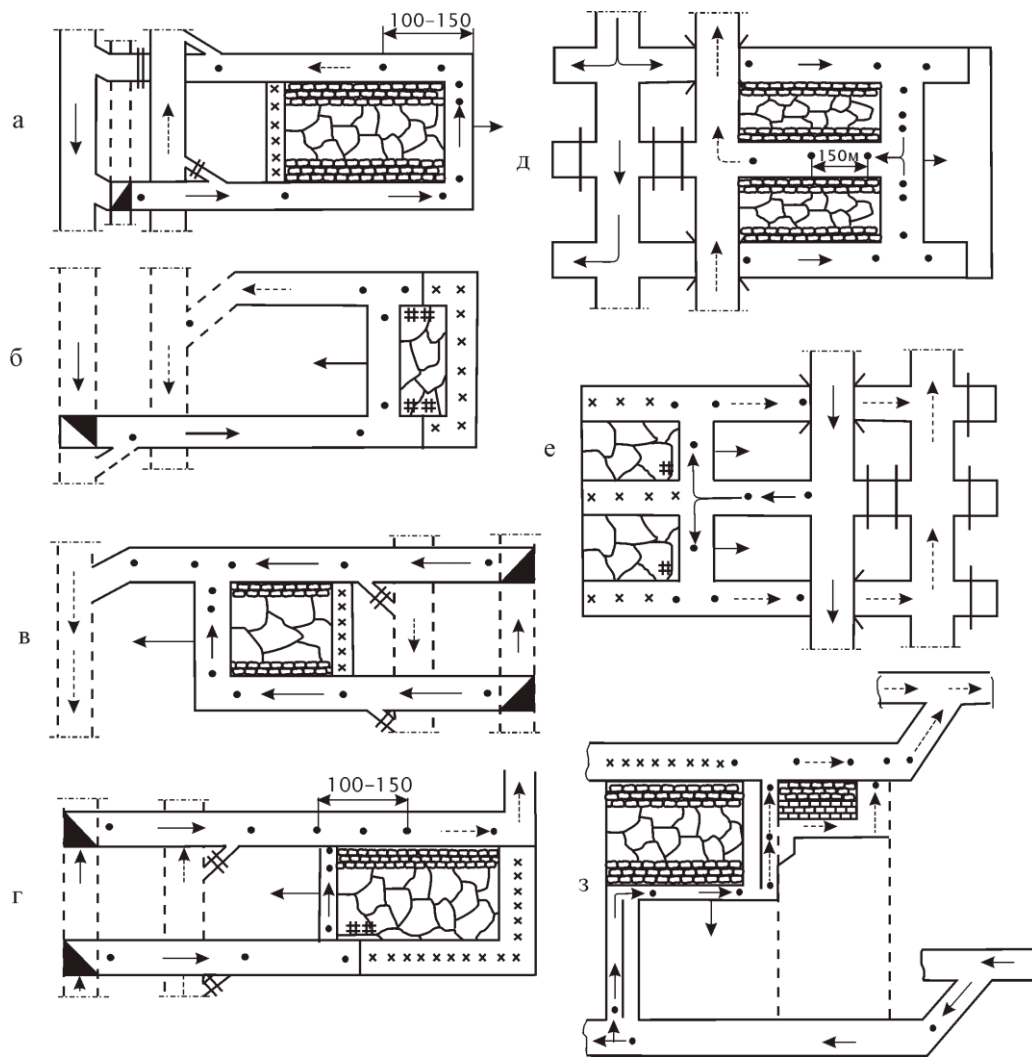


Рис. 6.2. Расположение пунктов замеров на выемочных участках при различных схемах проветривания:

*а* – возвратноточная с направлением исходящей струи в сторону выработанного пространства; *б* – то же в сторону целика; *в* – прямоточная с подсвежением исходящей струи со стороны выработанного пространства; *г* – то же со стороны целика; *д* – возвратноточная с направлением исходящей струи в сторону выработанного пространства при разработке спаренными лавами; *е* – то же в сторону целика; *з* – прямоточная на выработанное пространство при щитовой системе разработки

Условные обозначения: ● – пункт замера; —▶ – свежая струя воздуха; ---▶ – исходящая струя воздуха; |▶ – направление движения очистного забоя

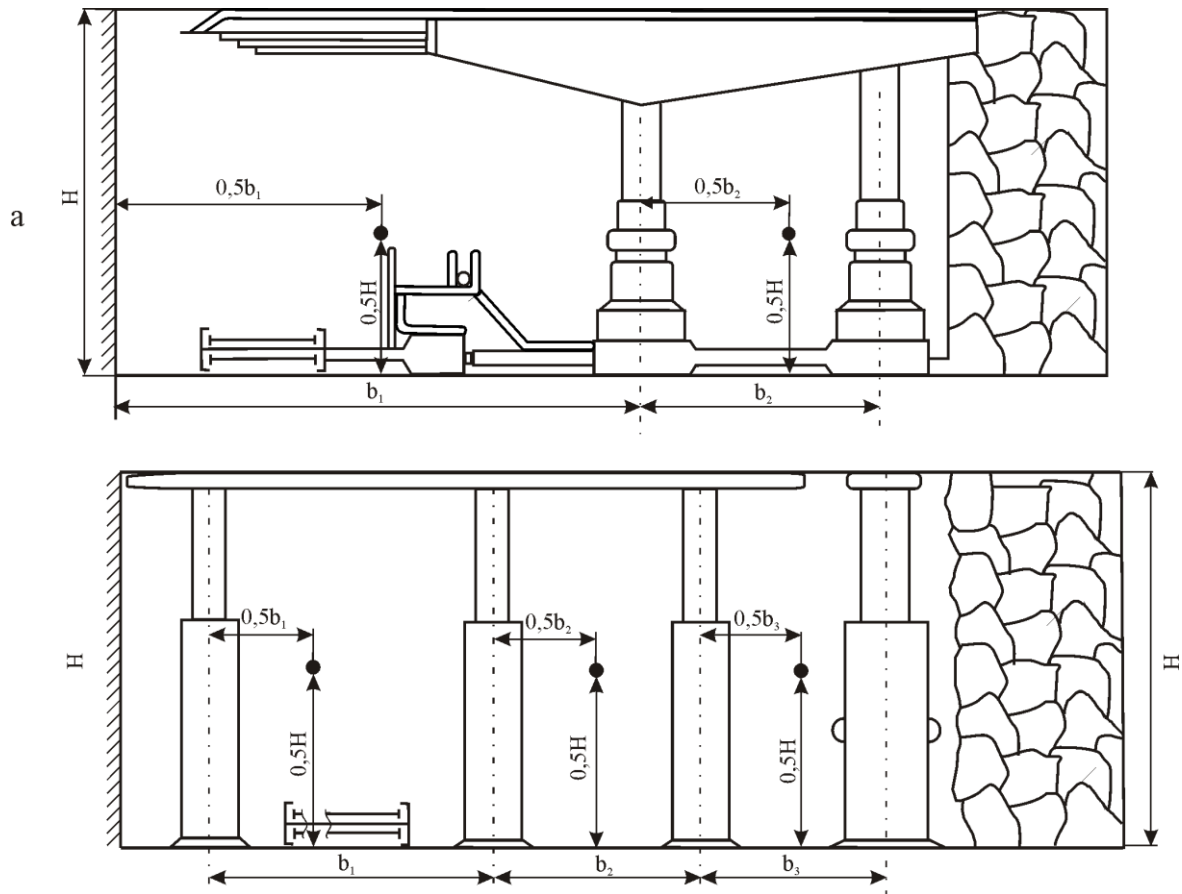


Рис. 6.3. Расположение пунктов замеров в сечении призабойного пространства лавы: *а* – в лаве с механизированной крепью; *б* – в лаве с индивидуальной крепью;  $b_1, b_2, b_3$  – ширина свободного сечения технологических дорог в лаве;  $H$  – высота свободного сечения технологических дорог

- в вентиляционном трубопроводе на расстоянии 5-10 м от ВМП (пункты 53 и 59);
- в вентиляционном трубопроводе на расстоянии до 5 м от устья выработки в сторону забоя (пункты 54 и 60);
- в вентиляционном трубопроводе на расстоянии до 1 м от его конца (пункты 55 и 63);
- в призабойном пространстве выработки на расстоянии 1-2 м от забоя (пункты 56\* и 64\*);
- в свободном сечении тупиковой выработки на расстоянии до 5 м от конца вентиляционного трубопровода в сторону устья (пункты 57 и 65);
- в свободном сечении тупиковой выработки на расстоянии до 5 м от конца вентиляционного трубопровода в сторону устья (пункты 57 и 65);
- в свободном сечении тупиковой выработки на расстоянии до 5 м от ее устья в сторону забоя (пункты 58 и 67).

\* Выполняются замеры только температуры воздуха по «сухому» и «мокрому» термометрам

Если тупиковая выработка имеет длину более 500 м, то производят дополнительно замеры температуры воздуха в трубопроводе и свободном сечении выработки через каждые 500 м. При наличии местного источника тепловыделения в выработке измеряют температуру воздуха в 5 м перед и в 10 м после него по ходу вентиляционной струи.

При искусственном охлаждении воздуха, подаваемого в забой выработки, предусматривают дополнительные пункты замеров:

- в вентиляционном трубопроводе в 5 м перед охлаждающим устройством (пункт 61);
- в вентиляционном трубопроводе в 5 м после охлаждающего устройства (пункт 62);
- в свободном сечении выработки, где установлено охлаждающее устройство (пункт 66).

Требования к выбору пунктов замеров в выработках при строительстве шахт.

В период проходки стволов пункты замеров располагают согласно схеме, приведенной на рис. 6.4, а:

- на поверхности вблизи вентиляторной установки (пункт 1);
- в вентиляционном трубопроводе на расстоянии до 5 м от устья ствола (пункт 2);
- в вентиляционном трубопроводе на расстоянии до 1 м от его конца (пункт 4);
- в призабойном пространстве ствола на уровне 1-2 м от забоя (пункт 5);
- на всех полках в раструбах бадейных проемов (пункты 6 и 7);
- в свободном сечении ствола на расстоянии 5 м ниже устья (пункт 8).

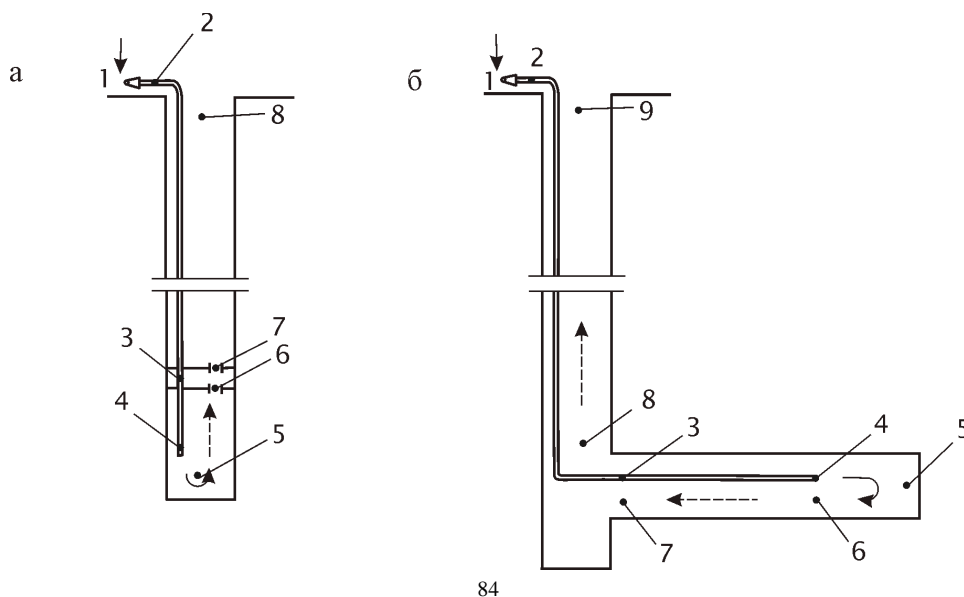


Рис. 6.4. Расположение пунктов замеров при проходке стволов:

*а* – в период проходки ствола; *б* – в период проходки сбойки между стволами;  
1-9 – пункты замера

При проходке глубоких стволов между устьем и верхним полком производят дополнительные замеры температуры воздуха через каждые 500 м. Кроме того, производят замеры температуры воздуха на уровне начала капежа воды.

В период проходки сбойки между стволами, проветриваемой с поверхности шахты, пункты замеров располагают согласно схеме, приведенной на рис. 6.4, б:

- на поверхности вблизи вентиляторной установки (пункт 1);
- в вентиляционном трубопроводе на расстоянии до 5 м от устья ствола (пункт 2);
- в вентиляционном трубопроводе у сопряжения сбойки со стволом (пункт 3);
- в свободном сечении ствола на расстоянии до 5 м выше сопряжения со сбойкой (пункт 8);
- в свободном сечении ствола на расстоянии 5 м ниже устья (пункт 9);
- в свободном сечении ствола на уровне капежа воды.

Пункты замеров в сбойке (пункты 4-7) располагают согласно требованиям для тупиковых выработок.

В период проходки выработок от «технологического кольца» или от воздухо-распределительной камеры пункты замеров при проветривании через одиночный ствол располагают согласно схемам, приведенным на рис. 6.5. Измерения производят во всех проходимых выработках, начиная с поверхности шахты.

Пункты замеров по стволу располагают согласно вышеизложенным требованиям, а при наличии в стволе двух трубопроводов замеры производят в каждом из них.

Между стволом и тупиковыми выработками измерения тепловлажностных параметров воздуха производят между ответвлениями вентиляционной струи в начале и конце всех выработок длиной более 50 м в соответствии с требованиями к выбору пунктов замеров в выработках, проветриваемых за счет общешахтной депрессии, а в более коротких выработках – только посередине.

В воздухо-распределительной камере замеры температуры воздуха производят в трех точках ее поперечного сечения, находящихся на одинаковом удалении друг от друга и боковых стенок, равном 0,25 ширины камеры и на высоте от почвы, равной 0,4 высоты камеры.

При замерах температуры воздуха в стволе замерщик, находящийся в проходческой бадье, должен держать психрометр, закрепленный на специальном шесте, последовательно с каждой из сторон бадьи.

Инструментальные наблюдения проводят в каждом замерном пункте маршрута. При этом измеряют геометрические размеры выработок, габариты оборудования, температуру и скорость вентиляционной струи, поверхности стенок объектов, находящихся в горной выработке (трубопроводы, машины и механизмы, транспортируемое ископаемое, шахтная вода в канавке).

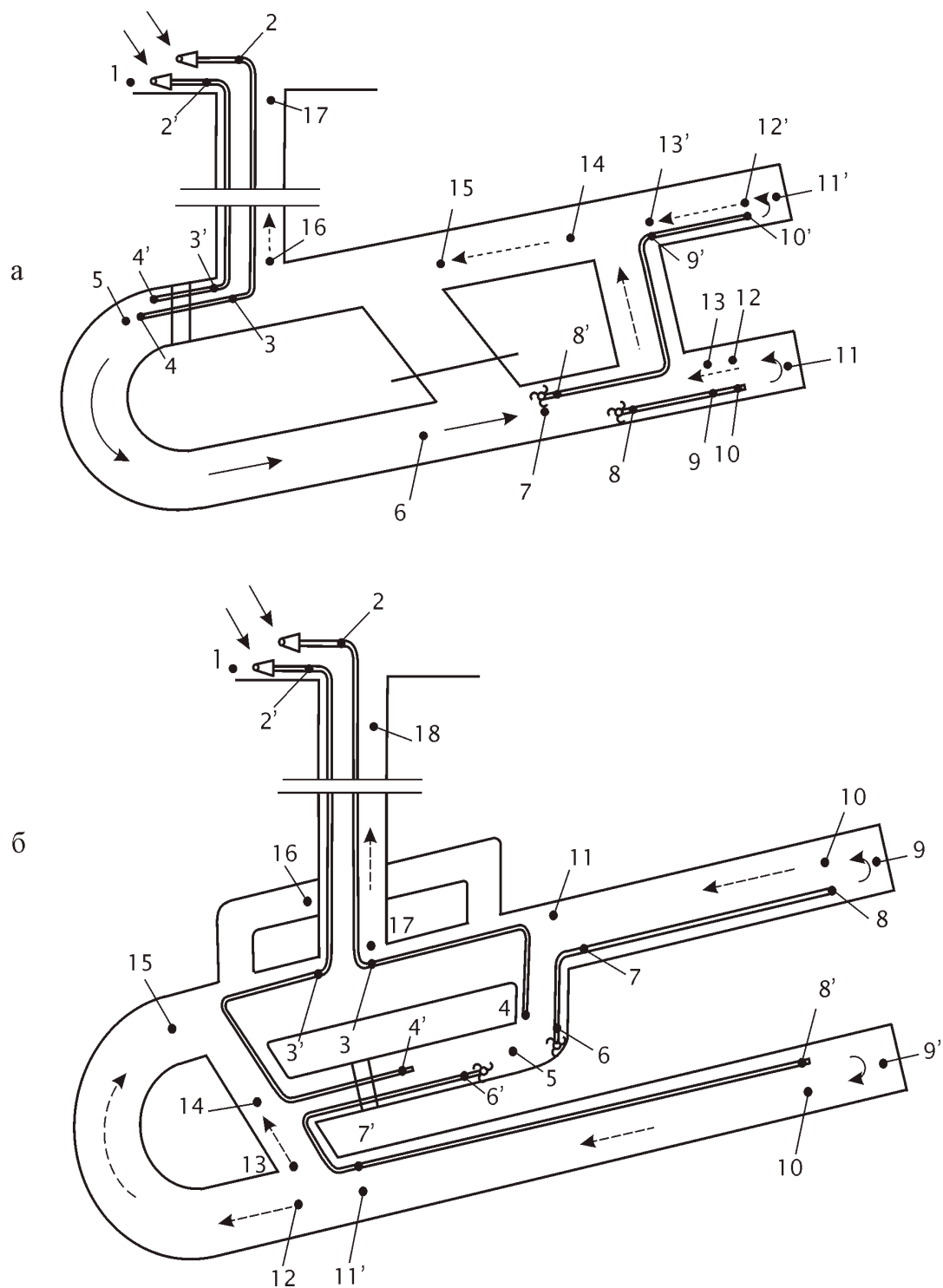


Рис. 6.5. Расположение пунктов замеров при строительстве шахт:  
*a* – при проветривании выработок от «технологического кольца»: 1 – на поверхности; 2-4, 2'-4', 8-10, 8'-10' – в вентиляционных трубопроводах; остальные – в свободном сечении выработок; *б* – при проветривании из воздухораспределительной камеры: 1 – на поверхности; 2-4, 2'-4', 6-8, 6'-8' – в вентиляционных трубопроводах; остальные – в свободном сечении выработки

Температуру рудничного воздуха ( $t$ ) измеряют с точностью до  $\pm 0,1$  °С ртутным или спиртовым термометрами с ценой деления не более  $0,2$  °С. Для определения амплитуды колебаний температуры воздуха за определенный период времени применяют минимальный и максимальный термометры, при исследовании температурного поля воздушного потока или массива – электро-термометры с термопарами или термосопротивлениями.

Минимальный термометр служит для измерения наиболее низкой температуры при ее колебаниях за определенный период. Пределы измерений от  $-55$  до  $30$  °С. Цена деления шкалы  $0,5$  °С, точность измерений  $\pm 0,25$  °С.

Максимальный термометр служит для измерения наиболее высокой температуры при ее колебаниях в заданный период. Пределы измерений от  $-30$  до  $60$  °С. Цена деления шкалы  $0,5$  °С, точность измерений  $\pm 0,25$  °С.

Относительную влажность воздуха ( $\varphi$ ) измеряют с точностью до  $0,01$  волосяным гигрометром (при  $t < -5$  °С) или психрометром аспирационным (при  $t > -5$  °С). Психрометр служит одновременно и для замеров температуры воздуха. Аспирационный психрометр типа МВ-4М состоит из двух термометров – «сухого» и «смоченного», которые крепятся в специальной рамке. Цена деления термометра  $0,2$  °С, точность измерений  $\pm 0,1$  °С. Пределы измерения температуры от  $-26$  до  $50$  °С. По измеренным значениям температуры определяют относительную влажность воздуха, пользуясь психрометрической диаграммой, или рассчитывают по формулам раздела I (формулы 3.9, 3.10).

Скорость воздуха ( $v$ ) измеряют анемометрами: крыльчатými, чашечными, дифференциальными и электронными типа АПР.

Крыльчатый анемометр типа АСО-3 используют в капитальных, подготовительных и очистных выработках для измерения скорости вентиляционной струи в пределах  $0,3-5,0$  м/с.

Чашечный анемометр МС-13 применяют при измерениях в стволах и выработках, где скорость воздушного потока более  $5,0$  м/с.

Дифференциальный анемометр применяют для измерения скорости воздушного потока от  $0,02$  до  $0,3$  м/с (в камерах и забоях подготовительных выработок).

Электронный анемометр типа АПР применяют для измерения скорости воздушного потока от  $0$  м/с до  $20$  м/с во всех выработках, включая вентиляционные трубопроводы.

Скорость воздуха в вентиляционных трубопроводах измеряют с помощью микроанометра типа ММН-240(5)-1,0 и воздухомерной трубки.

Для непрерывных измерений температуры, относительной влажности и давления воздуха применяют термографы, гигрографы и барографы, устанавливаемые в стационарных пунктах измерения.



Термограф метеорологический типа М-16 представляет собой самопишущий прибор для автоматической регистрации изменений температуры воздуха в пределах от  $-45$  до  $+55$  °С; точность измерений  $\pm 0,5$  °С. Имеются приборы двух типов: суточные типа М-16С с продолжительностью одного оборота барабана часового механизма 26 ч; недельные М-16Н с продолжительностью оборота барабана 176 ч. Изменения температуры воздуха регистрируют на диаграммной ленте.

Гигрограф метеорологический типа М-21 предназначен для записи изменений относительной влажности. Приборы изготавливают двух типов: суточные М-12С с продолжительностью одного оборота барабана часового механизма 26 ч; недельные М-21Н с продолжительностью оборота барабана 176 ч. Прибор обеспечивает запись измерений относительной влажности воздуха от 30 до 100% при температуре от  $-25$  до  $+45$  °С.

Барометр-анероид типа БАММ предназначен для измерения атмосферного давления от 800 до 1066 гПа при температуре от  $-10$  до  $+40$  °С, погрешность – не более 330 Па.

Барограф метеорологический типа М-22А предназначен для регистрации изменения атмосферного давления в пределах от 780 до 1060 гПа при температуре от  $-10$  до  $+45$  °С. Приборы изготавливают двух типов: суточные М-22АС с продолжительностью оборота барабана часового механизма 26 ч; недельные М-22АН с продолжительностью оборота барабана 176 ч.

Допускается использование при проведении тепловых съемок другой измерительной техники (отечественной и зарубежной), которая по своим характеристикам соответствует требованиям, предъявляемым к оборудованию и приборам в угольных шахтах.

### **6.2.2. Организация и методика выполнения тепловой съемки**

Маршрутные тепловые съемки выполняют в соответствии с составленным планом. В пункте замера производят обмер сечения выработки, измерение скорости движения воздуха, его температуры, температуры шахтной воды и других источников.

Бригада для маршрутных съемок должна состоять не менее чем из двух человек с распределением обязанностей между ними.

В журнале наблюдений для каждого пункта замеров необходимо фиксировать данные, характеризующие участок выработки между пунктами замеров, а именно: место замера (выработка, пикет), время замера, характеристику крепи, пород; обводненность и запыленность выработки, наличие оборудования, ре-

жим его работы. Результаты измерений записываются в рабочий журнал по форме, приведенной в приложении Г.

По геолого-маркшейдерским данным в журнал заносят сведения о сроке существования выработок, а для вертикальных выработок – и литологический состав окружающего горного массива.

*Методика выполнения измерений при тепловой съемке.* Измерения температуры и относительной влажности воздуха производят аспирационным психрометром в соответствии с инструкцией к прибору.

Во время выполнения замеров замерщик должен находиться с подветренной стороны вентиляционной струи по отношению к психрометру с тем, чтобы выделяемое им тепло не влияло на показания психрометра. При замерах психрометр располагают:

– в воздухоподающих стволах на расстоянии  $\sqrt{R}$  от стенки ствола. Измерения производят не менее чем в двух точках, расположенных на расстоянии  $R$  друг от друга по периметру ствола ( $R$  – радиус ствола);

– в вентиляционных стволах – при подходе к ним воздуха по одной выработке – аналогично воздухоподающему стволу, а при поступлении воздуха в ствол по нескольким выработкам число замерных точек увеличивают пропорционально их количеству;

– в выработках со свежей и исходящей струей – на расстоянии от стенки, равном 0,3 ширины выработки, и на высоте от почвы, равной 0,4 высоты выработки. Измерения производят в двух точках с каждой стороны выработки. В замерном сечении выработок после узла слияния вентиляционных потоков и в призабойных пространствах тупиковых выработок температуру измеряют в трех точках, находящихся на одинаковом удалении друг от друга и от боковых стенок, равном 0,25 ширины выработки, и на высоте от почвы, равной 0,4 высоты выработки;

– в конвейерных выработках со свежей или исходящей струей – в двух точках, расположенных в средней части свободного прохода между конвейером и стенкой выработки на высоте 0,3 и 0,5  $H$  от ее почвы. После узла слияния вентиляционных потоков температуру воздуха в замерном сечении измеряют в трех точках, расположенных в средней части свободного прохода на высоте 0,3, 0,5 и 0,7  $H$  от почвы выработки ( $H$  – высота выработки);

– в призабойных пространствах очистных забоев – на каждой технологической дороге в центре площади ее свободного сечения.

Значение температуры воздуха в сечении выработки принимают как среднеарифметическое из всех замеров.

Замеры температуры необходимо производить в промежутки времени, ко-

гда на исследуемом участке отсутствуют пульсирующие изменения параметров воздуха.

При наличии капежа в выработке психрометр размещают таким образом, чтобы исключить попадание воды на шарики термометров.

Температуру воздуха в воздухопроводах измеряют лабораторным термометром с ценой деления 0,1-0,2 °С во всех замерных точках.

При тепловых съемках среднюю скорость движения воздуха в свободном сечении выработки замеряют анемометрами (АСО-3, МС-13 или АПР-2) путем обвода сечения выработки.

Непосредственный замер средней скорости производят двумя способами: «перед собой» и «в сечении» (рис. 6.6).

Замеры способом «перед собой» производят при высоте выработки не более 2 м.

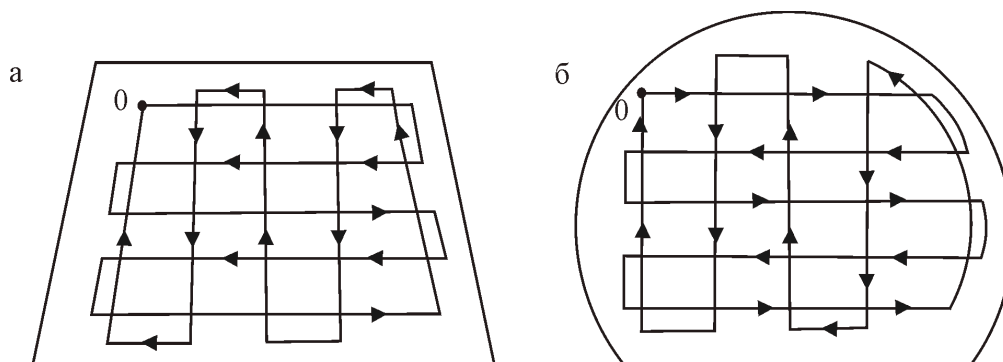


Рис. 6.6. Схема обвода поперечного сечения выработки анемометром: а – при замере способом «перед собой»; б – при замере способом «в сечении»

При замере скорости воздуха способом «в сечении» замерщик располагается спиной к стенке выработки и, перемещаясь равномерно, производит обвод сечения анемометром перед собой на вытянутой руке. В выработке большого сечения ( $S > 12 \text{ м}^2$ ) или в выработках, где замерщик непосредственно не может находиться (гезенки, стволы и т.п.), анемометр прикрепляют к шесту длиной 1,0-2,0 м и производят обычный обвод сечения.

Линии обводов сечения должны отстоять от стенок выработки на расстоянии 10-15 см. В каждом сечении производят не менее трех замеров. Если результаты замеров отличаются друг от друга более чем на 5%, измерения повторяют. При удовлетворительной сходимости результатов замера определяют среднее число делений шкалы анемометров в секунду по всем замерам.

По тарифовочному графику или формуле определяют среднюю скорость воздуха, соответствующую среднему числу делений.

При замере скорости воздуха анемометром типа АПР процесс замера упрощается, и, в зависимости от распределения воздушных потоков в месте замера по сечению выработки, длительность замера может длиться от 10 до 999 сек.

В каждом пункте замера скорости воздуха производят измерения линейных размеров сечения выработки рулеткой с точностью до 1 см.

Размеры сечения трапециевидной выработки в свету измеряют по верху ( $a$ ), по низу ( $b$ ) и по вертикали ( $H$ ) от почвы выработки до верхняка (рис. 6.7а).

В выработках со сводчатой формой сечения (рис. 6.7б) измеряют ширину выработки у пяты свода ( $a$ ) и почвы ( $b$ ), общую высоту выработки ( $H$ ) и от почвы до пяты свода ( $h$ ).

В выработках с арочной крепью (рис. 6.7в) измеряют максимальную ширину выработки ( $a$ ), ширину выработки по почве ( $b$ ) и максимальную высоту выработки ( $H$ ).

В выработках с полигональной формой (рис. 6.7г) измеряют ширину выработки по верху ( $a'$ ), у основания трапеции ( $a$ ) и по почве ( $b$ ), общую высоту выработки ( $H$ ) и малую высоту ( $h$ ).

При составлении эскиза поперечного сечения выработки необходимо фиксировать все размеры, необходимые для определения свободного сечения выработки (трубопроводы, вагоны и другие предметы, загромождающие сечение, глубокие канавки и т. п.).

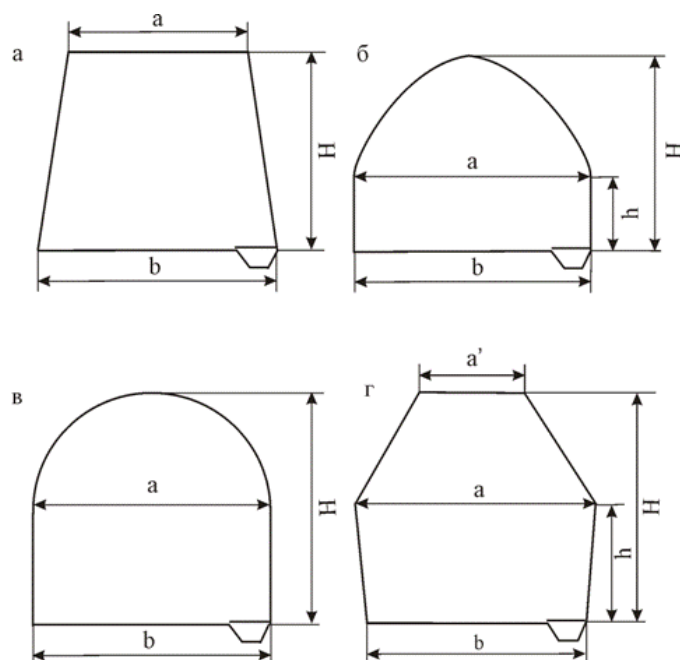


Рис. 6.7. Формы поперечного сечения выработок и их характерные размеры:  $a$  – трапециевидная;  $б$  – сводчатая;  $в$  – арочная;  $г$  – полигональная

Замер температуры воды в водосточных канавках производят в каждом замерном пункте. При наличии воды на почве выработки замер ее температуры производят при водном зеркале не менее 50 м<sup>2</sup>.

Измерения температуры воды производят лабораторным термометром с ценой деления 0,1-0,2 °С. Термометр выдерживают в воде 3-5 мин., после чего снимают показания, не извлекая термометр из воды.

На каждом замерном участке производят измерения длины и ширины водного зеркала на почве выработки и ширины канавки.

Если в выработке имеются трубопроводы, температура поверхности которых отличается от температуры воздуха более чем на 5 °С, то должна быть замерена температура их поверхности. Температуру измеряют лабораторным ртутным термометром при помощи встроенных в трубопроводы термогильз или накладных гильз.

### **6.2.3. Геотермические измерения**

Геотермические измерения служат для получения данных о естественной температуре горных пород на глубине расположения подземных выработок и определения величин геотермической ступени для данного шахтного поля или его части.

Данные геотермических измерений являются основанием для отнесения очистных и подготовительных выработок к шахтам и забоям с особо вредными и тяжелыми условиями труда согласно «Методике измерения температуры породного массива в угольных шахтах».

Для замера температуры пород и определения средних величин геотермической ступени на каждом крыле или горизонте шахты выбирают не менее двух действующих подготовительных тупиковых выработок. Забои этих выработок должны отвечать следующим требованиям: подвигаться со скоростью не менее 2 м/сутки; находиться вне зоны геологических нарушений; отстоять от лавы и других, ранее пройденных выработок, на расстоянии не менее 30 м; быть сухими и не иметь суффлярных выделений газов.

Для измерения естественной температуры горных пород бурят в выработке один шпур диаметром до 42 мм и длиной не менее 1,8 м. Бурение шпура необходимо производить в боковой стенке выработки перпендикулярно плоскости обнажения пород на расстоянии 2-5 м от поверхности забоя. Бурение шпуров выполняют как всухую, так и с промывкой с небольшим подъемом (3-10°) для лучшего выхода штыба и стекания воды. При проведении выработки по пласту шпур должен находиться на расстоянии не ближе 1 м от него.

Измерение температуры породного массива в шпурах производят максимальными ртутными термометрами с ценой деления не более  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , которые для предохранения их от механических повреждений помещают в оболочку из металла или пластмассы. Термометры помещают в шпур с помощью деревянной секционной штанги с уплотнителями из резиновых колец для предотвращения циркуляции воздуха по длине шпура (рис. 6.8). После извлечения термометра из шпура он не изменяет показаний в течение  $1,5 - 2,0$  мин, что достаточно для снятия отсчета температуры с точностью до  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

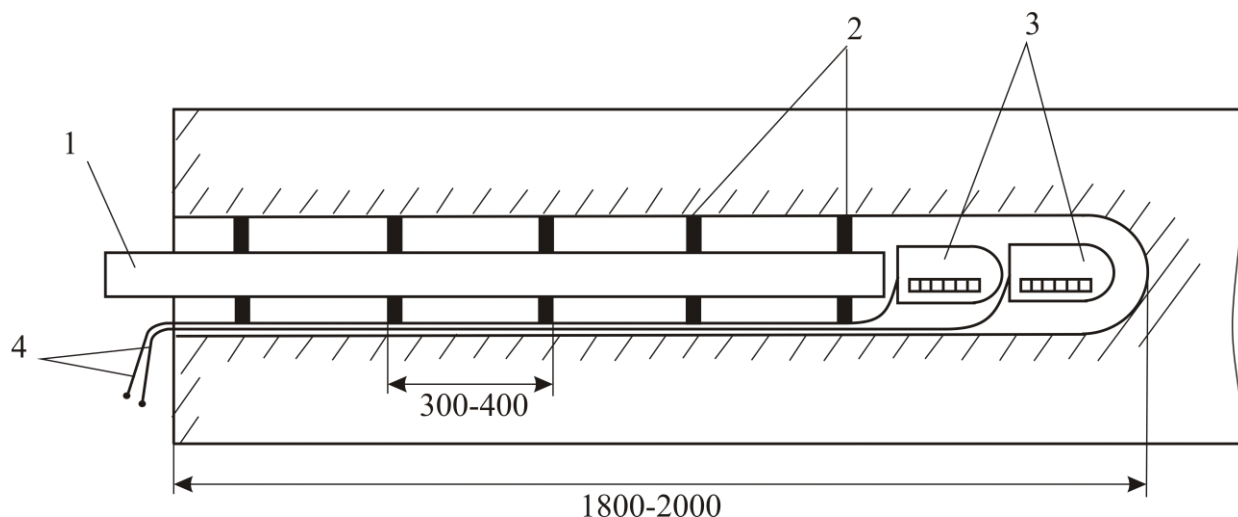


Рис. 6.8. Расположение приборов и приспособлений в шпуре при измерении температуры горных пород: 1 – секция разборного забойника; 2 – уплотнительные резиновые манжеты; 3 – термометр максимальный или с повышенной инерционностью в защитной гильзе; 4 – шнур

Температуру горных пород измеряют специально или в процессе проведения маршрутных тепловых съемок. При использовании любых термометров (максимальных или с повышенной инерционностью) шпуры после сухого бурения очищают от штыба и выдерживают открытыми в течение 12 ч, а после бурения с промывкой – в течение 6 ч. После выдержки шпура термометры вводят в него с помощью деревянной штанги. Для предотвращения конвекции и выравнивания температуры воздуха вдоль шпура на штангу одевают и крепят герметизирующие манжеты из микропористой резины (рис. 6.8). Термометры выдерживают в шпуре не менее 3 часов. Затем их поочередно извлекают из него с помощью прикрепленных к кольцам термометров шнуров.

#### 6.2.4. Обработка материалов тепловой съемки и геотермических измерений

Записи из рабочего журнала (приложение Г) обрабатывают. В этот же журнал по данным маркшейдерского отдела заносят сведения о дате (год, месяц) проведения выработки в соответствующем замерном пункте, которые необходимы для тепловых расчетов при определении расчетного времени проветривания выработок.

Барометрическое давление воздуха  $P$ , в Паскалях, вычисляют по формуле

$$P = P_0 + 12H, \quad (6.1)$$

Сечение выработки  $S$ , в метрах квадратных, определяют в зависимости от формы поперечного сечения (рис. 6.7) по формулам:

при трапециевидном сечении

$$S = \left( \frac{a+b}{2} \right) H; \quad (6.2)$$

при сводчатом сечении

$$S = \frac{a+b}{2} h + \frac{\pi a(H-h)}{4}; \quad (6.3)$$

при арочном сечении

$$S = \frac{a+b}{2} \left( H - \frac{a}{2} \right) + \frac{\pi a^2}{8}; \quad (6.4)$$

при полигональном сечении

$$S = \frac{a+b}{2} h + \frac{a+a'}{2} (H-h). \quad (6.5)$$

Объемный расход воздуха в пункте замера  $Q$ , в метрах кубических в секунду, рассчитывают по формуле

$$Q = v (S - \Delta S), \quad (6.6)$$

где  $v$  – скорость воздуха в пункте замера, м/с:

$$v = Kv_0, \quad (6.7)$$

$v_0$  – средняя скорость воздуха, определенная по замеру, м/с;  $K$  – поправочный коэффициент, учитывающий способ замера. При замере «перед собой»  $K=1,14$ , при замере на шесте длиной более 1,5 м  $K=1,0$ . При замере «в сечении»

$$K = \frac{S - 0,4 - \Delta S}{S - \Delta S}, \quad (6.8)$$

где  $\Delta S$  – площадь, занимаемая предметами, находящимися в замерном сечении выработки, м<sup>2</sup>.

Относительную влажность воздуха  $\varphi$ , в долях единицы, определяют по психрометрическим таблицам или рассчитывают по зависимости

$$\varphi = \frac{p_n}{p_n^t}, \quad (6.9)$$

где  $p_n$  – парциальное давление водяного пара во влажном воздухе, Па;  $p_n^t$  – парциальное давление насыщенного водяного пара при температуре по «сухому» термометру,  $t$ , Па, определяют по приложению Б;

$$p_n = p_n^{t_m} - 0,00066P(t - t_m), \quad (6.10)$$

где  $p_n^{t_m}$  – парциальное давление насыщенного водяного пара при температуре по «мокрому» термометру  $t_m$ , Па.

Массовый расход воздуха  $G$ , в килограммах в секунду, вычисляют по формуле

$$G = Q\gamma, \quad (6.11)$$

где  $\gamma$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$$\gamma = 3,484 \cdot 10^{-3} \frac{P - \varphi p_n^t}{273 + t}. \quad (6.12)$$

Влагосодержание воздуха  $d$ , в килограммах на килограмм сухого воздуха, рассчитывают по формуле

$$d = 0,622 \frac{\varphi p_n}{P - \varphi p_n}. \quad (6.13)$$



Энтальпию воздуха  $i$ , в Джоулях на килограмм, рассчитывают по формуле

$$i = i_c + i_n, \quad (6.14)$$

где  $i_c$  – энтальпия сухой части воздуха, Дж/кг;

$$i_c = 1005,0t; \quad (6.15)$$

$i_n$  – энтальпия водяных паров в воздухе, Дж/кг;

$$i_n = d(2501 + 1,87t). \quad (6.16)$$

Общий тепловой поток  $\Phi$ , в ваттах, в сечении выработки

$$\Phi = Gi. \quad (6.17)$$

Изменение общего теплового потока  $\Delta\Phi$ , в ваттах, на замерном участке

$$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = G(i_2 - i_1). \quad (6.18)$$

Изменение общего теплового потока  $\Delta\Phi_c$ , в ваттах, в явной форме на замерном участке

$$\Delta\Phi_c = G(i_{c_2} - i_{c_1}). \quad (6.19)$$

Изменение общего теплового потока  $\Delta\Phi_n$ , в ваттах, в скрытой форме на замерном участке

$$\Delta\Phi_n = G(i_{n_2} - i_{n_1}). \quad (6.20)$$

Геотермическую ступень для данного шахтного поля или его части  $\Gamma$ , в метрах на градус Цельсия, рассчитывают по формуле

$$\Gamma = \frac{t_n - t_{з.н.}}{H}, \quad (6.21)$$

где  $t_n$  – естественная температура пород в выработке, °С;  $t_{з.н.}$  – средняя температура земной поверхности геотермического участка, в пределах которого находится шахтное поле, °С.

Значения величины  $t_{з.н.}$  для шахт Донбасса приведены в приложении А.

При наличии данных о естественной температуре пород в нескольких выработках определяют среднее значение геотермической ступени для шахтного поля (крыла).

По результатам замеров и расчетов составляют подробную характеристику маршрута тепловых съемок. К каждому маршруту тепловых съемок прилагают схему цепи выработок с указанием на ней точек замера (рис. 6.1). Полученные результаты позволяют оценить тепловой режим выработок и проводить тепловые расчеты.

### 6.2.5. Анализ теплового баланса горных выработок и шахты

Тепловой баланс выработки (шахты) характеризует распределение количества тепла, воспринятого или отданного рудничным воздухом, проходящим по выработке (шахте), между различными источниками тепловыделения, участвующими в процессе тепломассообмена.

В общем случае тепловой баланс горной выработки может быть представлен в следующем виде:

$$\Sigma\Phi = \Phi_{г.м.} \pm \Phi_{сж(рс)} + \Phi_{м} + \Phi_{тр} + \Phi_{и} + \Phi_{в} + \Phi_{пр}, \quad (6.22)$$

где  $\Phi_{г.м.}$  – тепловой поток от горного массива, Вт;  $\Phi_{сж(рс)}$  – изменение потенциальной энергии потока при адиабатическом сжатии (расширении) воздуха, движущегося по вертикальным или наклонным выработкам, Вт;  $\Phi_{м}$  – тепловой поток от электрических машин, механизмов и оборудования, Вт;  $\Phi_{тр}$  – тепловой поток от трубопроводов, расположенных в выработке, Вт;  $\Phi_{и}$  – тепловой поток от транспортируемого ископаемого, Вт;  $\Phi_{в}$  – тепловой поток от воды в выработке, Вт;  $\Phi_{пр}$  – тепловые потоки от прочих источников (окисления, людей, светильников и др.), Вт.

В выработках одновременно действуют не все источники тепла. Для различных выработок шахты характерна собственная структура теплового баланса. Например, в тепловом балансе вертикальных и наклонных стволов участвуют сжатие (расширение) воздуха, теплообмен с горным массивом, трубопроводами и шахтной водой.

Изменение потенциальной энергии при сжатии (расширении) воздуха  $\Phi_{сж(рс)}$  вычисляют по формуле

$$\Phi_{сж(рс)} = 9,81L \cdot \sin\psi \cdot G, \quad (6.23)$$

где  $L$  – длина выработки, м;  $\psi$  – угол наклона выработки, град.

Тепловой поток от трубопроводов определяют по формуле

$$\Phi_{mp} = \kappa_{mp}(t_{mp} - t_{cp})\pi d_n L_{mp}, \quad (6.24)$$

где  $\kappa_{mp}$  – коэффициент теплопередачи трубопровода, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  $t_{mp}$  – средняя температура поверхности трубопровода, °С;  $t_{cp}$  – средняя температура воздуха в выработке, °С;  $d_n$  – наружный диаметр трубопровода, м;  $L_{mp}$  – длина трубопровода, м.

Тепловой поток от горного массива определяют как разность между изменением общего теплового потока на замерном участке и суммой тепловых потоков от других источников:

$$\Phi_{z.m.} = \Delta\Phi \pm \Phi_{сж(рс)} - \Phi_{тр} \quad (6.25)$$

или

$$\Phi_{z.m.} = \kappa_{\tau}(t_n - t_{cp})UL, \quad (6.26)$$

где  $\kappa_{\tau}$  – коэффициент нестационарного теплообмена, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  $U$  – периметр выработки, м.

Значения коэффициентов  $\kappa_{\tau}$ ,  $\kappa_{mp}$  и других составляющих теплового баланса выработки в уравнении (6.22) определяют по формулам, приведенным в разделе II.

По результатам обработки материалов тепловых съемок выполняют анализ теплового баланса горных выработок, который позволяет определять направление и интенсивность процессов тепло- и массообмена, распределение источников тепла и влаги по пути движения вентиляционной струи. На основании такого анализа и тепловых расчетов разрабатывают горнотехнические мероприятия по улучшению теплового режима выработок шахты и устанавливают необходимость применения искусственного охлаждения воздуха для обеспечения нормальных климатических условий в рабочих забоях шахты.

### 6.3. Нормы шахтного микроклимата

Нормативы климатических условий для рабочих мест устанавливают в результате непосредственного наблюдения за состоянием людей, выполняющих физическую работу при различных соотношениях температуры, относительной влажности и скорости воздушной струи. В результате, при одновременном контроле терморегуляции организма различными физиологическими методами, устанавливается верхний предел допустимых метеорологических условий в

шахте, при которых возможна нормальная работа. При этом следует отметить, что нормативы климатических условий в разных странах различны. Это обусловлено как отличиями в методике измерения климатических условий, так и разными критериями оценки производительности труда при различных соотношениях метеорологических факторов. Имеет также значение и географический фактор. Горняки, например, жарких стран быстрее привыкают к повышенной температуре шахтной атмосферы и лучше ее переносят.

Человеческое тело отдает тепло окружающему воздуху посредством теплопроводности, конвекции, излучения, испарения, а также через легкие и дыхательные пути. Количество тепла, выделяемое теплопроводностью и конвекцией, зависит от разности температур тела и окружающего воздуха, а также от скорости воздушной струи. Чем больше разность температур и скорость воздушной струи, тем больше тепла отдает тело.

Наибольшее количество тепла выделяется в результате испарения (рис. 6.9). Интенсивность испарения зависит от относительной влажности и скорости воздушной струи. Чем выше температура окружающего воздуха, тем большее значение имеет испарение.

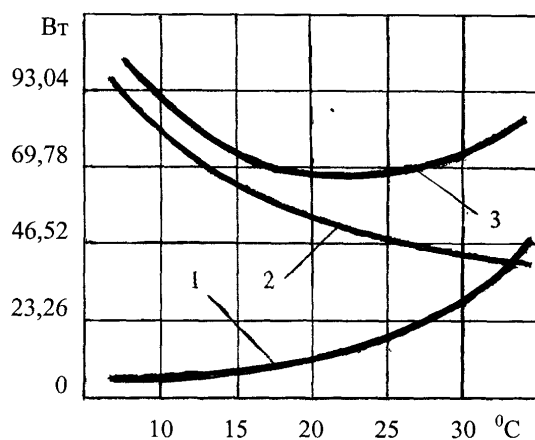


Рис. 6.9. Влияние температуры окружающего воздуха на способ теплоотдачи человеческого тела: 1 – испарением; 2 – излучением, конвекцией, теплопроводностью; 3 – суммарная теплоотдача

Нормальная температура человеческого тела составляет  $T_m \approx 37 \pm 0,5^\circ \text{C}$ . При повышении температуры тела до  $T_m = 40^\circ \text{C}$  возникает тепловой удар, при  $T_m = 43^\circ \text{C}$  наступает смертельный исход. В качестве критерия оценки теплового состояния человека наиболее информативными признаками является ректальная температура и частота сердечных сокращений. Верхней границе предельно допустимого теплового состояния человека при средней тяжести труда и про-

должительности теплового воздействия не более трех часов за рабочую смену соответствует ректальная температура  $37,8^{\circ}\text{C}$  и увеличение частоты сердечных сокращений на 38 ударов в минуту.

В Украине нормы шахтного микроклимата, при которых обеспечивается отвод теплоты от организма человека в окружающую среду, регламентируются «Правилами безопасности в угольных шахтах». Нормы характеризуются сочетанием тепловыделений организма человека в процессе труда, зависящих от физической нагрузки, и отвода теплоты от организма в окружающую среду. Верхние пределы температуры воздуха на рабочих местах установлены в зависимости от относительной влажности и скорости воздуха и приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Предельно допустимые параметры микроклимата в горных выработках

Скорость воздуха, м/с	Допустимая температура, $^{\circ}\text{C}$ , при относительной влажности, %		
	75 и менее	76-90	свыше 90
до 0,25	24	23	22
0,26-0.50	25	24	23
0,51-1,00	26	25	24
1,01 и более	26	26	25

Наряду с нормами микроклимата, приведенными в табл. 6.1, действуют также нормы, содержащиеся в «Санитарных правилах для предприятий угольной промышленности» (табл. 6.2), и регламентирующие диапазоны предельных значений температур воздуха на постоянных рабочих местах в зависимости от влажности, скорости движения воздуха и категории работ.

Однако этими Санитарными правилами не определены допустимые температуры при скорости воздуха и относительной влажности соответственно более 2,0 м/с и 95%.

На рабочих местах, где невозможно обеспечить допустимые значения шахтного микроклимата, продолжительность рабочего времени должна соответствовать требованиям ДСП 3.3.1.095-02.

При временных превышениях допустимых температур воздуха на рабочих местах допускается выполнение работ при повышенных температурах (ликвидация нарушений проветривания, осуществление горнотехнических мероприятий по улучшению климатических условий в шахте, на участке, в выработке и др.). При этом превышение температуры воздуха выше допустимой Правилами

безопасности учитывается коэффициентом снижения нормы выработки. Значения поправочных коэффициентов к нормам выработки для различных рабочих мест приведены в табл. 6.3.

Таблица 6.2

Нормированные величины температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в подземных выработках угольных шахт

Категория работ	Общие энергозатраты, ккал/кг (Вт)	Скорость воздуха, м/с	Допустимая температура воздуха*(°С) при относительной влажности воздуха, %			
			до 75		75 и более	
			нижняя граница	верхняя граница	нижняя граница	верхняя граница
I (лёгкая)	не более 150 (не более 174)	до 0,25	21	26	20	25
		0,25-0,5	22	26	21	25
		0,51-1,0	23	26	22	25
		1,01 - 2	24	26	23	25
II (средней тяжести)	151-250 (175-290)	до 0,25	19	25	18	24
		0,25-0,5	20	25	19	24
		0,51-1,0	21	26	21	25
		1,01 - 2	22	26	22	25
III (тяжёлая)	более 250 (более 290)	до 0,25	17	24	16	23
		0,25-0,5	18	24	17	23
		0,51-1,0	20	25	19	24
		1,01 - 2	21	25	21	24

\*В глубоких шахтах, которые характеризуются значительным избытком тепла, допускается повышение верхней границы температуры воздуха на 3 °С, но не более +26 °С.

Таблица 6.3

Значения поправочных коэффициентов к нормам выработки для различных рабочих мест

Место работы	Превышение температуры воздуха сверхдопустимой, °С			
	1 – 3,0	3,1 – 5,0	5,1 – 7,0	7,1 – 9,0
Очистные и подготовительные забои	0,95	0,90	0,85	0,75
Очистные забои при выемке угля отбойными молотками	0,95	0,90	0,80	0,65

За рубежом преимущественное распространение получил иной подход к нормированию шахтного микроклимата. Суть его состоит в том, что нормативные параметры воздуха связываются с продолжительностью рабочей смены, тяжестью физического труда и другими факторами, определяющими тепловое состояние горнорабочих. Таковыми являются немецкие и чешские нормы шахтного микроклимата. Так, в Германии, например, при достижении температуры воздуха по сухому термометру  $28\text{ }^{\circ}\text{C}$  продолжительность рабочей смены снижается до 6 ч, а при достижении  $29\text{ }^{\circ}\text{C}$  – до 5 часов. При достижении базисной эффективной температуры  $32\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 6.10) регулярные работы на участке должны быть остановлены.

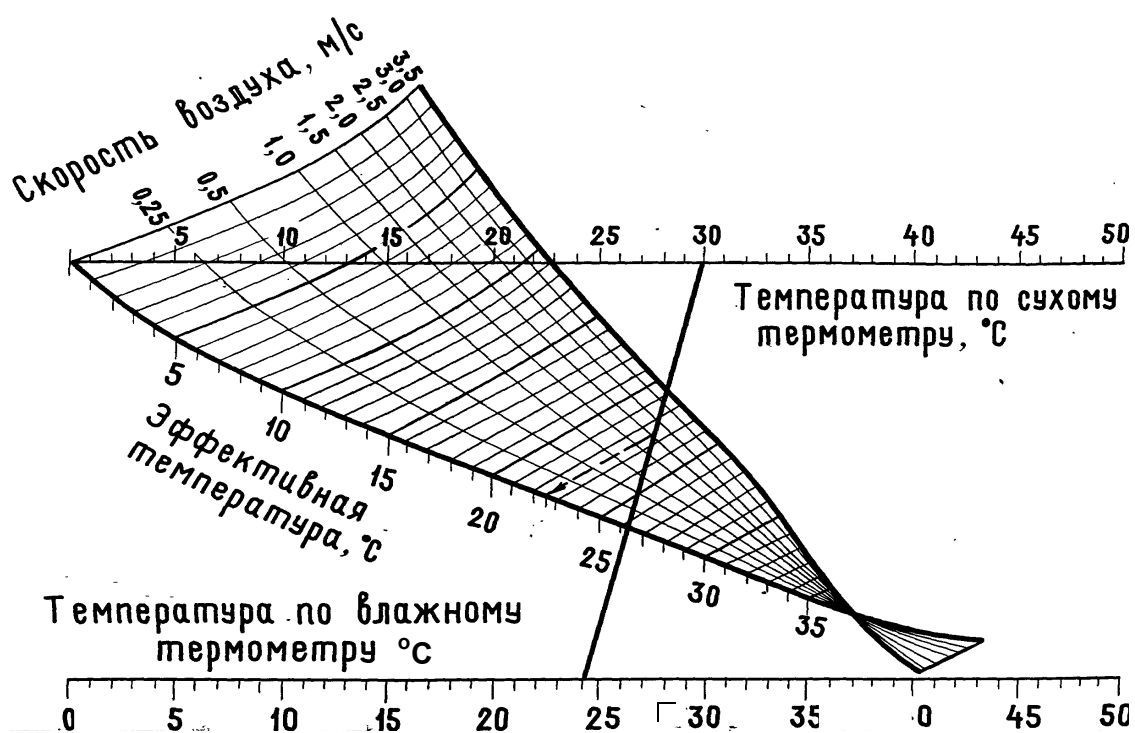


Рис. 6.10. Шкала базисной эффективности температуры

Другие известные нормы шахтного микроклимата менее разработаны, чем немецкие и чешские. Так, в Бельгии предельная температура воздуха составляет  $30 - 31\text{ }^{\circ}\text{BT}$  и определяется по сухому ( $t_c$ ) и мокрому ( $t_m$ ) термометрам по формуле

$$t = 0,1t_c + 0,9t_m\text{ }^{\circ}\text{BT}. \quad (6.27)$$

Во Франции предельное значение температуры воздуха составляет  $t_{\phi} \leq 28\text{ }^{\circ}\text{FT}$  и определяется по формуле

$$t = 0,3t_c + 0,7t_m - v \text{ } ^\circ\text{FT}, \quad (6.28)$$

где  $v$  – скорость воздуха, м/с.

В Польше при  $t_c > 26 \text{ } ^\circ\text{C}$  норма выработка шахтера снижается на 4%, при  $t_c \geq 28 \text{ } ^\circ\text{C}$  продолжительность смены сокращается до 6 часов, а при температуре  $33 \text{ } ^\circ\text{C}$  разрешено ведение только аварийных работ.

В Новой Зеландии нормируется температура воздуха по мокрому термометру. При  $t_m > 23,3 - 23,8 \text{ } ^\circ\text{C}$  продолжительность рабочей смены сокращается до 6-7 часов.

В Нидерландах предельная температура воздуха составляет  $t_c \leq 30 \text{ } ^\circ\text{C}$ , в Японии  $t_c \leq 37 \text{ } ^\circ\text{C}$ . В Италии при температуре воздуха  $t_c > 32 - 35 \text{ } ^\circ\text{C}$  продолжительность рабочей смены сокращается до 5 часов.

Сравнительный анализ норм шахтного микроклимата различных стран показал, что наиболее благоприятными являются нормы, принятые в бывшем СССР, и используемые в настоящее время в Украине (рис. 6.11).

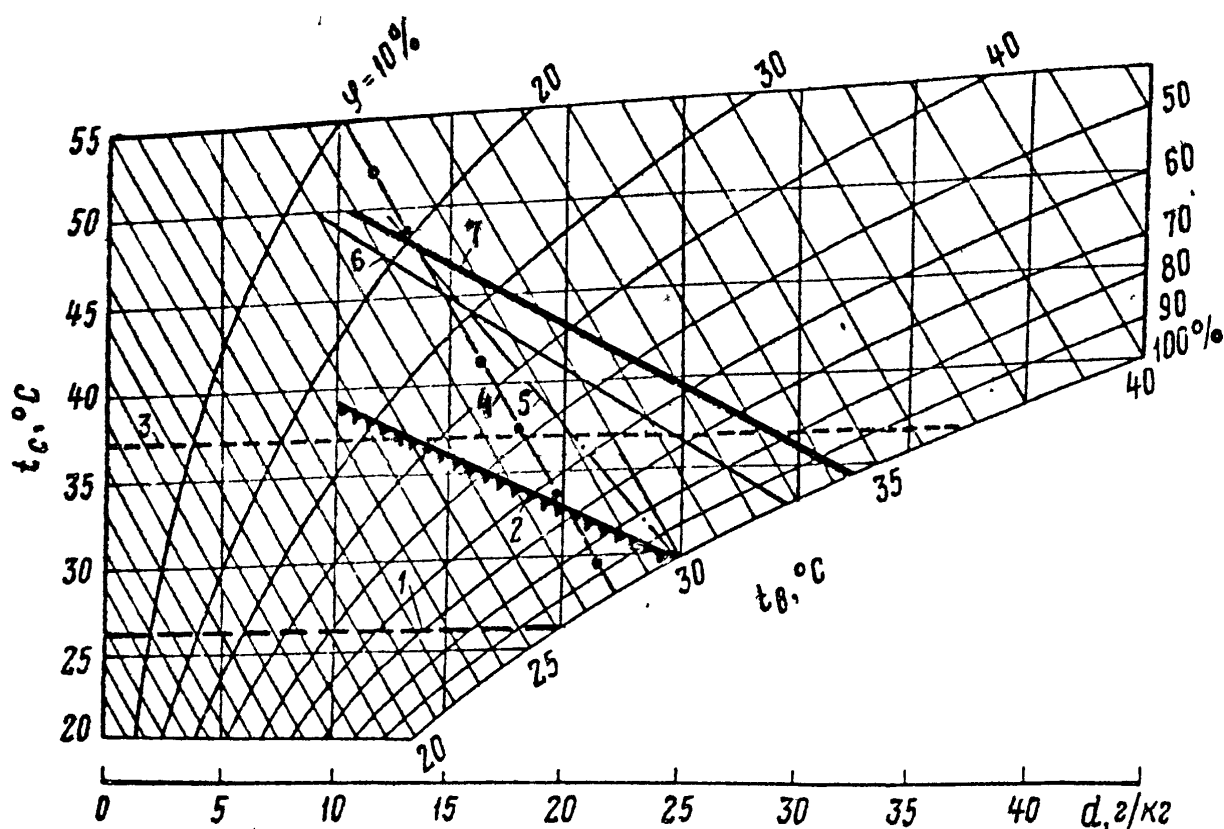


Рис. 6.11. Сравнение предельных норм шахтного микроклимата на рабочих местах в различных странах: 1 – Украина; 2 – Чехия; 3 – Япония; 4 – ФРГ (соль, руда); 5 – Бельгия; 6 – ФРГ (уголь,  $v = 0,5 \text{ м/с}$ ); 7 – ФРГ (уголь,  $v = 3 \text{ м/с}$ )



## **Раздел 7. Тепловые условия в глубоких шахтах Донецкого бассейна**

### **7.1. Характеристика и особенности формирования теплового режима в горных выработках шахт, разрабатывающих пологие и наклонные пласты**

#### **7.1.1. Горнотехнические характеристики глубоких шахт**

Пологие и наклонные угольные пласты на глубинах более 600м отрабатываются более чем на 100 шахтах 16 государственных объединений (ГО) украинского Донбасса: «Донецкуголь», «Макеевуголь», «Октябрьуголь», «Красноармейскуголь», «Селидовуголь», «Добропольеуголь», «Шахтерскантрацит», «Горезантрацит», «Луганскуголь», «Стахановуголь», «Первомайскуголь», «Лисичанскуголь», «Донбассантрацит», «Антрацит», «Ревенькиантрацит», «Свердловантрацит».

По условиям залегания пластов площадь месторождения условно разделена на районы. Восточный район включал 49 антрацитовых шахт, из которых 26 глубокие, в том числе 18 негазовых. Благоприятные природные условия определили горнотехнические характеристики шахт. В частности, на шахтах района вскрытие шахтных полей производилось наклонными стволами. Для отработки глубоких горизонтов действующих шахт вскрытие осуществлялось дополнительно вертикальными стволами. Проветривание шахт осуществляется по центральной, фланговой и комбинированной схемам проветривания. На шахтах преимущественно применяется этажная схема подготовки, на 4 глубоких шахтах применена панельная подготовка. Погоризонтная схема применяется только при подготовке на глубоких горизонтах отдельных блоков и панелей.

При этажной подготовке этаж делится на 2-3 подэтажа с наклонной высотой от 250 м до 500 м и длиной лав от 150 до 250 м. Размеры крыльев при этом составляют от 1,0 км до 2,5 км. Оработка пластов ведется от стволов к границам шахтного поля в восходящем порядке, подэтажи отрабатываются в восходящем порядке. Этажная схема подготовки предопределяет ведение горных работ по комбинированной системе разработки с преобладанием сплошной.

При панельной подготовке шахтное поле делится на 2-3 панели с отработкой выемочных полей панельными бремсбергами и уклонами. Порядок отработки панелей прямой. Панели отрабатываются в нисходящем порядке столбовой системой разработки ярусами с наклонной высотой 150-200 м. Схемы проветривания выемочных участков в основном возвратноточные на угольный массив.

В последние годы при разработке проектов глубоких шахт восточного Донбасса применяется блоковая схема вскрытия и подготовки шахтных полей с комбинированной и фланговой схемами проветривания. Размеры панелей при блоковой схеме подготовки на шахтах принимаются не более 2,5 км по простиранию, что позволяет для глубоких горизонтов сократить пути движения свежего воздуха к рабочим забоям (лавам), увеличить расход воздуха на выемочных участках.

На антрацитовых шахтах широко применяется комплексная механизация очистных работ (от 75% до 100%). Тип оборудования в лавах определяется мощностью разрабатываемых пластов. На выемочных участках, по уклонам и бремсбергам, применяется конвейерная транспортировка ископаемого, по групповым горизонтальным выработкам - электровозная откатка.

В северо-восточный и западный районы Донбасса входило 166 газовых шахт, разрабатывающих пологие (90%) и наклонные пласты, в том числе 93 шахты с ведением горных работ на глубинах более 600 м.

Вскрытие шахтных полей осуществлено вертикальными стволами и только на 7 шахтах западного района (ГП «Шахтерскантрацит», «Торезантрацит», «Селидовуголь») и 6 шахтах северо-восточного района (ГП «Первомайскуголь», «Луганскуголь») вскрытие произведено наклонными стволами или комбинированным способом. Проветривание шахт осуществляется по комбинированной (66%), фланговой (23%) и центральной (11%) схемам.

Подготовка шахтных полей на глубоких горизонтах осуществляется по панельной схеме, а при углах залегания пластов до 10 – по погоризонтной схеме. Только на отдельных шахтах ГО «Донецкуголь», «Торезантрацит» и «Шахтерскантрацит» на глубоких горизонтах (до 900 м) применяется этажная схема подготовки. Более чем на 20 глубоких шахтах применяется смешанная схема подготовки, что связано с изменением горно-геологических условий залегания угольных пластов.

Размеры шахтных полей изменяются в широком диапазоне: от 3,5 км по простиранию и 2,0 км по падению, до 7 – 9,0 км по простиранию и до 4,0 км по падению. Размеры панелей по простиранию пластов составляют 2 – 3,0 км, по падению - 0,6 – 1,2 км. При этажной подготовке размеры крыльев шахтного поля составляют 1,6 – 2,5 км. При погоризонтной схеме с отработкой столбов по восстанию размеры шахтных полей те же, что и при панельной подготовке. На новых глубоких шахтах («Южно-Донбасская» №3, «Ждановская-Капитальная» №1, «Центральная-Новая», «Добропольская – Капитальная» и др.) размеры блоков по простиранию увеличены до 3,5 – 4,5 км и по падению – до 1,8 км.

Порядок отработки шахтных полей прямой, отработка запасов производится в нисходящем порядке по падению. Отработка пластов осуществляется по столбовой и комбинированной системам разработки. На отдельных шахтах применяется сплошная система разработки, а также в случаях обеспечения зоны разгрузки при проведении полевых общешахтных выработок. Длина лав составляет от 140 м до 250 м, преимущественно же лавы имеют длину 170-200 м.

Схемы проветривания выемочных участков на газовых шахтах определяются системой разработки, однако в последние годы наметилась тенденция к применению схем проветривания с разбавлением вредностей по источникам их поступления.

На газовых шахтах широко применяется механизация процессов добычи угля, особенно на вновь вводимых глубоких горизонтах. Уровень комплексной механизации на шахтах северо-восточного района составлял 25-75 %, на шахтах западного района уровень механизации выше и составляет 40-100%. Типы применяемого в лавах оборудования зависят от мощности и угла падения пласта. Управление горным давлением в лавах осуществляется преимущественно полным обрушением кровли и только на отдельных участках 2-3 шахт применяется плавное опускание кровли.

Транспортировка угля в пределах выемочных участков по наклонным и горизонтальным общешахтным выработкам осуществляется аналогично шахтам восточного района Донбасса, в том числе и по применяемому оборудованию.

Геотермические условия разработки угольных пластов на шахтах западного района Донбасса более тяжелые, чем в восточной части. Температура горных пород на достигнутых глубинах составляет 40 – 50°С, что обуславливает высокие температуры воздуха в рабочих забоях, которые в лавах наиболее глубоких шахт достигли значений 32 ÷ 38°С.

Всего на глубоких шахтах Донецкого бассейна, разрабатывающих пологие и наклонные пласты, общее количество рабочих забоев с температурой воздуха, превышающей допустимые правилами безопасности нормы в 2010 г. в сравнении с 1992 г. (около 750 забоев: 180 очистных и 515 подготовительных), уменьшилось в 2,8 раза, что связано со значительным снижением объема добычи угля (до 75 млн.т.) и количества очистных забоев.

### **7.1.2. Классификация глубоких шахт по горнотехническим условиям разработки**

По схемам вскрытия, способам подготовки и схемам проветривания шахтных полей, применяемым системам разработки угольных пластов и схемам про-

ветривания выемочных участков, влияющих на формирование тепловых условий в выработках и рабочих забоях, глубокие шахты украинского Донбасса можно сгруппировать в несколько технологических моделей. Для антрацитовых шахт восточного района Донбасса характерны две технологические модели.

*Технологическая модель № 1.* Вскрытие шахтного поля осуществляется двумя или тремя центрально расположенными наклонными воздухоподающими стволами и фланговыми наклонными или вертикальными вентиляционными стволами или скважинами. Нижние горизонты вскрыты ступенчатыми уклонами. На всех этих шахтах применяется этажная подготовка со сплошной и комбинированной системами разработки. Выемочные участки проветриваются по возвратноточной и прямоточной на выработанное пространство схемам проветривания (1а, 1б). При отработке отдельных подэтажей возможно применение схем проветривания с подсвежением со стороны угольного массива (схема 4б).

*Технологическая модель №2.* Для шахт, отнесенных к этой модели, характерно вскрытие центрально расположенными вертикальными стволами, служащими для подачи воздуха, подъема ископаемого, спуска-подъема рабочих, и одним или несколькими отнесенными стволами, служащими для целей вентиляции. Угольные пласты на основных откаточных горизонтах вскрыты квершлагами.

Подготовка шахтных полей панельная. С основных групповых выработок, которые могут быть полевыми или пластовыми, проводятся бремсберги и уклоны в сочетании со сплошной и столбовой системами разработки. Порядок отработки шахтного поля прямой, отработка запасов в панели производится в нисходящем порядке по простирацию от границ панели к наклонным выработкам. На флангах панелей могут проходить вентиляционные сбойки для выдачи исходящей с участков вентиляционной струи и поддержания повторно используемых ярусных штреков. Проветривание выемочных участков осуществляется по возвратноточной на массив угля (схема 2а) и прямоточной на выработанное пространство с подсвежением со стороны целика (схема 4б) схемам проветривания.

К технологической модели №1 относятся также 6 шахт северо-восточного района (шахты им. Капустина, им. 60 лет Советской Украины, «Привольнянская», «Новодружеская», им. Косиора, им. Артема) и 7 шахт западного района Донбасса («Ударник», им. 17 партсъезда, им. 1 Мая, № 10 и № 42 Шахтоуправления «Кураховское», «Октябрьская»). По второй технологической модели ведут горные работы преобладающее большинство шахт северо-восточного и западного районов Донбасса.

*Технологическая модель №3.* В 70-е годы были разработаны проектные

решения и осуществлено строительство новых шахт и глубоких горизонтов по технологической модели, в которой применена блоковая схема вскрытия шахтного поля вертикальными стволами с погоризонтной и комбинированной схемами подготовки блоков, фланговой или секционной схемами проветривания. Системы разработки столбовые по простиранию при панельной подготовке и восстанию – при погоризонтной схеме подготовки. Размеры блоков по простиранию составляют 2,5-3,5 км и по падению до 1,6 км. Проветривание выемочных участков осуществляется по схемам проветривания с обособленным разбавлением вредностей по источникам их поступления (схема 4б). При проведении разгрузочных лав под капитальными наклонными выработками применяются сплошные системы разработки с проветриванием участков по возвратной на выработанное пространство схеме проветривания (схема 1а). По этой технологической модели ведут разработку более 30 глубоких шахт Донецкого бассейна.

### **7.1.3. Количественная оценка влияния горнотехнических параметров горных работ на формирование тепловых условий в выработках различного назначения**

Для исследования влияния горнотехнических параметров разработки на формирование тепловых условий в горных выработках проводились маршрутные тепловые съёмки на глубоких шахтах Донбасса, разрабатывающих пологие и наклонные пласты по технологическим моделям, эффективным по тепловому фактору. Такой моделью для Донбасса является третья технологическая модель, описанная в подразделе 7.1.2. При выборе шахт для тепловых съёмок учитывалась глубина работ, горно-геологические условия разработки, схема вскрытия и системы разработки, схемы проветривания выемочных участков, технические параметры выработок, способы управления кровлей. В свете этих требований экспериментальные исследования были проведены на шахтах им. Челюскинцев, им. Калинина, «Трудовская», "Южно-Донбасская" №3 ГП «Донецкуголь», «Шахтёрская-Глубокая» ГП «Шахтёрскантрацит», им. А.Стаханова ПО «Красноармейскуголь». Тепловые съёмки в шахтах выполнялись в соответствии с требованиями нормативных документов.

Тепловые съёмки проводились по маршрутам, включающим воздухоподающие и вентиляционные стволы и наиболее глубокие выемочные участки. На ряде шахт съёмки проводились только по маршрутам выемочных участков как в ремонтную, так и в добычные смены.

Схемы маршрутов тепловых съёмок по шахтам и результаты замеров теп-

ловлажностных параметров воздуха по ним приведены на рисунках и в таблицах приложения работы<sup>3</sup>.

Обработка материалов тепловых съемок позволила дифференцировать источники тепловыделений в выработках различного назначения. Эти данные явились основой для анализа влияния горнотехнических факторов на условия формирования теплового режима выработок различного назначения. По данным маршрутных тепловых съемок выполнены проверочные расчеты на ПЭВМ по пакетам прикладных программ, разработанных по действующим нормативным документам.

В качестве исходных данных при проверочных расчетах приняты результаты замеров температуры и относительной влажности воздуха в начале выработок. Глубина работ, вид вмещающих пород, сечение и длина выработок принимались из планов горных работ, по маркшейдерским данным и замерам. Результаты сопоставительных расчётов в выработках различного назначения перечисленных выше шахт приведены в таблице 3.1 работы<sup>1</sup>. Отклонения расчетных значений температуры воздуха в выработках различного назначения от измеренных незначительны и находятся, в основном, в пределах  $+0,1 - 0,6$  °С. Эти результаты позволяют перейти к количественной оценке влияния горнотехнических и природных факторов на формирование теплового режима выработок глубоких шахт.

Для количественной оценки влияния отдельных горнотехнических параметров на тепловые условия в выработках выполнены тепловые и балансовые расчеты выработок различного назначения. Расчеты выполнены по пакетам прикладных программ на ПЭВМ, разработанных МакНИИ совместно с институтами «Днепрогипрошахт», «Донгипрошахт» и «Луганскгипрошахт» по нормативным методикам. Значения исходных параметров и пределы их изменения, принимавшиеся при вариантных тепловых расчетах, приведены в табл. 7.1 и ниже по тексту.

В качестве постоянных параметров при вариантных тепловых расчётах принято:

– мощность электрического оборудования в выработках выемочного участка (скребковый конвейер – 220 кВт; ленточный конвейер -90 кВт, ТСШВП 630 кВт, маслостанция – 55кВт);

– температура в начале выработке  $t_1 = 22,0$ °С; – относительная влажность воздуха в начале и конце выработки –  $\varphi_1 = 77\%$ ,  $\varphi_2=83\%$ ;

---

<sup>3</sup>Кузин В.А. Разработать руководство по выбору горнотехнических способов нормализации тепловых условий на выемочных участках глубоких шахт (Отчёт по НИР). Гос.регистр. UA 01003289P.(Инв. №4578). - Макеевка: изд. МакНИИ.- 1994.- 152с.

Исходные параметры при вариантных тепловых расчётах  
и шаги их изменения

Параметры и единицы измерения	Значения		Шаг изменения
	мини-мальное	макси-мальное	
Длина выработки, м	1000	2000	200
Сечение выработки, м <sup>2</sup>	8	20	4
Скорость воздуха в выработке, м/с	0,5	6,5	I
Температурный напор между горным массивом и воздухом, С	1	19	2
Грузопоток, т/час	15	60	15

- время проветривания выработки – 17206 час;
- вмещающие горные породы – глинистые сланцы.

Результаты вариантных расчётов теплового баланса выработок позволили определить абсолютные и относительные (в %) тепловыделения от отдельных источников (горный массив, транспортируемое ископаемое, механизмы: конвейеры, маслостанции, трансформаторы и суммарные тепловыделения в кВт).

Анализ расчетов позволяет сделать следующие выводы о степени влияния горно-геологических и горнотехнических параметров горных работ на формирование тепловых условий в выработках глубоких шахт.

1. Тепловыделения горного массива являются основным источником приращения теплосодержания воздуха и составляют от 25 до 57 % в тепловом балансе выработок.

2. Тепловыделения от машин и механизмов в групповых и участковых выработках составляют 27-40 %, уменьшаясь по относительной величине с увеличением расхода воздуха в выработках.

3. Тепловыделения от транспортируемого конвейерами ископаемого составляют от 5 до 23% в общем тепловом балансе выработок и возрастают с увеличением грузопотока и температурного напора от ископаемого к воздуху.

При возрастании температурного напора в тепловом балансе выработок увеличиваются по абсолютной и относительной величинам тепловыделения от горного массива и транспортируемого ископаемого. Тепловыделения от машин и механизмов по абсолютной величине остаются постоянными и в тепловом балансе выработок снижаются в процентном отношении.

На основании данных экспериментальных исследований и вариантных тепловых расчетов выполнена оценка влияния отдельных горнотехнических

параметров на тепловые условия в выработках и определены рациональные меры, рекомендуемые для применения при отработке глубоких горизонтов шахт Донецкого бассейна.

#### **7.1.4. Рациональные по тепловому фактору технические и вентиляционные параметры при разработке глубоких шахт и горизонтов**

*Протяженные выработки.* Теплопритоки в горные выработки зависят от срока их службы, сечения и длины выработок, скорости воздуха в них. В табл.7.2.приведены результаты расчетов температуры воздуха в конце выработки сечением  $14\text{ м}^2$  при изменении отдельных параметров: срока службы выработки от 2,5 года до 30 лет; длины выработки в интервале 500 – 2000 м; скорости движения воздуха в интервале от 0,5 м/с до 6,5м/с; температуры горных пород от  $26^\circ\text{C}$  до  $46^\circ\text{C}$ . Температура воздуха в начале выработки принята равной  $22^\circ\text{C}$  при относительной влажности воздуха в начале 77 % и 83% в конце. Результаты вариантных тепловых расчётов приведены в табл. 7.2.

Анализ данных тепловых расчетов, приведенных в табл. 7.2, позволяет оценить влияние отдельных факторов на изменение (рост) температуры воздуха в выработках.

*Температура горных пород* оказывает наиболее существенное влияние на прирост температуры воздуха, как и на тепловыделения, которые возрастают по абсолютной и относительной величине с глубиной, т.е. при повышении естественной температуры горного массива.

*Время проветривания или срок службы выработки.* Чем больше срок службы выработки, тем меньше прирост температуры воздуха по её длине. Так, при разнице в сроках службы выработки в 27,5 лет для наиболее неблагоприятных условий ( $v=0,5\text{ м/с}$ ,  $t_n=46,0^\circ\text{C}$ ), снижение приращения температуры воздуха в выработке составляет 1,0 С (с  $30,9^\circ\text{C}$  до  $29,9^\circ\text{C}$ ), уменьшаясь до  $0,2^\circ\text{C}$  (с  $22,3^\circ\text{C}$  до  $22,1^\circ\text{C}$ ) при  $v = 6,5 \text{ м/с}$ .

*Длина выработки.* Между длиной выработки и тепловыделением горного массива наблюдается линейная зависимость (табл.7.3). Однако между приращением температуры воздуха по длине выработки и скоростью воздуха в ней зависимость нелинейная. Приращение температуры воздуха в выработках с температурой пород  $26 - 46^\circ\text{C}$  составляет от 1,05 до  $4,4^\circ\text{C/км}$ . При скорости воздуха 0,5 м/сек снижается и составляет: при  $v=1,5 \text{ м/с} - 0,55 \div 1,3^\circ\text{C/км}$ ; при  $v = 2,5 \text{ м/сек} - 0,3 \div 1,3^\circ\text{C/км}$  и при  $v = 6,5 \text{ м/с} - 0,05 \div 1,15^\circ\text{C/км}$  длины выработки. Из изложенного следует, что сокращение длины воздухоподающих выработок является



одним из эффективных технических решений по уменьшению температуры воздуха на входе в рабочие забои. Достигнуть этого можно путем концентрации горных работ на выемочном поле, панели, выемочном участке.

Таблица 7.2.

Изменение температуры воздуха в выработке в зависимости от температуры пород, срока службы (лет) и длины выработок, скорости воздуха

Характеристика условий и выработки			Температура воздуха в конце выработки, °С, при скорости $v$ , м/с			
Температура пород, $t_n$ , °С	Срок службы выработки, $\tau$	Длина, $L$ , м	0,5	1,5	2,5	6,5
26	2,5	500	21,7	21,3	21,2	21,1
		2000	23,1	22,0	21,6	21,3
	30	500	21,6	21,2	21,1	21,1
		2000	23,0	21,9	21,5	21,2
32	2,5	500	22,4	31,5	21,3	21,1
		2000	25,3	23,0	22,3	21,5
	30	500	22,2	21,5	21,3	21,1
		2000	24,8	22,7	22,1	21,5
36	2,5	500	23,0	21,8	21,5	21,2
		2000	27,2	23,9	22,9	21,8
	30	500	22,8	21,7	21,4	21,2
		2000	26,4	22,5	22,6	21,7
41	2,5	500	23,6	22,1	21,7	21,3
		2000	29,1	24,3	23,5	22,3
	30	500	23,3	21,9	21,4	21,2
		2000	28,3	24,3	23,1	21,9
46	2,5	500	24,3	22,3	21,8	21,3
		2000	30,9	25,6	24,0	22,3
	30	500	23,9	22,1	21,7	21,3
		2000	29,9	25,0	23,6	22,1

*Скорость воздуха.* С увеличением скорости движения воздуха по выработкам тепловыделения от массива возрастают. Наиболее интенсивный прирост наблюдается при увеличении скорости от 0,5 м/с до 2,5 м/с (табл. 7.3). Чем больше температурный напор в выработке, тем интенсивнее теплопритоки из

массива. При скорости движения воздуха более 2,5 м/с величина тепловыделений из массива зависит от температурного напора между воздухом и горным массивом.

Таблица 7.3.

Изменение теплопритоков от горного массива (кВт) при различной длине и сечении выработки, скорости воздуха и температурном напоре от горного массива

Длина выработки, м	Скорость воздуха, м/с	Сечение выработки, м <sup>2</sup>	Температурный напор между массивом и воздухом, °С			
			3	9	15	19
			Теплопритоки от массива, кВт			
1000	0,5	8	1	32	62	83
		14	9	44	81	103
		20	13	53	93	118
	2,5	8	19	61	103	131
		14	23	68	114	145
		20	26	74	123	157
	6,5	8	23	69	114	143
		14	27	76	124	155
		20	28	80	130	163
1600	0,5	8	3	46	92	123
		14	14	66	120	155
		20	20	80	139	179
	2,5	8	29	91	157	197
		14	36	106	175	225
		20	40	115	190	244
	6,5	8	36	107	176	222
		14	41	118	192	242
		20	43	124	202	259
2000	0,5	8	4	56	108	146
		14	17	80	143	186
		20	25	95	167	215
	2,5	8	35	112	190	245
		14	44	130	218	275
		20	49	142	237	298
	6,5	8	45	132	218	276
		14	50	145	239	302
		20	53	153	251	318

Наиболее интенсивно прирост температуры воздуха в выработке происходит при малых скоростях движения воздушного потока. С повышением скорости воздуха происходит резкое снижение прироста его температуры (на 5 °С/км при температуре горного массива 46°С и на 0,75 °С/км при 26°С). Таким образом, увеличение скорости движения воздуха в выработках (расхода воздуха) является наиболее эффективным горнотехническим мероприятием, обеспечивающим снижение температуры воздуха на глубоких горизонтах шахт.

Из данных табл. 7.3 также следует, что при увеличении скорости движения воздуха в выработках, проветриваемых более года, выше 2,5 м/с дальнейшее понижение температуры воздуха весьма незначительно. Следовательно, скорость воздуха 2,5 м/с является оптимальной по тепловому фактору для групповых и участковых выработок. Однако расход воздуха в участковых воздухоподающих выработках ограничивается пропускной способностью лавы по максимально-допустимой скорости движения воздуха [НПАОП 10.0-1.01-10]. На тонких пластах для поддержания оптимальной по тепловому фактору скорости воздуха в участковых выработках реализация этого требования может быть осуществлена поддержанием вентиляционной выработки в выработанном пространстве лавы для отвода излишнего расхода воздуха.

*Сечение выработки.* Анализ данных вариантных тепловых расчетов, приведенных в табл. 7.3, показывает, что между сечением выработки и величиной тепловыделений от горного массива существует линейная зависимость. При этом с повышением скорости воздуха влияние сечения выработки на величину тепловыделений существенно уменьшается. При скорости воздушного потока более 2,5 м/с влияние сечения практически не заметно. Таким образом, сечение выработки по тепловому фактору следует принимать минимальным по горной технологии, что обеспечит уменьшение теплопритоков из массива. При этом целесообразно, чтобы скорость движения воздуха в выработках была в пределах 2 – 2,5 м/с. При большей скорости движения воздуха снижения его температуры по длине выработки практически не происходит.

*Лавы. Сечение и скорость воздуха в лаве.* Влияние горного массива на тепловые условия наиболее существенно проявляются в лавах. В табл. 7.4 приведены данные о приращении температуры воздуха в лавах длиной 200 м для пластов различной мощности в зависимости от температурного напора и скорости воздуха.

Данные табл. 7.4 показывают, что прирост температуры воздуха в лаве значительно снижается с повышением скорости воздуха. Наиболее интенсивное снижение происходит при увеличении скорости воздуха до 2,5 м/с. При температурном напоре между горным массивом и воздушным потоком более 15°С

Таблица 7.4.

Приращения температуры воздуха в лаве в зависимости от мощности пласта, скорости воздуха и глубины работ (температурного напора между горным массивом и воздухом)

Мощность пласта, м	Температурный напор, °С	Скорость воздуха в лаве, м/с	Приращение температуры воздуха, °С	Мощность пласта, м	Температурный напор, °С	Скорость воздуха в лаве, м/с	Приращение температуры воздуха, °С
0,6	4	0,5	7,2	1,0	16	0,5	10,9
		2,5	1,5			2,5	2,5
		4,0	0,7			4,0	1,3
		6,0	0,2			6,0	0,6
	10	0,5	11,2		26	0,5	14,6
		2,5	3,1			2,5	4,0
		4,0	1,8			4,0	2,4
		6,0	1,0			6,0	1,4
	16	0,5	15,1	1,4	4	0,5	3,4
		2,5	4,7			2,5	0,1
		4,0	3,0			4,0	-0,3
		6,0	1,8			6,0	-0,5
	26	0,5	21,7		10	0,5	5,4
		2,5	7,4			2,5	0,8
		4,0	4,9			4,0	0,2
		6,0	3,2			6,0	-0,2
1,0	4	0,5	4,7	16	0,5	7,4	
		2,5	0,6		2,5	1,5	
		4,0	0		4,0	0,6	
		6,0	-0,3		6,0	0,1	
	10	0,5	7,4		26	0,5	10,8
		2,5	1,5			2,5	2,6
		4,0	0,7			4,0	1,4
		6,0	0,1			6,0	0,7

темп снижения сохраняется до скорости движения воздуха 4 – 6 м/с. Таким образом, оптимальной скоростью движения воздуха в лавах по тепловому фактору является скорость 4м/с. Для лав, разрабатывающих пласты мощностью ме-

нее 1 м, в которых температурный напор между естественной температурой горного массива и воздухом более 15°C, т. е. при температуре горных пород выше 40 °С, эффективным решением может быть увеличение скорости воздуха до 6,0 м/с, что противоречит требованиям правил безопасности.

Необходимо также отметить, что по санитарным нормам перепад температуры воздуха по длине лавы не должен превышать 5°C. С увеличением глубины разработки становится проблематичным его соблюдение при использовании известных горнотехнических способов и искусственного охлаждения воздуха. Результаты экспериментальных наблюдений и расчеты показывают, что приращение температуры воздуха по длине лавы снижается с увеличением скорости, особенно при низкой относительной влажности воздуха на входе в лаву.

Исходя из вышеизложенного, получены следующие выводы:

- при разработке пластов мощностью менее 1 м необходимо увеличивать скорость воздуха в лавах до максимально-допустимой по правилам безопасности;
- применять, где это возможно по горным условиям, индивидуальное крепление или механизированную крепь, которая обеспечивает большее сечение при той же мощности пласта;
- рассмотреть возможность увеличения ширины лавы путем модернизации серийно выпускаемых добычных комплексов или разработки новых конструкций для работ на глубоких горизонтах.

*Длина лавы.* Для определения предельной по тепловому фактору длины лавы по нормативным методикам выполнены вариантные тепловые расчеты приращения температуры воздуха в лавах с различной мощностью пласта для разных глубин разработки при различных температурных напорах между воздухом на входе в лаву и естественной температурой горных пород. Лавы оборудованы серийными механизированными комплексами в зависимости от мощности разрабатываемого пласта. Температура воздуха на входе в лаву принята равной 21°C, что соответствует допустимой температуре по санитарным нормам. Скорость воздуха в лаве принята максимальной по ПБ (4 м/с). Результаты расчетов приведены в табл. 7.5.

Из анализа данных табл. 7.5 следует, что длина лавы несущественно влияет на приращение температуры воздуха. Основное влияние оказывает глубина разработки (естественная температура горного массива) и мощность пласта, т.е. температурный напор между горным массивом и воздухом в лаве и расход воздуха.

Из табл. 7.5 также следует, что на пластах мощностью менее 1,0 м нормализация тепловых условий в лавах длиной 200 м без дополнительного охлаждения воздуха непосредственно в лаве возможна только до глубин с температурой горных пород до 38-39°C. При большей температуре горного массива

Таблица 7.5.

Приращения температуры воздуха в лавах в зависимости от вида оборудования, температурного напора от горного массива, мощности пласта, расхода воздуха и длины лавы

Характеристика лавы, температурный напор между массивом и воздухом на входе в лаву, °С	Температура пород, °С	Мощность пласта, м	Расход воздуха, м/с	Длина лавы, м	Прирост температуры воздуха в лаве, °С
Лавы со стругом УСТ-2М, $\Delta t = 12$ °С	33	0,55-0,65	6-7,2	150	3,6
				200	4,0
		0,7-0,8	8-8,8	150	3,1
				200	3,4
$\Delta t = 18$ °С	39	0,55-0,65	6-7,2	150	5,2
				200	5,7
		0,7-0,8	8-8,8	150	4,4
				200	5,0
$\Delta t = 24$ °С	45	0,55-0,65	6-7,2	150	6,6
				200	7,4
		0,7-0,8	8-8,8	150	5,8
				200	6,4
Лавы с комбайном 1К-103, $\Delta t = 12$ °С	33	0,7-0,8	8-8,8	150	3,7
				200	3,9
$\Delta t = 21$ °С	42	0,7-0,8	8-8,8	150	5,8
				200	6,2
$\Delta t = 27$ °С	48	0,7-0,8	8-8,8	150	7,0
				200	7,6
Лавы пласта К <sub>8</sub> с комбайном 1К-101, шахта «Шахтерская-Глубокая», $\Delta t = 14$ °С	44	1,13	11,0	100	4,8
				150	4,9
				200	4,9
				250	5,1
$\Delta t = 25$ °С	44	1,13	11,0	100	8,7
				150	9,8
				200	10,2
				250	10,7
Лавы пласта h <sub>7</sub> с комбайном 2К-52, ш. им. Скочинского	51	1,5	15,8	150	8,5
				200	9,2

длину лавы необходимо уменьшать (до 100-150 м), что неприемлемо по технико-экономическим показателям, или применять дополнительное охлаждение воздуха непосредственно в лаве. Одним из путей решения вопроса является переход на обработку участка спаренными лавами с проведением или поддержанием в выработанном пространстве промежуточного штрека.

*Способы управления кровлей.* Для оценки влияния способа управления горным давлением на участке на тепловые условия в лаве и выработках выемочного участка выполнены расчеты температуры воздуха при различных способах управления кровлей в лавах. Результаты расчетов для глубин с температурой горного массива 32°C и 52°C приведены на графиках рис. 7.1.

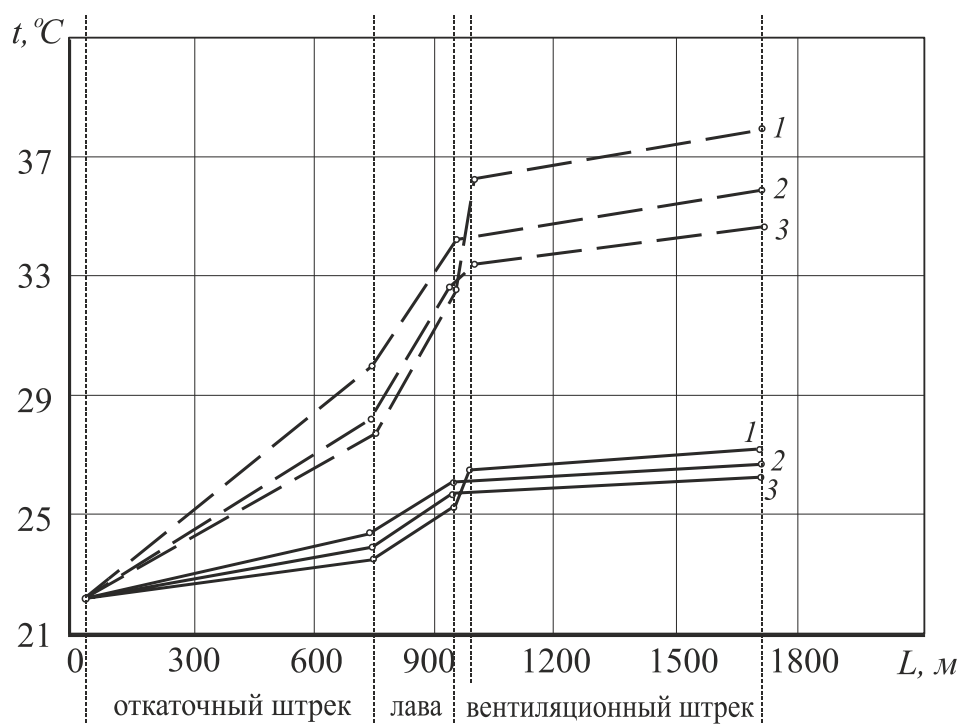


Рис.7.1. Изменение температуры воздуха в выработках выемочного участка при сплошной системе разработки в зависимости от способа управления кровлей и температуры горных пород: 1 – полное обрушение кровли; 2 – полная закладка выработанного пространства; 3 – плавное опускание кровли; — — — температура горных пород 32 °С; — — — температура горных пород 52 °С.

Анализ расчетных данных показывает, что наиболее тяжелые температурные условия в лавах и вентиляционных выработках выемочных участков имеют место при управлении кровлей полным обрушением. При плавном опускании кровли и закладке выработанного пространства температура воздуха в лаве существенно ниже, чем при полном обрушении.

Влияние способа управления кровлей в лавах на тепловые условия выра-

боток возрастает с увеличением глубины разработки. Так, при температуре горных пород 32°C и управлений кровлей закладной или плавным опусканием температура воздуха в лавах может быть на 0,6-1,2°C, а при 52°C – на 1,4-3,4°C ниже в сравнении с управлением кровлей обрушением. При использовании для закладки выработанного пространства предварительно охлаждённых материалов снижение температуры воздуха в лаве и выработках выемочного участка может быть больше. Поэтому при отработке глубоких горизонтов целесообразно переходить на управление кровлей закладкой и, где возможно, плавным опусканием или удержанием на кострах.

## **7.2. Характеристика и особенности формирования теплового режима глубоких шахт, разрабатывающих крутые и крутонаклонные пласты**

### **7.2.1. Горногеологические и горнотехнические условия разработки пластов**

В Донском бассейне крутопадающие угольные пласты разрабатываются в Центральном и Алмазно-Марьевском районах. Основная добыча производится на шахтах Центрального района Донбасса (ЦРД), балансовые запасы которого в пластах мощностью от 0,45 м и выше составляют около 2 млрд.т. Преобладающее значение в запасах (60%) в западной и центральной частях района имеют коксующиеся угли марок Ж, К и ОС. Добыча углей этих марок составляет 70%.

В географическом отношении ЦРД занимает западную часть главной антиклинали Донецкого бассейна, которая представлена почти симметричной складкой с крутыми крыльями. Ось складки направлена с северо-запада на юго-восток. Длина складки – до 65 км, ширина – до 15 км. Более крутыми углами падения характеризуются породы северного крыла складки (55-80°) и несколько положе – южного (40-70°). Шахты, в основном, приурочены к северному и южному крыльям главной антиклинали и расположены непрерывной полосой с запада на восток. Схематическая геологическая карта Центрального района Донбасса показана на рис. 7.2.

Угленосные отложения в районе представлены свитами  $C_2^2$ ,  $C_2^3$ ,  $C_2^4$ ,  $C_2^5$ ,  $C_2^6$ ,  $C_2^7$  среднего отдела и свитами  $C_3^1$ ,  $C_3^2$  верхнего отдела Донецкого карбона. Наибольшую промышленную угленосность имеют Каменская ( $C_2^5$ ), Алмазная ( $C_2^6$ ) и Горловская ( $C_2^7$ ) свиты, пласты которых разрабатываются всеми шахта-



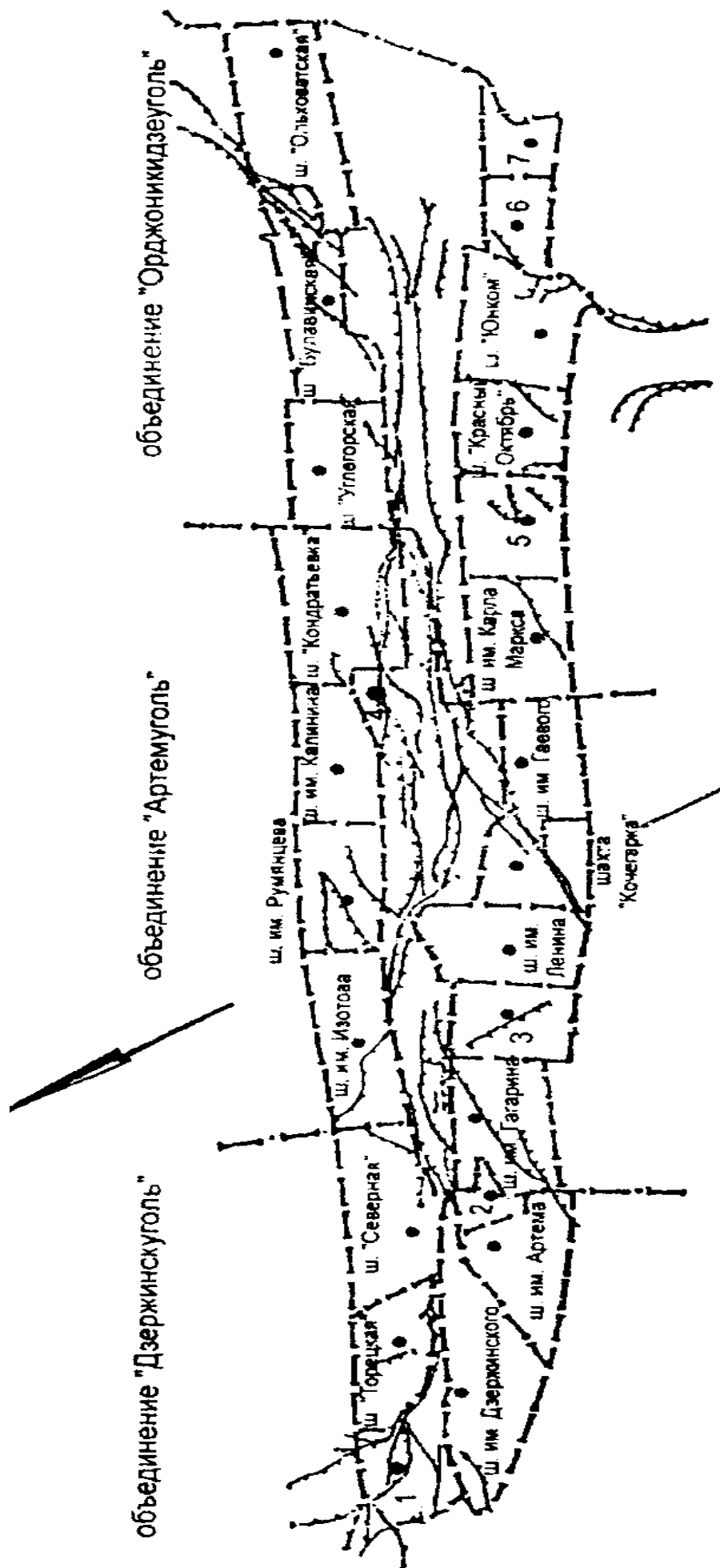


Рис. 7.2. Схематическая геологическая карта Центрального района Донбасса

1 – ш. "Ново-Дзержинская", 2 – ш. "Южная", 3 – ш. "Комсомолец", 4. – ш. "Александр-Запад"  
 5. – ш. "Красный Профинтерн", 6. – ш. "Полтавская", 7. – ш. "Енакиевская"

ми района. По району насчитывается 110 угольных пластов и пропластков. Промышленное значение имеют 58 угольных пластов. Вынимаемая мощность пластов изменяется в пределах 0,4-2,2 м, среднединамическая – от 0,84 до 1 м. Для безопасного ведения работ по выбросоопасным пластам производится выемка защитных пластов мощностью 0,35-0,45 м. Основные запасы угля сосредоточены в пластах малой мощности и составляют до 87% от общих запасов района, в том числе в пластах мощностью от 0,4 до 1,0 м - 68%. В пластах мощностью более 1,5 м находится 3-4% запасов угля.

Угли пластов имеют высокую нарушенность и трещиноватость, связанную с тектоническими процессами формирования угленосного района в антиклинальную складку. В результате этого угли относятся, в основном, к мягким и средним по крепости. Коэффициент крепости угля составляет 0,5 – 1,5 единиц по шкале М.М. Протоdjeяконова, что способствует самопроизвольному обрушению угля. Зольность углей по пластам колеблется от 4 до 40-45%, составляя в большинстве пластов около 20%.

Вмещающие угольные пласты породы представлены глинистыми и песчаными сланцами, реже песчаниками и известняками. В кровле пластов залегают глинистые и песчаные сланцы (88%), песчаники (9%), известняки (3%), в почве – глинистые и песчаные сланцы (82%) и песчаники (18%). Большой удельный вес глинистых и песчаных сланцев предопределяет, в основном, среднюю и слабую устойчивость вмещающих пород, что ограничивает применение комплексно-механизированной технологии выемки угля. Суммарные притоки воды в шахты колеблются от 125 до 500 м<sup>3</sup>/ч. Шахтные воды агрессивны.

Условия залегания тонких крутых пластов ЦРД характеризуются большим количеством геологических нарушений. В центре антиклинали встречаются дизъюнктивные нарушения типа надвигов и сбросов. На южном крыле антиклинали проходят главный осевой, Горловский и Юнкомовский надвиги; на севере – Калининский и Булавинский надвиги. Надвиги сопровождаются разрывом сплошности отдельных свит. В среднем по району на каждые 1000 м по простиранию пласта имеется одно геологическое нарушение. Кроме крупных, почти на всех пластах (76%) встречается сеть мелких нарушений в виде выклиниваний или вздутий, перемятости угольного пласта или полностью замещением его породой. На 63% разрабатываемых пластов геологические нарушения появляются через каждые 200 – 500 м и только 24% пластов не имеет геологических нарушений.

Наличие геологических нарушений, особенно местного значения, которые не прогнозируются и не разведаны, усложняет ведение очистных работ, отрицательно влияет на применение механизации, приводит к уменьшению длины

комбайновой части лавы или выводу комбайна из лавы. Резко падает скорость подвигания лав с гидрокрепями и щитовыми агрегатами.

Фактором, осложняющим развитие угледобычи в ЦРД, является высокая степень выбросоопасности разрабатываемых пластов, а также склонность пластов к горным ударам. Из общего числа шахтопластов, равного 608, 267 относятся к выбросоопасным, а из находящихся в работе 270 шахтопластов 135 являются выбросоопасными. Около 18% пластов относится к самовозгорающимся.

Основными мерами борьбы с газодинамическими явлениями на шахтах являются опережающая разработка защитных пластов, нагнетание воды в угольный пласт, дегазация сближенных пластов в сочетании с предварительной их под- или надработкой. В ряде случаев при отсутствии защитных пластов эти меры становятся недостаточно эффективными, и отдельные особо опасные по внезапным выбросам угля и газа пласты или не отрабатываются, или их запасы находятся под угрозой консервации. Отрицательное влияние выбросоопасности пластов проявляется также в снижении нагрузок на лавы по защищенным опасным пластам вследствие низкой скорости подвигания лав по маломощным защитным пластам.

Шахты ЦРД характеризуются высокой степенью метанообильности. Так, 56 % лав отрабатывают пласты с метанообильностью свыше  $10 \text{ м}^3$  на 1 т суточной добычи, из них в 12,2 % лав этот показатель составляет более  $20 \text{ м}^3$ .

Таким образом, геологические условия залегания крутых пластов ЦРД отличаются большой сложностью и разнообразием, что препятствует широкому распространению комплексно-механизированной технологии выемки угля, осложняет ведение горных работ на больших глубинах и отрицательно сказывается на развитии угледобычи.

В Донецком бассейне на начало 1992 г. крутые пласты разрабатывали 32 шахты 6 производственных объединений: “Артемуголь”, “Дзержинскуголь”, “Орджоникидзеуголь”, “Торезантрацит”, “Стахановуголь” и “Луганскуголь”. Основной объем добычи угля из крутых пластов приходится на шахты Центрального района (около 96%), которая в этот период составляла 10,5 млн. т, в том числе для коксования 8,5 млн. т. Проектная мощность шахт района на 1990 г. составляла 13,8 млн. т, на 1995 г. – 10,2 млн. т и на 2000 г. – 11,4 млн. т. Фактическая же добыча угля в эти годы постоянно снижалась и составляла не выше 60% от возможной по техническим характеристикам мощности шахт ЦРД.

Размеры шахтных полей при разработке крутых пластов составляют по простиранию от 3,1-4,0 км (им. В.Ленина, им. Артема, «Торецкая», «Комсомолец»), до 5,6-6,9 км (им. И.Изотова, им. М.Калинина), по падению от 1,1-1,4 км до 2,0-3,0 км.

Средняя глубина разработки угольных пластов на начало 1991 г. составляла 800 м, на конец 2000 г. – 885 м. Отработку пластов на глубине 800 м вели 14 шахт, на глубине 800 – 1000 м – 11 шахт и на глубине более 1000 м – 7 шахт. На шахтах в одновременной разработке находится от 11 до 25 угольных пластов мощностью от 0,5 м до 2,2 м. Распределение очистных забоев в зависимости от мощности разрабатываемых пластов приведено в табл. 7.6.

Вскрытие шахтных полей осуществляется центрально-расположенными вертикальными стволами диаметром 5 – 8 м, глубиной до 1230 м и этажными квершлагами с вертикальной высотой этажа 90 – 120 м. Количество стволов на шахте составляет от 3 до 4.

Таблица 7.6

Распределение количества очистных забоев на глубоких шахтах в зависимости от мощности разрабатываемых пластов

Мощность пласта, м	Количество очистных забоев по годам, %				
	Менее 0,7	0,71- 1,0	1,01- 1,3	1,31- 1,6	Свыше 1,61
1982 г.	37,8	30,6	19,9	4,8	6,9
1992 г.	39,6	27,0	20,8	8,5	4,1
2000 г.	36,2	33,0	24,9	4,0	1,9

Подготовка выемочных полей осуществляется преимущественно группированием сближенных пластов на пластовые или полевые штреки. Групповые штреки проводятся в разгруженной зоне с креплением их арочной крепью из СВП в сочетании с анкерной и тампонажем закрепного пространства.

На глубоких горизонтах в основном используется полевая подготовка с отработкой выемочных полей на передние промежуточные квершлагги, проводимые через 300 – 500 м по простиранию пласта.

Выемка пластов в пределах этажа производится от ствола к границам шахтного поля по сплошной (49%), столбовой (32%) и комбинированной системам разработки. Удельный вес применения столбовой и комбинированной систем разработки на глубоких горизонтах шахт ЦРД намечалось увеличить до 80%.

Очистные работы на большинстве шахт ведутся на нескольких горизонтах: им. Ф. Дзержинского (гор. 916 м и 1026 м), им. Н.Изотова (750 м, 870 м, 990 м), им. А. Гаевого (гор. 860 м) и т.д. При этом шахтами одновременно разрабатывалось от 10-15 (ш. им. Н. Изотова, им. А. Гаевого, им. Артема) до 23 угольных

пластов («Комсомолец» и др.). Количество одновременно работающих лав на горизонте достигало 12 – 17 и более.

Отработка этажей осуществляется в нисходящем порядке. В свитах сближенных пластов порядок их разработки нисходящий с первоочередной выемкой угля из защитных пластов. Откатка грузов и подача свежего воздуха к лавам производится через передние или задние промежуточные квершлагги. Длина выемочных полей по простиранию колеблется в широких пределах от 500 м до 2,5 – 3,0 км.

Из-за сложных горно-геологических условий в более чем 66% лав глубоких горизонтов выемка угля производится отбойными молотками с потолкоуступной формой очистной линии. Комбайновая выемка угля на шахтах Центрального района в 90-е годы XX столетия производилась не более чем в 35 – 40 лав комбайнами "Темп", "Поиск-1", "Поиск-2" с электро- и пневмоприводом. Основным сдерживающим фактором применения комбайновой технологии выемки угля на крутых пластах является наличие слабых боковых пород. Отечественные типы комбайнов могут работать только при устойчивости боковых пород не ниже средней.

Также, в 90-е годы начали применять щитовую технологию выемки угля, которая является наиболее перспективным направлением комплексной механизации очистных работ на крутых пластах. Эта технология позволяет увеличить добычу как за счет роста числа лав, так и повышения нагрузок на очистные забои и к 1993 г. она применялась на нескольких шахтах (до 60 очистных забоев). Однако более широкое применение щитовой выемки сдерживается наличием неустойчивых боковых пород и недостаточным финансированием.

Суточная нагрузка на очистные забои крутых пластов составляет от 100 до 250 тонн и только в механизированных лавках она достигала 350 тонн.

Управление горным давлением при разработке крутых пластов производится полным обрушением, плавным опусканием кровли и ее удержанием на кострах и, в отдельных шахтах, с помощью полной закладки выработанного пространства. На глубинах более 600 м удельный вес лав с управлением кровлей плавным опусканием и удержанием на кострах составлял 64%. На 29% выемочных участков применялось полное обрушение кровли, в т.ч. 22,6% приходилось на участки с выемкой пластов щитовыми агрегатами.

Для шахт, разрабатывающих крутые пласты, характерна, в отличие от шахт на пологих и наклонных пластах, одна технологическая модель вскрытия, подготовки и разработки. По этой модели вскрытие пластов осуществляется центрально-сдвоенными воздухопадающим и вентиляционными стволами и квершлаггами, проводимыми через 100 – 120 м по высоте, с группированием

сближенных пластов и проведением промежуточных квершлагов, прямым порядком отработки этажей. Преобладающее распространение получили комбинированные системы разработки по простиранию пластов. С 90-х годов институтом «Днепрогипрошахт» в проекты закладывается отработка очистных забоев по столбовой системе на передние промежуточные квершлагы с уменьшением расстояния между ними до 500 м. На отдельных пластах для повышения нагрузок на очистные забои применяют столбовую систему разработки полсами по падению с выемкой угля механизированными комплексами типа АНЩ М. Схема проветривания шахт – центральная, схемы проветривания выемочных участков с последовательным разбавлением вредностей.

Принципиальная технологическая схема вскрытия, подготовки и систем разработки шахт, разрабатывающих крутые пласты, показана на рис. 7.3.

Главные квершлагы и полевые откаточные штреки имеют сечение 10-13,5 м<sup>2</sup> и крепятся арочной податливой металлической крепью с железобетонной и деревянной затяжкой. Сечение участков пластовых штреков и промежуточных квершлагов составляет 7,1 – 11,0 м<sup>2</sup>. При отработке горизонтов на глубине более 800 – 900 м сечение вскрывающих и подготовительных выработок закладывается больше на 2 – 3 м<sup>2</sup>.

Основным видом транспорта на откаточных горизонтах шахт является электровозная откатка: применяются электровозы 8АМД, 5АРВ, АРП-10-6, АРВ-7, АМ-8 и др. и вагонетки УБГ-1,6, ВГ-1,6, ВГ-3,3, УВГ-2,5. На вентиляционных горизонтах применяются гировозы ГР-4, ГР-5 и ГР-6.

Проходка подготовительных выработок на шахтах осуществляется буровзрывным способом с применением породопогрузочных машин 1ППН-5, ППН-1С, 2ПНБ-2Б. На отдельных шахтах, при наличии финансовых средств, намечается проведение выработок с помощью проходческих комбайнов КРТ, 4ПП-2М, ГПКС с месячным продвижением забоев от 70 до 150 м.

В качестве основного способа проветривания на шахтах ЦРД принят всасывающий, так как шахты являются газовыми.

Схема проветривания шахты определяется на основании технико-экономических расчетов и зависит от схемы вскрытия, способа подготовки, систем разработки и порядка отработки пластов в свите. Для всех шахт, разрабатывающих крутые пласты, характерна одна технологическая схема вскрытия и подготовки, приведенная на рис. 7.3, при которой применяется центральная схема проветривания.

В шахты поступает от 120 до 290 м<sup>3</sup>/с воздуха. Эксплуатировавшиеся на ряде шахт установки главного проветривания с вентиляторами ВЦ-5А, ВЦ-5В, (ш. им. Артема, им. В. Ленина), ВЦ-5 (ш. «Северная», им. М. Калинина и

К. Маркса), ВЦО-4,1 (ш. им. А. Гаевого), ВЦ-47У (ш. им. К. Румянцева) не обеспечивали нормальный режим проветривания рабочих забоев на глубоких горизонтах. Например, дефицит расхода воздуха для шахты «Комсомолец» достигал 100-130 м<sup>3</sup>/с. Обеспечены расчетным расходом воздуха только ряд шахт (ш. им. Ю. Гагарина, им. К. Румянцева). В связи с этим осуществлена или запланирована реконструкция установок главного проветривания на более мощные: типа ВЦД-47У (им. А. Гаевого, «Северная», им. К. Румянцева, им. М. Калинина).

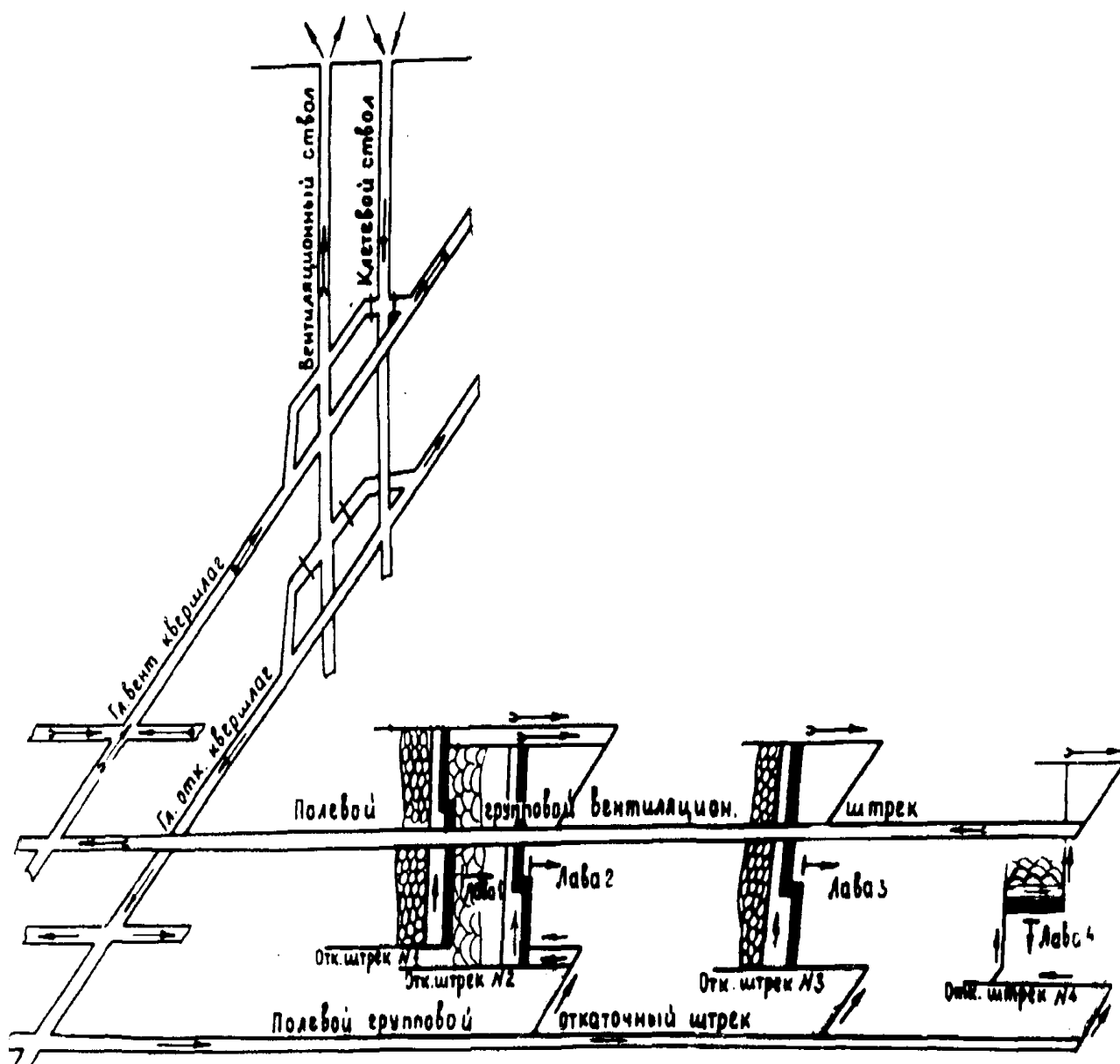


Рисунок 7.3. Принципиальная технологическая схема вскрытия, подготовки и систем разработки шахт, разрабатывающих крутопадающие пласты:

→ — направление свежей струи воздуха; ◄→ — отработанной струи; — — направление движения очистного забоя; 1, 2 — лавы с молотков выемкой угля; 3 — лава с комбайновой выемкой; 4 — лава с щитовой выемкой.

На выемочные участки в зависимости от мощности разрабатываемых пластов поступает от 4,0 до 12,0 м<sup>3</sup>/с воздуха, в лавы – от 3,2 до 8,2 м<sup>3</sup>/с. Расход воздуха на проветривание выемочных участков принимается по газовому фактору за исключением отдельных пластов, где максимальный расход воздуха принимается по температурному фактору.

Тепловой режим выемочных участков в значительной мере зависит от схем их проветривания. На шахтах наибольшее распространение получили схемы проветривания участков с последовательным разбавлением вредностей по источникам их поступления – возвраточные (49%) и прямоточные (41%) с направлением исходящей струи воздуха в сторону выработанного пространства. Проветривание лав осуществляется по восходящей схеме. В опытном порядке в конце 80-х годов проводились исследования по оценке нисходящего проветривания лав на крутых пластах. По санитарно-гигиеническим условиям при отработке глубоких горизонтов нисходящее проветривание лав не дало положительных результатов.

Проветривание тупиковых подготовительных забоев производится с помощью вентиляторов местного проветривания с электроприводом ВМ-4, ВМ-5, СВМ-6 и пневмоприводом ВМП-4, ВМП-6, ВКМ-200А по воздухопроводам диаметром 0,2-0,8 м.

### **7.2.2. Тепловой режим горных выработок шахт**

Основным методом изучения теплового режима горных выработок глубоких шахт являются маршрутные тепловые съемки. Опыт эксплуатации шахт, разрабатывающих крутопадающие пласты, показывает, что при глубине разработки более 500 ÷ 700 м, тепловые условия в рабочих забоях превышают допустимые правилами безопасности нормы. Это вызвано горно-геологическими и горнотехническими особенностями разработки крутых пластов, отмеченными выше.

С целью определения особенностей и установления закономерностей в формировании теплового режима шахт ЦРД, выполнен анализ изменения тепловлажностных параметров воздуха по маршрутам его движения от воздухоподающих стволов до околоствольных дворов стволов с исходящей струей воздуха.

Результаты маршрутной тепловой съемки по одной из характерных для Центрального района Донбасса шахты в летний (июль) и зимний (февраль) месяцы года по пласту «Соленый» графически представлены на рис.7.4.

Аналогичные съемки были выполнены по 1 - 2 характерным шахтам объединений ЦРД: Артемуголь, Дзержинскуголь, Орджоникидзеуголь. Обобщенные показатели результатов тепловых съемок по 22-м выемочным участкам 6 шахт в летний период года и 8-ми участкам этих же шахт в зимний период приведены в табл. 7.7.



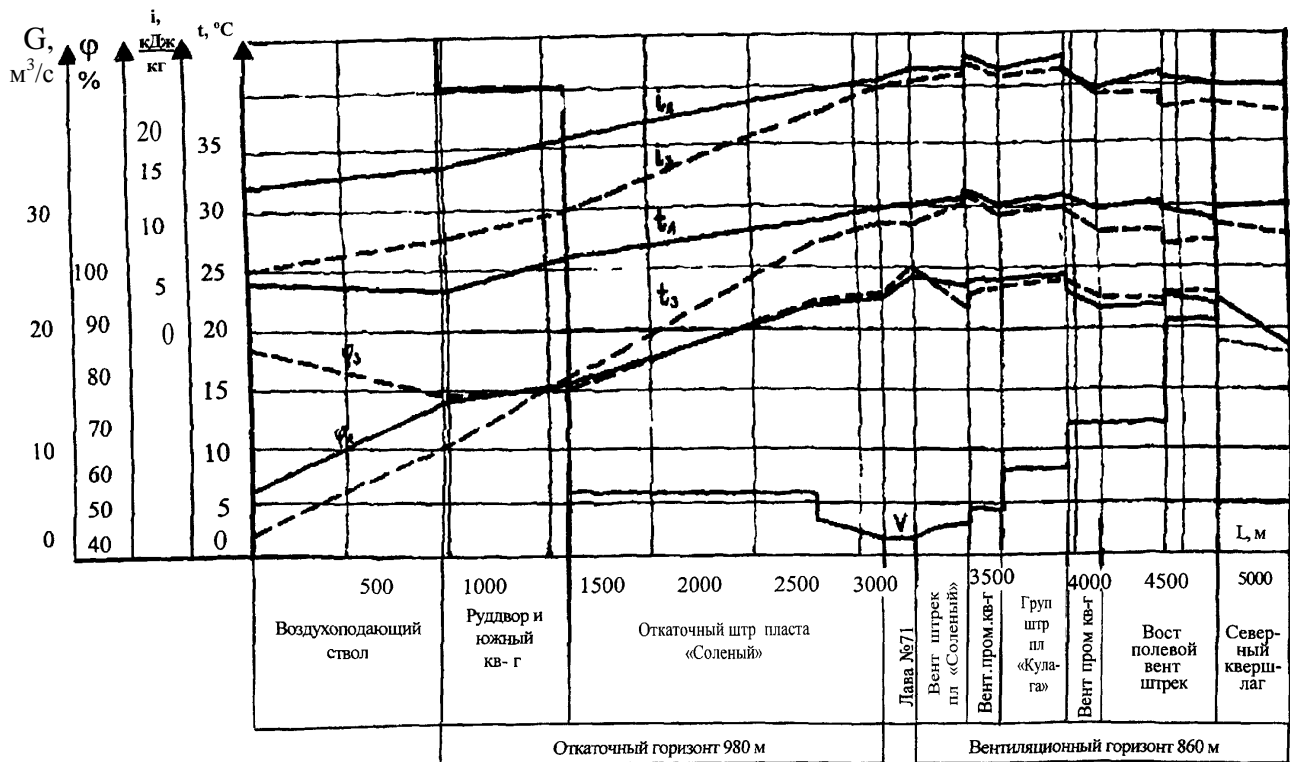


Рис.7.4. Изменение тепловлажностных параметров и расхода воздуха в выработках шахты им. Артема по маршруту через участок №71 пласта «Соленый»:  $t$  – температура,  $\varphi$  – относительная влажность,  $i$  – энтальпия,  $d$  – влагосодержание,  $G$  – расход воздуха,  $L$  – расстояние от поверхности. Индексы: л – летний период; з – зимний период года.

Глубина воздухоподающих стволов на шахтах в период проведения съёмок составляла 790 ÷ 980 м, вентиляционных горизонтов с исходящей струей воздуха – 670 ÷ 860 м. Общая длина выработок по вентиляционным маршрутам составляла от 3,7 до 6,26 км, в том числе по выработкам со свежей струей – 1,75 ÷ 3,7 км, по выработкам с исходящей струей – 1,95 ÷ 2,6 км.

Из приведенных на рис. 7.4 графиков и данных табл.7.7 видно, что приращения значений тепловлажностных параметров воздуха в течение года существенны и зависят от назначения выработок. В летний период приращение температуры и относительной влажности воздуха по длине воздухоподающих горизонтов находится в пределах от 1,6 до 10,4°C и в среднем составляет 5,4°C; относительной влажности – от 2 до 41%, в среднем – 18,4%. В зимний период года приращение температуры воздуха в этих выработках более чем в 2 раза выше и в среднем составляет 13,2°C, а изменения относительной влажности меньше и в среднем составляет 11,2% (от 5 до 18%). Воздухоподающие стволы являются регуляторами температуры и относительной влажности воздуха. В

летний период года температура воздуха в околоствольных дворах понижается, а влажность – возрастает. В зимний период года температура воздуха возрастает на 8-12<sup>o</sup>C, а относительная влажность понижается на 3 ÷ 12%.

Таблица 7.7

Данные о средних значениях изменения температуры ( $t$ ) и относительной влажности ( $\varphi$ ) воздуха в выработках шахт Донбасса, разрабатывающих крутые пласты

Количество маршрутов тепловых съемок	Изменение параметров воздуха									
	В выработках со свежей струей воздуха					В выработках с исходящей струей воздуха				
	Околоствольный двор – лава		В лаве		Средневзвешенное значение $\varphi$ в выработках, %	В участковой выработке		От участка до околоствольного двора		Средневзвешенное значение $\varphi$ в выработках, %
	$\Delta t, ^\circ C$	$\Delta \varphi, \%$	$\Delta t, ^\circ C$	$\Delta \varphi, \%$		$\Delta t, ^\circ C$	$\Delta \varphi, \%$	$\Delta t, ^\circ C$	$\Delta \varphi, \%$	
<b>Летний период года</b>										
22	5,4	18,4	0,94	2,0	88,8	0,77	0	0	-2,1	95,3
<b>Зимний период года</b>										
8	13,2	11,2	0,9	2,2	88,7	1,5	-3,8	-0,84	-0,75	93,2

Температура воздуха на входе в лавы зависит от глубины разработки, протяженности выработок и на шахтах ЦРД изменяется от 24,2 ÷ 28,5<sup>o</sup>C летом до 24,0 ÷ 27,5<sup>o</sup>C в зимний период. В лавах температура воздуха зависит от вида технологического процесса и может понижаться на 0,2 ÷ 1,7<sup>o</sup>C. Это объясняется тем, что на глубине до 900 м теплоприращение воздуха от горного массива, отбитого угля и работы механизмов полностью компенсируется расходом тепла на увлажнение воздуха и понижением его температуры в результате расширения при восходящем проветривании лав ( $\approx 1^\circ C$  на 100 м изменения глубины работ).

Сезонные колебания тепловлажностных параметров воздуха оказывают влияние на температуру воздуха под лавами. Однако при длине воздухоподающих выработок более 3,0 км сезонные колебания температуры воздуха на входе в лавы составляют не более 1,5-2,0<sup>o</sup>C. Средневзвешенное значение относительной влажности в воздухоподающих выработках в течение года практически постоянно и составляет около 89% (табл.7.7).

Результаты тепловых съемок показывают, что температура воздуха в вы-

работках вентиляционных горизонтов, расположенных на глубине более 700 м, в течение года превышает допустимые правилами безопасности нормы и составляет от 25,6 до 30,4°C. Характер изменения тепловлажностных параметров в этих выработках зависит также от их назначения, а абсолютные величины – от времени года. Характерным для шахт ЦРД является незначительное их изменение по величине, что объясняется небольшим температурным перепадом между естественной температурой горных пород и температурой вентиляционной струи в выработках (в среднем 1,3°C в летний период и 2,0°C – в зимний) и высоким уровнем относительной влажности воздуха. Средневзвешенные значения относительной влажности воздуха в выработках вентиляционных горизонтов этих шахт составляют 95,3% летом и 93,2% зимой.

В участковых выработках с исходящей струей воздуха на глубинах с температурой горного массива выше температуры воздуха температура последнего возрастает в среднем на 0,5°C в летний период и до 1,5°C – в зимний. При этом установлено, что длина выработки практически не оказывает влияния на значение относительной влажности воздуха в конце выработки. Ее величина определяется влажностным состоянием выработки. По влажностному состоянию выработки вентиляционных горизонтов условно разделены на две группы: «сухие с влажной почвой» и «влажные».

За пределами выемочных участков в выработках вентиляционных горизонтов колебания температуры воздуха в летний (до  $\pm 2,5^\circ\text{C}$ ) и зимний (снижение на 0,8°C) периоды года весьма незначительны при практически постоянной относительной влажности воздуха. Средние значения относительной влажности воздуха в выработках вентиляционных горизонтов в соответствии с принятой классификацией на основании статистической обработки материалов тепловых съемок приведены в табл. 7.8.

Приведенные в табл. 7.8 значения относительной влажности воздуха рекомендуется использовать при прогнозировании температурных условий в выработках с исходящей струей воздуха глубоких горизонтов при отсутствии экспериментальных наблюдений на действующих горизонтах.

Результаты тепловых съемок говорят о существенном различии в формировании теплового режима выработок вентиляционных горизонтов шахт, разрабатывающих крутые и пологие пласты. Отличительной особенностью выработок вентиляционных горизонтов на этих шахтах, в сравнении с шахтами на пологих пластах, является то, что за пределами выемочных участков на вентиляционных горизонтах нет притечек воздуха из воздухопадающих выработок. Основными источниками теплоприращения воздуха в этих выработках являются тепловыделения от горного массива (на глубинах свыше 700 м), труб со сжа-

тым воздухом и тепломассообмен с шахтной водой, которая может поступать в эти выработки с вышележащих горизонтов. По абсолютной величине тепловыделения от массива незначительны, так как эти выработки имеют длительное время проветривания (более 7-10 лет) в связи с использованием их первоначально в качестве воздухопадающих.

Таблица 7.8

Значения относительной влажности воздуха в выработках  
вентиляционных горизонтов

Тип выработки	Влажностная характеристика выработки	Относительная влажность воздуха, %	
Участковая выработка: Начало	Сухая с влажной почвой	93	
	Влажная	98	
	Конец	Сухая с влажной почвой	96
		Влажная	97
Капитальная (групповая) выработка у сопряжения с вентиляционным стволом	Сухая с влажной почвой	89	
	Влажная	97	
Вентиляционный ствол у сопряжения с каналом вен- тилятора	Влажный	100	

Естественная температура пород, вмещающих угольные пласты, на шахтах ЦРД составляет 28-42°С при изменении геотермической ступени по шахтам от 33,7 до 48,4 м/°С. Большинство очистных забоев (до 78%) расположено на горизонтах с температурой горного массива 30-36°С.

По материалам тепловых съемок произведена дифференцированная оценка отдельных источников тепловыделений и вычислен тепловой баланс выработок воздухопадающих и вентиляционных горизонтов шахт. Наличие сложной вентиляционной сети, малые расходы воздуха для проветривания выемочных участков обуславливают существенный его нагрев и увлажнение при сравнительно невысокой температуре горного массива. Основными источниками теплоприращения воздуха в выработках являются тепло- и массообменные процессы с горным массивом, возрастающие по абсолютной величине с ростом глубины горных работ. При этом количественные значения источников тепловыделений зависят от назначения выработок.

В воздухоподающих выработках до лав тепловыделения от горного массива составляют 80-84 %, от местных источников (электровозной откатки, угля в вагонах, шахтной воды и др.) – до 15 – 20 %. В лавах основным источником тепловыделений является горный массив (60 ÷ 85 %), а при использовании механизмов с электроприводом – тепловыделения электродвигателей машин и механизмов (до 30 %). Тепловыделения от отбитого угля в лавах в добычные смены при существующих нагрузках составляют до 12 %. Эффект расширения воздуха при его движении по лаве в тепловом балансе составляет до 10 %.

Тепловой баланс участковых выработок вентиляционных горизонтов отличается от баланса воздухоподающих выработок по источникам формирования теплового режима. Основное отличие заключается в проявлении нового источника – притоков тепла из выработанного пространства лав. Абсолютная величина теплопритоков зависит от глубины работ, горно-геологических и горнотехнических условий разработки (способа управления кровлей, системы разработки и схемы проветривания участка). На действующих глубинах теплопритоки в участковые выработки с исходящей струей воздуха составляют от 20 до 58% общего теплового баланса этих выработок, возрастая с глубиной как по абсолютной так и относительной величинам. Остальную часть баланса выработки составляют тепловыделения от вмещающих боковых пород (от 40 до 80%).

В выработках вентиляционных горизонтов за пределами выемочных участков тепловыделения от горного массива являются основным источником и составляют 90-95% в тепловом балансе этих выработок, однако по абсолютной величине они незначительны.

На 12 шахтах Центрального района Донбасса были построены и на 10 до 1995 года находились в эксплуатации поверхностные холодильные установки и более 30 передвижных кондиционеров. Общая мощность холодильной техники достигала 125 МВт, а суммарные капитальные затраты на нее в ценах 1990 года превышали 30 млн.руб. В результате нарушений условий эксплуатации установок и отклонений от проектных решений коэффициент использования установленной их холодильной мощности на шахтах составлял 6 – 15%. Это объяснялось наличием только до 30 % воздухоохладителей на участках от их проектного количества, и отсутствием теплоизоляции (70 %) на трубопроводах с хладоносителем. Отставание пунктов охлаждения воздуха на выемочных участках от очистных забоев из-за упущений технических служб составляло 300 – 1000 м вместо 50 – 100 м по проектным требованиям. В результате этих недостатков тепловые условия были нормализованы только в 9 – 10 % очистных и 11% подготовительных забоев шахт ЦРД.

### **7.3. Тепловой режим тупиковых горных выработок**

Для установления закономерностей тепло- и массообменных процессов, оценки достоверности разработанных зависимостей по прогнозированию температурных условий в тупиковых подготовительных выработках выполнены маршрутные тепловые съёмки по характерным для Донбасса шахтам.

#### **7.3.1. Особенности формирования микроклимата в тупиковых выработках**

*Способы и схемы проветривания.* Тепловлажностные параметры воздуха, поступающего на проветривание тупиковых выработок, зависят от способа их проветривания, типа, числа и расположения ВМП в вентиляционной сети выработки. При проведении горизонтальных и наклонных тупиковых выработок на угольных шахтах применяют различные схемы проветривания (рис.7.5).

При проведении тупиковых выработок проходческими комбайнами рекомендуется применять нагнетательно-всасывающий способ проветривания с использованием пылеотсасывающих установок (рис.7.5,б). При этом способе в нагнетательном трубопроводе на расстоянии 3-5 м от пылеотсасывающей установки в сторону забоя устанавливается воздуховыпускной клапан, через который основная часть воздуха (65-75%) выпускается в выработку и поступает к забою по ее свободному сечению за счет депрессии, создаваемой вентилятором пылеотсасывающей установки во всасывающем трубопроводе. Пылеотсасывающая установка располагается на расстоянии 30 – 50 м от забоя выработки и включается при работе комбайна.

Нагнетательно-всасывающий способ проветривания характеризуется более благоприятными тепловыми условиями в призабойных зонах. Это обусловлено тем, что на тепловые параметры воздуха не оказывают влияние источники тепловыделений, расположенные в забое тупиковой выработки: породный массив, отбитая горная масса и работающее горнопроходческое оборудование. Нагретый от этих источников тепла воздух в призабойной зоне поступает к всасывающему трубопроводу пылеотсасывающей установки и отводится за пределы тупиковой выработки. Однако, в связи с отсутствием надежных средств пылеулавливания, этот способ проветривания тупиковых выработок на шахтах Украины не применяется.

При проведении тупиковых выработок по мощным и средней мощности пластам рекомендуется применять комбинированный способ проветривания тупиковых выработок (рис. 7.5,в). При этой схеме основная часть выработки проветривается за счет общешахтной депрессии с использованием для отвода

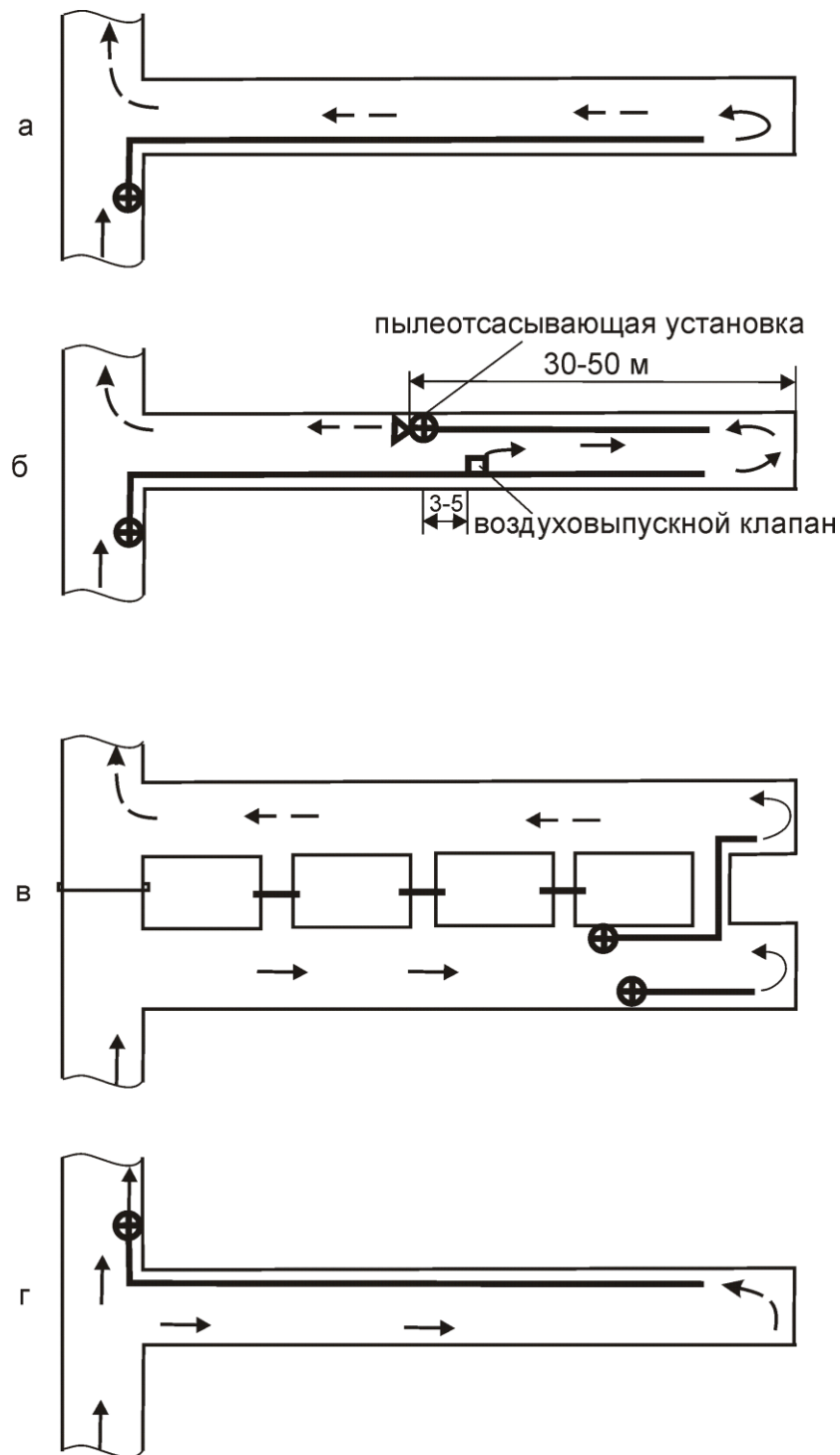


Рис. 7.5. Схемы проветривания тупиковых выработок: а – нагнетательным способом; б – нагнетательно-всасывающим способом; в – комбинированным способом; г – всасывающим способом

исходящей вентиляционной струи специально проводимой параллельной выработки, сбиваемой с основной выработкой, а тупики небольшой длины – с помощью ВМП. Применение комбинированного способа проветривания сопряжено с потерями угля в целиках, оставляемых между параллельными выра-

ботками, и используется, в основном, для проходки капитальных горных выработок на небольших глубинах. При проходке тупиковых выработок на больших глубинах по пластам с высокой газообильностью и угрозой выбросоопасности этот способ проветривания не применяется.

Основной способ проветривания тупиковых выработок на шахтах Донбасса показан на рис. 7.5,г. Этот способ применяется в газовых шахтах для проветривания тупиков с использованием вентиляторов, рекомендуемых для отсоса метановоздушных смесей (ВМЦГ-7, УВЦГ-2).

Для условий шахт Донецко-Макеевского района выполнена сравнительная оценка по тепловому фактору всасывающей и нагнетательной схем проветривания тупиковых выработок. Длина тупиковой выработки принята равной 500 м, сечение – 12 м<sup>2</sup>, способ проведения – комбайновый, скорость проведения 150 м в месяц, скорость движения воздуха в свободном сечении 0,25 м/с. Значения температуры воздуха при всасывающем проветривании получены при применении жесткого трубопровода из стальных труб, для нагнетательного проветривания – гибкого вентиляционного трубопровода (табл. 7.9).

Таблица 7.9

Сравнительная оценка по тепловому фактору схем проветривания тупиковых выработок

Температура горных пород	Температура воздуха в тупиковой выработке, °С			
	при всасывающей схеме проветривания		при нагнетательной схеме проветривания	
	в устье	в забое	в устье	в забое
30	22,3	27,4	26,8	26,6
40	25,0	33,6	32,2	31,0
50	27,6	37,7	35,0	33,9

Из табл. 7.9 видно, что температура воздуха в забоях тупиковых выработок при всасывающей схеме проветривания значительно выше, чем при нагнетательной схеме, а в устье – ниже. Это обусловлено тем, что при всасывающей схеме проветривания происходит интенсивный тепло- и массообмен вентиляционной струи с горным массивом и горнопроходческим оборудованием при движении воздуха по свободному сечению к забою. С увеличением глубины разработки температурные условия в рабочей зоне при нагнетательном проветривании более благоприятны по сравнению со всасывающей схемой.



*Технологические схемы горнопроходческих работ* характеризуются средствами механизации, взаимосвязью во времени основных и вспомогательных процессов, скоростью подвигания забоев. В угольных шахтах используются технологические схемы с применением буровзрывного и комбайнового способов проведения выработок.

Буровзрывной способ проведения характеризуется неравномерностью тепловыделений в призабойных зонах выработок, что обусловлено технологическим циклом проходческих работ. Воздух, поступающий из трубопровода в призабойную зону, в связи с сухим подогревом в вентиляторе имеет низкое влагосодержание. В призабойной зоне основная часть тепла воспринимается воздухом в скрытой форме путем поглощения влаги, испаряемой с поверхности горного массива и отбитой горной массы, что составляет до 80 % в тепловом балансе тупиковой выработки. Повышение влагосодержания воздуха зависит от вида работ, выполняемых в призабойной зоне. При выполнении работ по креплению выработки повышение влагосодержания воздуха на глубинах 900-1300 м составляет  $2 \div 5$  г/кг, при погрузке отбитой горной массы –  $4 \div 8$  г/кг. Максимальный прирост относительной влажности воздуха может составлять  $20 \div 30\%$ . Температура воздуха в призабойной зоне изменяется незначительно, причем в большинстве выработок из-за увлажнения воздуха наблюдается ее понижение. Максимальный прирост температуры воздуха в выработках с буровзрывным способом проходки происходит при погрузке породы. При бурении шпуров температура воздуха в призабойной зоне на  $1 \div 5$  °С ниже, чем при погрузке породы. Общее тепловыделение в призабойной зоне тупиковых выработок при погрузке породы в 2 – 3 раза превышает тепловыделения при выполнении других технологических процессов проходческого цикла.

Комбайновый способ проведения тупиковых выработок характеризуется более высокой интенсивностью тепловыделений в призабойных зонах выработок по сравнению с буровзрывным способом, что обусловлено:

- скоростью проведения выработок (до 100 – 150 м/мес), при этом тепловыделения на всех участках выработки возрастают в 1,5 – 3 раза;

- использованием энергоемкого оборудования. Тепловыделения в призабойных зонах выработок при работе проходческих комбайнов избирательного действия в 1,5 – 2 раза, а бурового действия – в  $3 \div 5$  раз выше, чем при буровзрывном способе проходки;

- применением воды для пылеподавления, способствующей интенсивному приросту влагосодержания и повышению относительной влажности воздуха, которая при работе комбайнов повышается на 25 – 35%.

- увеличением тепловыделения из горного массива в связи с малым време-

нем проветривания (обнажения) выработки, особенно её призабойной зоны.

При нагнетательной схеме проветривания применяются вентиляторные установки с осевыми или центробежными вентиляторами. Количество выделяемого при работе ВМП тепла зависит от режима его работы: напора, потребляемой мощности, КПД. Режим работы вентилятора определяется характеристикой вентиляционной сети – длиной, диаметром, качеством сборки вентиляционных трубопроводов, их аэродинамическим сопротивлением, величиной утечек воздуха.

Влияние вентиляторных установок на прирост температуры воздуха в трубопроводе приведено в табл. 7.10.

Таблица 7.10

Влияние типа ВМП на приращение температуры воздуха в воздухопроводе

Тип вентилятора	Число вентиляторов	Длина воздухопровода, м	Диаметр, м	Подача вентилятора, м <sup>3</sup> /с	Прирост температуры воздуха после ВМП, °С
СВМ-6М	1	180	0,6	3,9	2,4
СВМ-6М	2	380	0,6	4,1	5,3
СВМ-6М	3	305	0,6	5,1	7,2
ВМ-6М	1	420	0,6	5,2	2,9
ВМ-6М	2	550	0,8	7,3	5,6
ВМ-6М	4	1250	0,8	12,5	9,2
ВМЭУ-6	1	480	0,8	5,8	2,7
ВМЭ-6	2	560	0,8	6,8	5,9
ВМЦ-8	1	685	0,8	7,1	5,4
ВМЦ-8	1	1292	0,8	6,4	7,2
ВМЦГ-7	1	880	0,8	9,3	8,2
ВМЭ2-8	1	948	0,8	10,3	6,3
ВМЭ2-10	1	1720	1,0(2x0,8)	15,5	5,2

Трубопроводы со сжатым воздухом, с тепло- и хладоносителем, располагаемые в горных выработках, оказывают нагревающее или охлаждающее действие на воздух. Величина тепловыделений от трубопроводов с тепло- и хладоносителем ( $Q_{mp}$ , Вт) рассчитывается по формулам, приведенным в подразделе 1.6.

Относительная влажность воздуха в тупиковых выработках является

функцией многих переменных, причем некоторые из них не поддаются математическому описанию (например, степень увлажнения горного массива, влияние технологических процессов и др.). В связи с этим ее значение в характерных пунктах тупиковых выработок при тепловых расчетах рекомендуется принимать по экспериментальным данным, а при их отсутствии – по статистическим данным, полученным путем обработки шахтных наблюдений на глубоких шахтах Донбасса.

### **7.3.2. Тепловые условия в тупиковых выработках глубоких шахт**

Для установления закономерностей тепло- и массообменных процессов, оценки достоверности разработанных зависимостей по прогнозированию температурных условий в тупиковых выработках выполнены маршрутные тепловые съёмки по характерным для Донбасса шахтам.

Шахты и подготовительные выработки для анализа материалов тепловых съёмок выбирались с учетом наиболее полного охвата условий, типичных для глубоких шахт Донбасса. При выборе тупиковых выработок принимались во внимание глубина расположения выработки, технология и скорость их проведения, состояние проветривания и другие факторы. Глубина ведения горных работ на шахтах составляла  $757 \div 1298$  м.

Схемы маршрутов и результаты тепловых съёмок по маршрутам тупиковых выработок, проводимых комбайновым способом, приведены на рисунках и в таблице Приложения Д.

Анализ тепловых съёмок показывает, что температура воздуха во всех выработках превышает допустимые санитарные нормы. Температура воздуха перед ВМП составляла  $25,4 \div 32,6$  при относительной влажности  $59 \div 87\%$ . Прирост температуры воздуха после ВМП составлял  $2,0 \div 7,2$  °С. В большинстве выработок по длине вентиляционного трубопровода наблюдался рост температуры воздуха на  $1,4 \div 3,5$  °С, которая на выходе из трубопровода достигала  $32,4 \div 36,1$  °С.

Температура воздуха в призабойной зоне выработок повышалась и составляла  $32,6 \div 37,0$  °С. В отдельных забоях наблюдалось снижение температуры воздуха на  $0,1 \div 0,4$  °С при росте влаго- и теплосодержания воздуха за счёт его увлажнения. Относительная влажность воздуха в призабойной зоне повышалась на  $5 \div 12$  % и составляла  $58 \div 68$  %. Это говорит о том, что тепловой режим в призабойных зонах тупиковых выработок в значительной степени формируются за счет массообменных процессов, обусловленных испарением вла-

ги, поступающей из горного массива и воды, используемой в технологических процессах.

На пути движения исходящей вентиляционной струи по свободному сечению выработки характер формирования тепловлажностных параметров воздуха не меняется. За счет массообменных процессов наблюдается прирост влаги и теплосодержания воздуха. Относительная влажность воздуха при этом повышалась на  $5 \div 6 \%$  и составляла  $67 \div 76 \%$  при незначительном снижении температуры.

По данным экспериментальных исследований выполнены проверочные тепловые расчеты по методике в которой использованы математические модели и расчётные формулы, приведенные во II части учебного пособия в разделе 5.2. Исходные данные для тепловых расчётов выработок приведены в приложении Д, а их результаты приведены в табл. 7.11.

Таблица 7.11

Результаты проверочных тепловых расчетов в обследованных тупиковых выработках глубоких шахт

Наименование шахты, тупиковой выработки	Температура воздуха, оС				Отклонение, °С $t_{зам} - t_{расч}$	
	В призабойной зоне		В устье выработки		В призабойной зоне	В устье выработки
	по замеру	по расчету	по замеру	по расчету		
Шахтерская-Глубокая, 1-й вост. вент. штрек	33,3	33,3	33,4	32,9	0,0	0,5
Ш. «Алмазная», 6-й южный конв. штрек ЮПУ пл. 13	34,0	34,3	33,0	32,7	-0,3	0,3
Ш. им. Фрунзе, 19-й конв. штрек пл. h8	32,0	32,5	33,0	32,9	-0,5	0,1
Ш. им. Стаханова, 420-й южный ходок пл. 13 бл. №3	33,8	33,9	30,6	31,6	-0,1	-1,0

Анализ табл. 7.11 показывает, что результаты расчетов удовлетворительно согласуются с результатами шахтных замеров, отклонения между которыми составляет  $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , что позволяет рекомендовать предложенные аналитические зависимости для практического использования.

#### 7.4. Перспективы развития глубоких шахт Донбасса

Развитие добычи угля в Донбассе, в том числе и в Центральном районе, имеет стратегическое значение. Суммарные запасы угля до глубины 1800 м оцениваются в 140,8 млрд.т, из них отвечающие условиям по мощности пластов и зольности 108,5 млрд.т. Разведанные запасы промышленной категории угля составляют 57,5 млрд.т и перспективные – 18,3 млрд.т. Среди промышленных и перспективных наиболее значительны запасы (млрд.т): антрацита (13,8), газовых (27,5), коксующихся (9,8), тощих (6,3) углей. В ЦРД запасы коксующегося угля составляют 5,2 % от всех запасов украинского Донбасса, в том числе дефицитных марок угля 11,5%.

Шахтный фонд Донбасса по состоянию на начало 2001 г. включал 275 шахт с учётом предприятий, которые переданы для реструктуризации. Из них 190 действующих шахт с производственной мощностью 106,16 млн. т и добычей 79,5 млн. т, в том числе 35,7 млн. т для коксования.

Шахтный фонд ЦРД включал 26 шахт из которых 8 находятся в стадии реструктуризации. Общая производственная мощность действующих шахт в этот период составляла 9,12 млн.т, фактическая – 3,75 млн.т. Полностью на этот период закрыты три шахты (Кочегарка, им. Артёма и Александровская) и шесть находятся в стадии реструктуризации («Красный Октябрь», «Кондратьевка», им. Н. Изотова, им. Ю. Гагарина, «Юнком», «Красный Профинтерн») Отработку запасов на глубине до 800 м вели 7 шахт, на глубине 800 ÷ 1000 м – 6 шахт, на глубине более 1000 м – 5 шахт.

В 90-х годах XX ст. институтом “Днепрогипрошахт” выполнены работы по технико-экономическому обоснованию развития шахт и разработке комплексной программы отработки запасов Центрального района Донбасса. Согласно выполненным проектам на период до 2010 г. по техническим возможностям шахты ЦРД могли обеспечить добычу ценных углей до 8,8 млн.т, в т.ч. коксующихся до 5,3 млн.т в год, что достаточно для удовлетворения потребностей металлургической и коксохимической отраслей страны.

В «Комплексной программе отработки запасов ЦРД» рассмотрены и предложены обоснованные научно-исследовательскими институтами отрасли горнотехнические мероприятия, которые несмотря на ухудшение горно-геологических условий дают возможность вести горные работы на глубине до 1500 м.

Перспективные горнотехнические решения и их элементы, определяющие предельные глубины разработки пластов на глубоких шахтах Донбасса, состоят в следующем:

1. Существующие средства подъема по главным и вспомогательным стволам обеспечивают выдачу и спуск грузов до глубины 1700 м.

2. Откачка возможных притоков шахтных вод с глубоких горизонтов обеспечивается двух- и трехступенчатой схемами водоотлива с помощью серийного оборудования.

3. Крезь вертикальных стволов и способы их проходки. За последние 20 лет в Донбассе пройдено новые стволы или находятся в стадии строительства стволы с максимальной глубиной 1235 м (АП шахта им. Засядько) и 1320 м шахты ГП «Дзержинскуголь» («Торецкая») и ГП «Артёмуголь». Конструкции многослойной крепи в сочетании с укреплением породного массива обеспечат нормальные условия их эксплуатации согласно нормативным документам до глубины 1700 м.

Существующая технология и механизация углубки действующих и проходки новых стволов, решения по безопасному ведению проходческих работ (вскрытие выбросоопасных пластов, опережающая крепь, способы проветривания и др.) также позволяют осуществлять эти работы до глубины 1700 м.

4. Вскрытие и подготовка шахтных полей. Проектными организациями отрасли по многим шахтам Донбасса выполнены проекты строительства глубоких горизонтов до глубины 1300 – 1500 м, в которых намечены комплексы горнотехнических решений, обеспечивающих устойчивую работу шахт. Сюда входит углубка и строительство новых стволов, разработка пластов на защитных горизонтах, расположение магистральных выработок в разгруженной зоне и проведение групповых выработок полевыми, упрочнение массива, прогрессивные схемы подготовки шахтных полей, механизация очистных и подготовительных работ, закладка выработанного пространства породой, охрана штреков и углеспускных печей литыми полосами из быстротвердеющих материалов, совершенствование схемы проветривания выемочных участков, искусственное охлаждение воздуха, группирование пластовых штреков и отработка лав на передние промквершлагги. Применение комплекса перечисленных решений обеспечит нормальные условия эксплуатации горизонтов до глубины не менее 1500 м.

5. Системы разработки и механизация очистных и подготовительных работ. В новых проектах приняты комбинированные системы разработки и длинными столбами по простиранию и падению с уровнем механизации до 100 %.

Выпускаемое отечественное серийное оборудование (проходческие комбайны и погрузочные машины) обеспечивают проведение полевых выработок до 70 п.м. в месяц, а пластовых до 80-100 п.м. в месяц, что достаточно для своевременного воспроизводства линии очистных работ.

В проектах даны также современные технические решения по применению закладки выработанного пространства с целью управления горным давлением, охраны объектов на поверхности, использования этого способа для снижения температуры воздуха на выемочных участках.

6. Борьба с внезапными выбросами угля, породы и газа. С углублением горных работ выбросоопасность угольных пластов возрастает и с глубины 1200 м практически все пласты будут отнесены к выбросоопасным. Существующие региональные и локальные способы борьбы с внезапными выбросами, опережающая разработка защитных пластов, мероприятия по вскрытию выбросоопасных пластов при проведении квершлагов и пластовых штреков будут эффективными и на глубине 1500 м.

Результаты прогноза также показывают, что с увеличением глубины работ не ожидается резкого повышения выделений метана, в связи с чем существующие схемы дегазации шахт будут эффективными и на глубинах до 1500 м.

7. Обеспечение комфортных условий труда. Под этим понимают обеспечение допустимой запыленности воздуха, расхода и скорости его движения в выработках и на рабочих местах, допустимой температуры воздуха.

Существующие технические решения по борьбе с пылью обеспечивают снижение запыленности выработок до санитарных норм.

Количество воздуха, необходимое для проветривания глубоких горизонтов может быть обеспечено с помощью современных вентиляторных установок при глубине работ до 1500 м.

Создание нормальных климатических условий на рабочих местах в глубоких шахтах является одним из основных факторов, определяющих их обозримую перспективу. На основании исследований и расчетов, выполненных МакНИИ и проектными организациями отрасли, установлено, что при реализации разработанных и рекомендуемых для использования в проектах комплекса горнотехнических решений и искусственного охлаждения воздуха возможно обеспечение допустимых правил безопасности норм на рабочих местах при температуре горных пород до 50 °С, т.е. до глубин разработки 1500 м на шахтах, разрабатывающих коксующиеся угли, на шахтах ЦРД – до 1600 м и на шахтах восточного Донбасса на глубинах до 1800 м.

Современное развитие холодильной техники и эффективные по тепловому фактору, т.е. условиям формирования теплового режима в выработках, горнотехнические решения для глубоких шахт позволят отрабатывать угольные пласты на горизонтах с естественной температурой горных пород до 52 °С:

– при разработке пологих пластов – блоковые схемы вскрытия и подготовки выемочных полей, технологические схемы разработки столбовыми систе-

мами по простиранию и восстанию, прямоточные схемы проветривания на выработанное пространство с подсвежением вентиляционной струи по конвейерной выработке;

– при невозможности применения столбовой системы разработки целесообразной может быть сплошная система разработки спаренными лавами по простиранию и восстанию с W-образной схемой проветривания выемочных участков и отводом исходящей струи воздуха по среднему штреку, поддерживаемому за лавой в выработанном пространстве;

– при разработке крутопадающих пластов – укрупненное группирование или односторонние блоки с системами разработки длинными столбами по простиранию или комбинированными системами, обособленным проветриванием очистных и подготовительных забоев.

### **Литература к разделу [1,2,4,14,17,19,39,51-64].**

#### **Вопросы для самостоятельного контроля знаний**

1. Основные задачи изучения и контроля теплового режима глубоких шахт.
2. С какой целью выполняются тепловые съёмки в глубоких шахтах? Виды тепловых съёмок и их назначение, периодичность проведения.
3. Требования к выбору пунктов замеров в выработках, проветриваемых за счёт общешахтной депрессии.
4. Требования к выбору пунктов замеров в выработках, проветриваемых вентиляторами местного проветривания.
5. Какие приборы и инструменты при проведении тепловых съёмок в шахтах применяют в настоящее время, их названия, погрешность измерений?
6. Основные положения методики выполнения измерений при тепловой съёмке в выработках различного назначения (стволы, выработки со свежими и исходящими струями воздуха, конвейерные выработки, лавы).
7. Требования к выбору выработок и мест замера естественной температуры горного массива в угольных шахтах. Инструментарий для проведения геотермических измерений.
8. Общая формула теплового баланса горной выработки и методика определения его составляющих при анализе результатов тепловой съёмки.
9. Какими нормативными документами в Украине регламентируются нормы шахтного микроклимата, по каким параметрам? Назовите значения допустимых температур воздуха на рабочих местах в подземных горных выработках.



10. Какой подход к нормированию шахтного микроклимата получил за рубежом? Приведите примеры по регламентированию температуры воздуха на горных предприятиях за рубежом.
11. Основные горнотехнические характеристики глубоких шахт Донбасса, разрабатывающих пологие и наклонные пласты.
12. Дайте характеристику технологических моделей глубоких шахт, разрабатывающих пологие и наклонные пласты.
13. Приведите данные о тепловом балансе выработок на глубоких горизонтах шахт, разрабатывающих пологие и наклонные пласты, в зависимости от основных влияющих факторов.
14. Рациональные по тепловому фактору технические и вентиляционные параметры в выработках различного назначения глубоких шахт.
15. Проанализируйте влияние технологических и вентиляционных параметров на формирование тепловых условий в лавах, разрабатывающих пологие и наклонные пласты.
16. В чём состоят горно-геологические особенности угольного месторождения центрального района Донбасса (ЦРД) и его основные характеристики.
17. Дайте полную характеристику горно-геологических и горнотехнических условий разработки крутопадающих пластов Донбасса.
18. Охарактеризуйте технологическую модель вскрытия, подготовки и систем разработки шахт, разрабатывающих крутопадающие пласты.
19. В чём состоят особенности формирования теплового режима шахт ЦРД? Дать количественную характеристику основных факторов, определяющих тепловой режим выработок различного назначения глубоких шахт этого района.
20. Каковы особенности формирования теплового режима лав на крутых пластах с молотковой и механизированной выемкой угля при различных способах управления кровлей?
21. В чём заключаются особенности формирования теплового режима вентиляционных горизонтов шахт, разрабатывающих крутопадающие пласты?
22. Охарактеризуйте тепловой баланс выработок различного назначения по источникам формирования теплового режима глубоких шахт ЦРД.
23. Охарактеризуйте особенности формирования тепловых условий тупиковых горных выработок в зависимости от их горнотехнических характеристик.
24. Охарактеризуйте развитие глубоких шахт Донбасса на перспективу, с учётом реального состояния и технических возможностей горной техники и технологий.

## **Часть IV.**

*Приведена классификация способов и средств регулирования теплового режима в глубоких шахтах и порядок выбора способов нормализации климатических условий на выемочных участках. Дана технико-экономическая оценка горнотехнических способов нормализации климатических условий в шахтах.*

*Рассмотрены основные принципы работы холодильных машин, модификации СКРВ в проектах кондиционирования для глубоких шахт, приведены характеристики выпускаемого в Украине оборудования и на примере конкретной шахты показана эффективность применения и социально-экономическая оценка создания нормальных климатических условий в глубокой шахте.*

*Студент с опорой на материалы раздела должен уметь правильно выбирать способы нормализации тепловых условий в шахтах, знать принципы работы холодильных машин, их технические характеристики, возможные схемы и системы кондиционирования воздуха, оценивать эффективность мер по применению систем кондиционирования на шахтах Донбасса.*

### **Раздел 8. Способы и средства регулирования теплового режима глубоких угольных шахт**

#### **8.1 Классификация способов регулирования теплового режима**

С 60-х годов XX столетия разработаны различные способы и средства регулирования теплового режима в глубоких шахтах Украины. В практике работы отечественных и зарубежных глубоких шахт и рудников получили распространение различные способы регулирования теплового режима в подземных выработках. Эти способы могут быть классифицированы на три отдельные группы (рис.8.1):

1) *горнотехнические* (специальные) – предупреждение нагревания и увлажнения воздуха на пути движения его к рабочим забоям;

2) *технологические* – выбор рациональных по тепловому фактору параметров технологии горных работ при проектировании и эксплуатации шахт;

3) *теплотехнические* – обеспечение подогрева, охлаждения, увлажнения и осушения рудничного воздуха.

К *горнотехническим* способам снижения температуры воздуха в выработках без применения искусственного охлаждения относят:

- улучшение вентиляции горных выработок, а именно:
- обеспечение рациональных по тепловому фактору скоростей движения воздуха в воздухоподающих выработках и в очистных забоях;
- применение эффективных по тепловому фактору схем проветривания выемочных участков;
- нисходящее проветривание лав, сонаправленное движение вентиляционной струи и транспортируемого ископаемого и породы по выработкам;
- уменьшение утечек воздуха через выработанное пространство лав и вентиляционные сооружения;
- увеличение подвижности воздуха на рабочих местах (ниши, кутки лав, машинные камеры, подготовительные забои) с помощью аэраторов;
- соблюдение запроектированного вентиляционного режима;
- использование вышележащих горизонтов с меньшей температурой горных пород для подачи свежей струи воздуха к рабочим забоям;
- обособленное проветривание главных конвейерных и подготовительных тупиковых выработок, расположение источников тепловыделений в выработках с исходящей струей воздуха.
- теплогидроизоляция стенок горных выработок;
- осушение выработок и воздушного потока (изоляция водоотводных канавок или отвод воды с помощью пневмонасосов);
- снижение тепловыделения при транспортировке горной массы;
- снижение тепловыделений от горного оборудования и других местных источников;
- изолированный отвод утечек воздуха из выработанного пространства выемочных участков.

Основными *технологическими* способами являются:

- оптимизация сечения выработок;
- снижение энергоёмкости производственных процессов;
- рациональные с учётом теплового фактора технологические схемы разработки пластов;
- способы управления кровлей;
- воздушное душирование рабочих мест путём увеличения скорости движения воздуха.

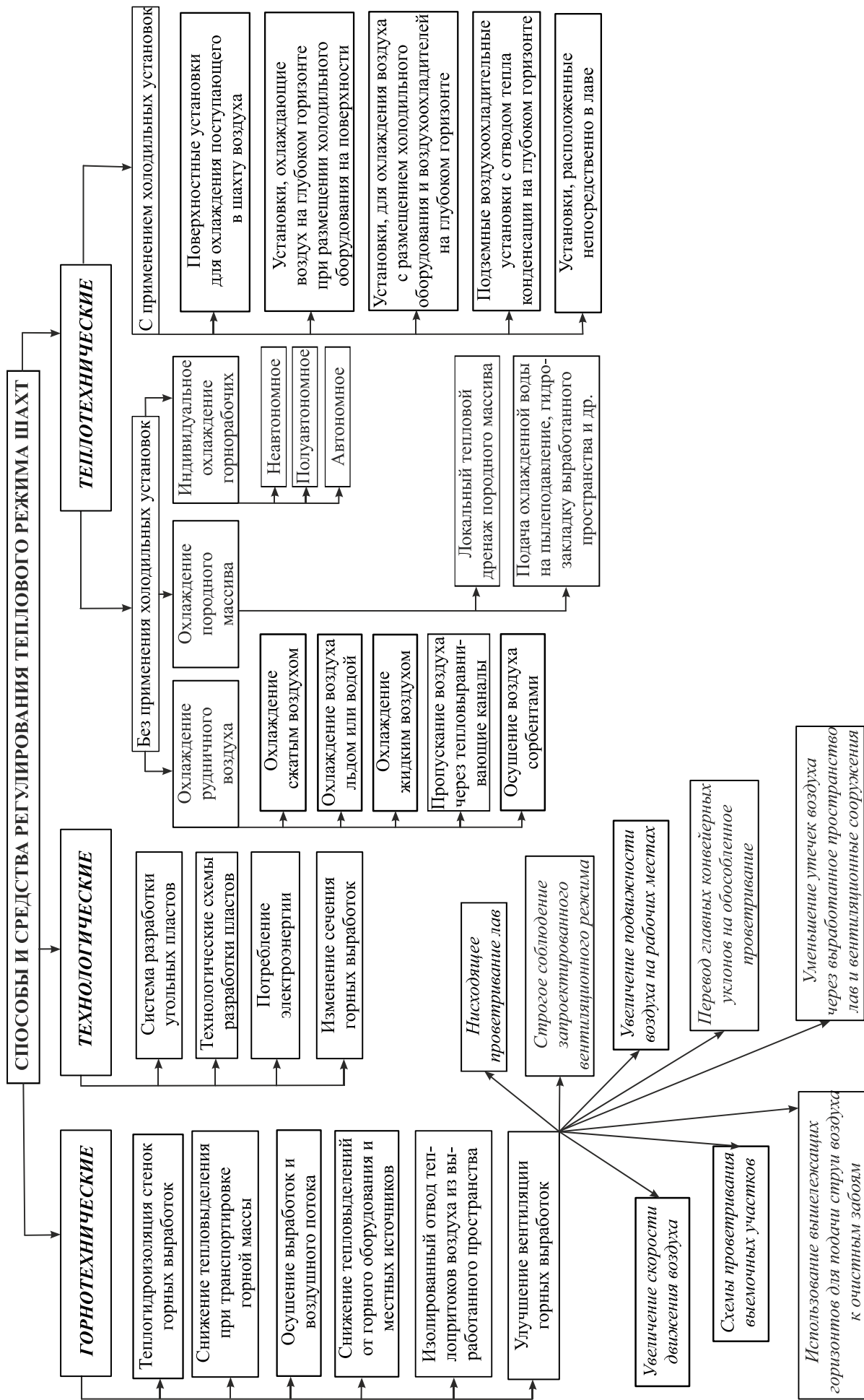


Рисунок 8.1 – Классификация способов и средств регулирования теплового режима глубоких шахт

В основе перечисленных способов лежит сложная зависимость теплового режима подземных выработок от горнотехнических параметров и технологии разработки месторождений, которые должны учитываться при проектировании глубоких шахт. В условиях действующих горных предприятий без их реконструкции возможно лишь частичное изменение уже реализованных проектных решений. Таким образом, изложенные способы нормализации микроклимата шахт могут обеспечить допустимый уровень климатических параметров воздуха в рабочих забоях лишь до определенной глубины работ, за пределами которой они становятся недостаточно эффективными или слишком дорогими.

С увеличением глубины горных работ применение *теплотехнических способов* нормализации микроклимата в шахтах совместно с остальными, перечисленными выше, оказывается неизбежным.

*Тепловое кондиционирование воздуха* осуществляется следующими способами:

- без применения холодильных машин;
- с применением холодильных машин.

Способы регулирования теплового режима подземных выработок *без применения холодильных машин* можно разделить на две группы (рис.8.1).

К первой группе относятся способы с тепловым воздействием на горный массив и непосредственно на рудничный воздух.

Особое место при этом занимают способы индивидуального охлаждения (обогрева) подземных рабочих для обеспечения их терморегуляции. Эти способы еще не получили широкого применения, однако при ведении горных работ на глубоких горизонтах и при аварийных ситуациях это направление является достаточно эффективным и перспективным.

Способы охлаждения воздуха без применения холодильных машин можно классифицировать по методу получения холода в установках (системах) и по их реализации, а именно:

- системы с использованием сжатого воздуха;
- системы с использованием льда или холодной воды;
- системы с использованием жидкого воздуха;
- осушение воздуха твердыми сорбентами (силикагель, хлористый кальций и др.), что обеспечивает снижение его температуры при последующем увлажнении.

Способы индивидуального охлаждения горнорабочих предназначены для обеспечения нормальных условий терморегуляции подземных рабочих в тех местах, где применение общего кондиционирования воздуха невозможно или

экономически нецелесообразно. В шахтных условиях могут быть использованы неавтономные, полуавтономные и автономные системы индивидуального охлаждения (специальные костюмы, куртки, комбинезоны и жилеты). Используемые хладоагенты: водяной лед, жидкий аммиак, циркулирующая охлажденная вода, глауберова соль.

Ко второй группе относится искусственное охлаждение воздуха, подаваемого в шахту или на отдельные выемочные участки и в подготовительные выработки холодильными установками.

В мировой практике применяются различные типы и схемы холодильных установок, что связано с разнообразием условий разработки месторождений полезных ископаемых, наличием, мощностью и качеством холодильного оборудования, социально-историческими особенностями страны, региона, ценностью добываемого ископаемого и др.

Схемы расположения оборудования установок для кондиционирования рудничного воздуха могут быть:

- с расположением холодильных машин на поверхности;
- с расположением холодильных машин в шахте.

В зависимости от места расположения пунктов охлаждения воздуха различают:

- централизованную схему охлаждения, при которой воздухоохладители располагаются на поверхности или в специальных выработках околоствольного двора;
- групповую схему охлаждения – воздухоохладители обслуживают группу пластов или участков и охлаждение воздуха может осуществляться в нескольких пунктах подземных выработок;
- местную схему охлаждения – воздухоохладители обслуживают один участок, один очистной или подготовительный забой.

В зависимости от места расположения пунктов охлаждения воздуха при расположении холодильных машин на поверхности возможны следующие модификации установок:

- установки для охлаждения и подачи в шахту воздуха смонтированы на поверхности;
- установки с охлаждением воздуха на глубоких горизонтах при размещении холодильных машин на поверхности;
- установки с размещением холодильных машин и воздухоохладителей на глубоких горизонтах;
- подземные холодильные установки с отводом тепла конденсации на глубоком горизонте.

Анализ известных технических решений по способам и средствам регулирования теплового режима шахт позволяет сделать вывод о том, что применение того или иного способа кондиционирования воздуха определяется в каждом конкретном случае, исходя из технико-экономической оценки возможных вариантов схем и средств регулирования температурных условий на рабочих местах.

Нормализация тепловых условий на рабочих местах глубоких шахт требует значительных затрат. Поэтому сооружение и ввод в действие специальных теплотехнических установок на действующих горных предприятиях будет экономически оправданным лишь после того, как будут исчерпаны положительные эффекты разного рода горнотехнических и технологических способов регулирования климатических условий на глубоких горизонтах шахт. При решении данной проблемы необходимо руководствоваться основными требованиями ПБ: безопасность работ; минимально возможные эксплуатационные затраты; минимально возможные капитальные затраты; конструктивная простота и эксплуатационная надежность способов и средств нормализации тепловых условий.

## **8.2 Горнотехнические способы нормализации климатических условий в выработках глубоких горизонтов**

### **8.2.1 Общие положения**

Микроклимат в горных выработках шахт формируется под влиянием широкого диапазона исходных природных и горнотехнических условий горных работ. Для каждой шахты с глубиной разработки 600 м и больше должен быть разработан комплекс мероприятий по борьбе с повышенными температурами воздуха, на основе которого необходимо выполнять проекты по нормализации тепловых условий труда горнорабочих.

*На действующих шахтах.* В качестве исходных данных при проектировании новых выемочных участков или горизонтов используются материалы замеров температуры воздуха участками ВТБ, а также результаты тепловых съемок, выполненных специальными службами ГВГСС при проведении депрессионных съемок. В случае необходимости при разработке проектов заказывают проведение тепловых съемок в научно-исследовательском институте МакНИИ. При этом уточняются температура горных пород, шахтной воды, расходы притечек воздуха из выработанного пространства, определяются основные источники тепловыделений в выработках.

В условиях принятой на шахте схемы подготовки шахтного поля и схемы проветривания шахты рассматривают вопросы возможности увеличения расхода воздуха на выемочном участке или изменения схемы проветривания выемочного участка, производится прогнозная оценка теплового режима.

Уменьшение теплопритоков в основной воздухоподающей вентиляционной струе в пределах панелей, блоков преимущественно обеспечивают за счет обособленного проветривания магистральных конвейерных выработок (уклонов, бремсбергов, магистральных конвейерных штреков и пр.), камер подъемных машин, подземных электроподстанций.

В качестве локальных мероприятий предусматривают локализацию тепловыделений от шахтной воды в водоотводных канавках путем их надежного перекрытия. Кроме того, необходимо предусматривать изоляцию трубопроводов сжатого воздуха при их наличии.

С учетом предусмотренных мероприятий производят прогнозные тепловые расчеты. Если эти мероприятия не обеспечивают требуемый тепловой режим на рабочих местах, принимают решение о применении искусственного охлаждения воздуха. В случае отказа от холодильного оборудования, с учетом выполнения вышеперечисленных мероприятий, принимают решение о сокращении длины очистного забоя или снижения уровня добычи на выемочном участке, а также сокращении времени работы рабочих согласно ДСП 3.3.1.095-02.

Выбор окончательного решения производится на основании технико-экономического сравнения рациональных горнотехнических и технологических вариантов.

*На реконструируемых шахтах при подготовке новых горизонтов, блоков с проведением вертикальных стволов и при строительстве новых шахт.* Оценка теплового режима при подготовке новых горизонтов, блоков, панелей осуществляется по результатам прогнозирования температурных условий в горных выработках с учетом данных фактических тепловых съемок.

При подготовке новых панелей рассматриваются вопросы рациональной схемы подготовки и схем проветривания основных выработок и выемочных участков с точки зрения минимизации воздействия тепловыделений на тепловое состояние шахтного воздуха.

Выбор вариантов подготовки и системы разработки производят на основе технологической модели, обеспечивающей решение вопросов борьбы с газовым фактором, предупреждения самовозгорания угля, схем проветривания выемочных участков, панелей в целом, транспорта.

Для каждого из рассматриваемых вариантов производятся расчеты проветривания шахтной вентиляционной сети. На основании данных воздухораспреде-



ления выполняют расчеты ожидаемых температурных условий в выработках в соответствии с методиками, изложенными в нормативных документах.

В случае необходимости применения искусственного охлаждения воздуха рассматриваются варианты размещения средств кондиционирования.

Выбор окончательного варианта осуществляется на основании комплексного сравнения вариантов схем подготовки и кондиционирования воздуха.

При строительстве новых шахт или реконструкции шахтной вентиляционной сети путем сооружения новых вертикальных стволов рассматриваются варианты схем проветривания горных выработок, панелей, блоков и др. с точки зрения функций вертикальных стволов по вентиляции – т.е. вентиляционный или воздухоподающий ствол.

В зависимости от схемы подготовки шахтного поля и принятой по другим факторам системы разработки рассматриваются варианты восходящего и нисходящего проветривания основных магистральных выработок панели.

Для шахт переходной глубины, когда имеются горные выработки с температурой вмещающих пород до 30 °С (глубины 500 – 600 м) и глубокие горизонты с температурой горных пород свыше 30 °С, возможны различные варианты подачи свежей струи воздуха на выемочные участки.

Например, подача свежей струи воздуха по выработкам вышележащего горизонта с невысокой температурой горного массива при большой протяженности воздухоподающих выработок обеспечивает ее охлаждение.

При рассмотрении вопросов выбора схем подготовки и проветривания глубоких горизонтов шахты наиболее целесообразным является подача свежей струи воздуха на нижележащий горизонт по воздухоподающему стволу. Данное решение, кроме улучшения тепловых условий, обеспечивает повышение устойчивости проветривания вентиляционной сети как по фактору естественной тяги, так и по условию аварийной ситуации при пожаре в горных выработках.

Оценку горнотехнических способов по тепловому фактору производят на основании прогноза температуры воздуха в выработках шахты для планируемого периода отработки угольных пластов.

### **8.2.2. Исходные данные для тепловых расчетов при оценке способов нормализации климатических условий в выработках глубоких горизонтов**

Исходные данные получают на основании фактических замеров тепловлажностных параметров, давления и скорости воздуха на действующих горизонтах шахт, для которых разрабатывают мероприятия по улучшению и

нормализации тепловых условий в рабочих забоях. Их получают по материалам маршрутных тепловых съемок, выполненных специализированными службами депрессионных и тепловых съемок государственной военизированной горноспасательной службы Украины (ГВГСС), МакНИИ или других компетентных организаций. Тепловые съемки выполняют в соответствии с СОУ-Н 10.1.00174088.027:2011.

На основании тепловых съемок определяют значения относительной влажности воздуха в аналогичных выработках проектируемых участков, коэффициенты утечек воздуха через выработанное пространство лав или через воздухопроводы в тупиковой горной выработке, естественную температуру горных пород для шахтного поля и влажностные характеристики выработок (величины водопритокков технологической и шахтной воды в выработках и их температура и др.).

### **8.2.3. Порядок выбора способов нормализации климатических условий на выемочных участках**

Для принятых вариантов отработки угольных пластов на глубоких горизонтах шахты ожидаемые температурные условия в выработках участков (очистных и подготовительных) рассчитываются по методикам прогнозирования температурных условий. Уточнение геотермических показателей для шахты (геотермическая ступень или геотермический градиент) производят по данным измерений естественной температуры горных пород на действующих горизонтах геолого-маркшейдерской службой шахты.

Расходы воздуха в шахте и на участках принимаются по результатам расчета расхода для очистных и подготовительных забоев по всем факторам для различных периодов развития горных работ в соответствии с рекомендациями НПАОП 10.0-7.08-93.

По рассматриваемым вариантам отработки выемочных участков рассчитывают ожидаемые температурные условия в выработках и производят их технико-экономическую оценку. Вариант отработки выемочного участка должен обеспечивать, кроме нормализации тепловых условий в рабочих забоях, безопасные условия ведения горных работ.

### **8.2.4. Горнотехнические способы нормализации климатических условий на выемочных участках**

К основным горнотехническим способам на выемочных участках относятся:

- обеспечение рациональных по тепловому фактору скоростей движения воздуха в воздухоподающих выработках и в очистных забоях;
- применение эффективных по тепловому фактору схем проветривания выемочных участков;
- нисходящее проветривание лав, сонаправленное движение вентиляционной струи, транспортируемого угля и породы по выработкам;
- уменьшение утечек воздуха через выработанное пространство лав и вентиляционные сооружения;
- увеличение подвижности воздуха на рабочих местах.

#### *Увеличение скорости движения воздуха*

В пределах выемочных участков увеличение скорости движения воздуха по выработке со свежей струей оказывает на тепловые условия под лавами наиболее существенное влияние. В воздухоподающих выработках эффективными являются скорости движения воздуха в пределах  $2,0 \div 2,5$  м/с, в лавах – в пределах  $4,0 \div 6,0$  м/с.

Однако, согласно НПАОП 10.0-1.01-10, скорость воздуха в лаве не должна превышать 4 м/с. Это условие накладывает ограничение на расход воздуха в лаве, а, следовательно, и в воздухоподающей выработке. При необходимости, с целью достижения скорости вентиляционной струи в воздухоподающих выработках  $2 \div 2,5$  м/с и увеличения расхода воздуха на выемочном участке, следует принимать меры по выпуску части воздуха, минуя лаву. Поиск горнотехнических решений для осуществления этих мер производится при проектировании. Как пример возможных решений на не газовых шахтах и на пластах, не склонных к самовозгоранию, могут быть схемы, представленные на рис. 8.2.

#### *Схемы проветривания выемочных участков*

Схемы проветривания выемочных участков классифицированы с учетом теплового фактора на 4 группы. Классификация схем проветривания выемочных участков по тепловому фактору приведена в табл. 4.2. В основу классификации положены направления движения утечек воздуха в выработанном пространстве относительно линии очистного забоя, поступающей и исходящей струй воздуха, а также направления движения подсвежающей струи воздуха относительно очистного забоя.

Схемы проветривания третьей (3а) и четвертой (4б) групп являются наиболее эффективными не только по тепловому фактору, но и по условиям вентиляции газообильных участков и безопасного ведения горных работ. Применение этих схем при отработке тонких и средней мощности угольных пластов позволяет нормализовать климатические условия средствами вентиляции на глубинах с температурой горных пород до  $32 - 35$  °С, а при более высоких

температурах существенно снизить расход холода и мощность холодильного оборудования. Преимущества этих схем в сравнении со схемами первой (1а) и второй (2а и 2б) групп возрастают с увеличением естественной температуры горных пород, т.е. с увеличением глубины разработки.

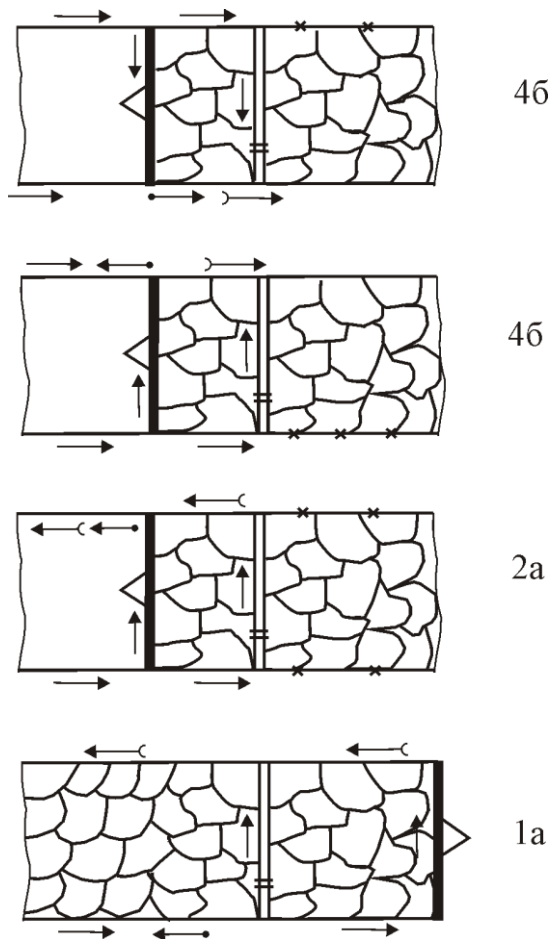


Рисунок 8.2 – Схемы проектных решений по увеличению расхода воздуха на выемочном участке: 1а-4б – схемы проветривания выемочных участков;  $\longrightarrow$  - свежая струя воздуха;  $\dashrightarrow$  - исходящая струя;  $\bullet\longrightarrow$  - конвейерный транспорт;  $\equiv$  - дверь вентиляционная.

### *Нисходящее проветривание лав*

Рекомендуется применять, если это не противоречит действующим ПБ.

При нисходящем проветривании обеспечивается сонаправленное движение воздуха и транспортируемого ископаемого. Это приводит к снижению тепловыделений от угля как в лаве, так и на вентиляционном штреке и снижению приращения температуры воздуха в лаве. Эффект от сонаправленного проветривания становится заметным при грузопотоках ископаемого более 50 т/ч.

На глубине более 800 м при разработке крутопадающих угольных пластов

преимущество нисходящего проветривания лав по тепловому фактору отпадает, так как градиент приращения температуры воздуха в лаве за счет его сжатия ( $0,98\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$ ) прибавляется к общему приращению температуры воздуха, что вызывает необходимость уменьшения длины лавы или нагрузки на очистной забой при соблюдении допустимых санитарных требований по общему приращению температуры воздуха в лаве.

#### *Увеличение подвижности воздуха на рабочих местах*

В забоях тупиковых выработок, в нишах и кутках лав, машинных камерах скорость воздушной струи невысокая и во многих случаях составляет  $0,3 - 0,6\text{ м/с}$ . В соответствии с требованиями Правил безопасности и Санитарных правил допустимая температура воздуха на рабочих местах при этих скоростях должна составлять  $16 - 21\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Увеличить подвижность воздуха на этих местах и повысить, таким образом, допустимую температуру воздуха до  $25 - 26\text{ }^{\circ}\text{C}$  возможно за счет местной циркуляции воздуха, т.е. воздушного душирования рабочих зон с помощью переносных воздушно-душирующих аппаратов «Ветерок-3» (с электроприводом) или «Прохлада ПШ-1» (с пневмоприводом).

Воздушное душирование рекомендуется применять как самостоятельный способ улучшения микроклимата на рабочих местах, так и в сочетании с искусственным охлаждением воздуха, что позволит уменьшить глубину снижения температуры воздуха за счет увеличения его подвижности.

Аппарат «Ветерок-3» применяют в подземных выработках шахт, в том числе опасных по взрывам газа и пыли, где Правила безопасности допускают применение электрооборудования с уровнем взрывозащиты РВ (технические данные приведены в Стандарте СОУ-Н приложение М).

Аппарат «Прохлада ПШ-1» представляет собой кольцевой пневматический эжектор (эжектор Коанда). Аппарат снабжен средствами подвески на арочной крепи, позволяющими поворачивать и фиксировать воздушный факел в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Воздушный аппарат «Прохлада ПШ-1» позволяет увеличить подвижность воздуха в пределах рабочей зоны до  $2,0 - 4,0\text{ м/с}$  без увеличения его расхода и дополнительно снизить температуру воздуха на  $1,5-2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  в рабочей зоне за счет распыления воды в воздушной струе (технические данные приведены в Стандарте СОУ-Н приложение Н).

К новым разработкам, освоенным в серийном производстве, со всей разрешительной документацией по применению в угольных шахтах, относятся турбулизаторы воздуха, которые предназначены для борьбы с местными скоплениями метана, могут использоваться для душирования рабочих мест при повышенной температуре воздуха, проветривания застойных зон и коротких вы-

работок (технические данные приведены в Стандарте СОУ-Н приложение П).

Турбулизаторы создают свободную струю воздуха (факел), имеют небольшие размеры, энерго- и металлоемкость относительно показателей расходов воздуха. Использование пневматической и гидравлической энергии в угольных шахтах более безопасно. Турбулизаторы с гидроприводом могут работать от гидросистем машин и комплексов.

### **8.2.5. Технологические мероприятия по нормализации тепловых условий на выемочных участках**

К ним относят:

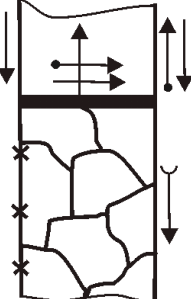
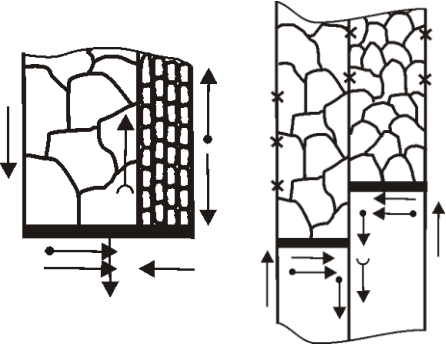
- применение столбовых и комбинированных систем разработки пластов;
- применение технологических схем отработки выемочных участков с расположением конвейерного транспорта в выработке с подсвежающей струей воздуха или с исходящей струей;
- применение оборудования с оптимальной по суточным нагрузкам установленной мощностью электродвигателей;
- увеличение поперечного сечения призабойного пространства лав для увеличения расхода воздуха на участке;
- минимальное по горнотехническим условиям сечение воздухоподающих выработок.

#### *Технологические схемы разработки пластов*

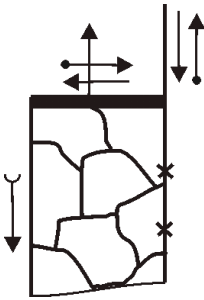
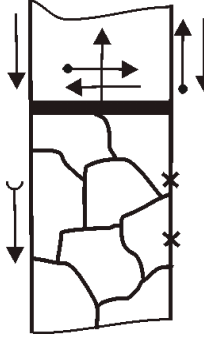
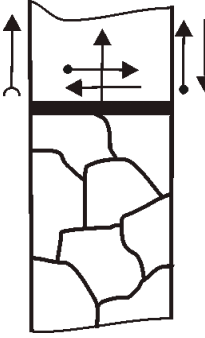
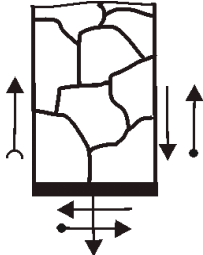
Вентиляционные и технологические способы регулирования тепловых условий на выемочных участках тесно взаимосвязаны. Вариант системы разработки, схемы проветривания участка, размещение транспорта и оборудования в выработках определяют тепловой режим выработок выемочного участка. С учетом этих признаков технологические схемы разработки пологих и наклонных пластов Донбасса классифицированы по тепловому фактору (табл. 8.1).

Сравнительная оценка технологических схем отработки выемочных участков по тепловому фактору выполнена на основании вариантных тепловых расчетов в широком диапазоне горно-геологических и горнотехнических условий разработки шахт Донбасса по методике, изложенной в СОУ-Н 10.1.00174088.027:2011. При этом в качестве основного показателя, характеризующего горно-геологические условия разработки, принята естественная температура горных пород, а не глубина работ, так как геотермические характеристики шахт Донецкого бассейна по площади отличаются почти в два раза.

Таблица 8.1  
Классификация технологических схем разработки пологих и наклонных угольных пластов по тепловому фактору

Группа технологических схем	Основные классификационные признаки	Номер варианта технологической схемы <sup>*)</sup>	Схема варианта отработки выемочного участка	Индекс схемы проветривания выемочного участка
1	2	3	4	5
I	Системы разработки длинными столбами по простиранию и восстанию, прямоточные схемы проветривания на выработанное пространство с подسهжением исходящей вентиляционной струи по конвейерной выработке	6(2), 7(1), 19, 24, 30(1), 31		4б
	Сплошная и столбовая системы разработки длинными спаренными столбами по простиранию и восстанию, возвратноточные схемы проветривания	22(2), 25(2)  36		1а  2а

Продолжение таблицы 8.1

1	2	3	4	5
I	Системы разработки длинными столбами по простиранию и восстанию, прямоточные схемы проветривания на выработанное пространство	20, 21, 33, 34		16
II	Те же системы разработки со схемами проветривания на выработанное пространство с подвежением со стороны массива угля и расположением транспорта в воздухоподающей выработке	22(1)		4б
III	Системы разработки длинными столбами по простиранию и восстанию, возвратно-точные схемы проветривания на массив угля и расположением конвейерного транспорта в воздухоподающей выработке	4, 8(1), 9(1), 23, 32		2a
IV	Сплошная и комбинированная системы разработки по простиранию и падению, возвратно-точная схема проветривания на выработанное пространство	23, 25(1)		1a

\*) Горно-геологические условия применения каждой технологической схемы приведены в Технологических схемах разработки пластов на угольных шахтах. Ч.1 Технологические схемы. Ч.2 Набор модулей и пояснительная записка - М.: ИГД им. А.А.Скочинского, 1991 г.



Эффективными по тепловому фактору являются технологические схемы I и II групп (табл.8.1). Это схемы со столбовой системой разработки и схемами проветривания выемочных участков с обособленным разбавлением вредностей по источникам их поступления (схемы 4б и 3а табл.4.2).

#### *Потребление электроэнергии*

Тепловыделения от работы машин и механизмов являются одним из основных источников повышения температуры воздуха в горных выработках. В тепловом балансе выработок выемочного участка они составляют до 20%, а в лавах – 35÷55% и растут с увеличением установленной мощности электрооборудования. Даже при максимальных расходах воздуха в лавах тепловыделения от работы электрооборудования могут повысить температуру воздуха на 3 – 6 °С.

При обработке глубоких горизонтов мощность электродвигателей машин и механизмов должна быть оптимальной по производительности и назначению. Рекомендуется также применение машин и механизмов с пневмоприводом. Выемочные и транспортные средства с пневмоприводом практически не повышают температуру воздуха в выработках, т.е. имеют результирующий нулевой тепловой эффект, так как охлаждающее воздействие расхода сжатого воздуха нейтрализует выделившееся тепло при трении механизмов во время их работы.

#### *Сечение выработок*

Для увеличения расхода воздуха в лавах и на участках рекомендуется применять механизированные крепи с максимальным поперечным сечением. При индивидуальной крепи паспорта отработки лав разрабатывают с учетом увеличения поперечного сечения лав с учётом обеспечения допустимой скорости движения воздуха.

Сечение воздухоподающих выработок должно быть минимальным по технологии ведения горных работ для поддержания в них эффективной скорости воздуха 2,0-2,5 м/с. Выработки с исходящей вентиляционной струей целесообразно иметь с большим поперечным сечением.

### **8.2.6. Специальные горнотехнические способы нормализации климатических условий на выемочных участках**

К специальным горнотехническим способам относятся:

- отвод утечек воздуха из выработанного пространства за пределы выемочных участков;
- теплоизоляция стенок горных выработок и нагревающих трубопроводов;

- осушение выработок и воздуха;
- изолированный отвод тепловыделений от работающих машин;
- снижение тепловыделений при транспортировке горной массы.

*Изолированный отвод теплопритоков воздуха  
из выработанного пространства*

Новым направлением в регулировании тепловых условий на выемочном участке являются способы, основанные на предотвращении поступления утечек воздуха из выработанного пространства в лаву и на вентиляционный штрек. Способы применяют, как правило, когда увеличением расхода воздуха и искусственным охлаждением не обеспечивается допустимая Правилами безопасности температура воздуха в конце и на исходящей струе лавы.

На газовых шахтах отвод утечек воздуха из выработанного пространства обеспечивает также предупреждение местных скоплений метана на сопряжении лавы и выработанного пространства. Отвод утечек воздуха осуществляют по дегазационным трубопроводам. Возможны два варианта осуществления данного способа:

- охлаждение утечек воздуха непосредственно в месте их отсоса до температуры воздуха на выходе из лавы (рис. 8.3а);
- отсос утечек воздуха по теплоизолированному трубопроводу и охлаждение их за пределами участка (рис. 8.3б).

В первом варианте, который применяют на газовых шахтах, проект составляют в соответствии с требованиями НПА ОП 10.0-7.08-93. Для негасовых шахт выбор способа отвода утечек воздуха определяют на основании технико-экономического анализа.

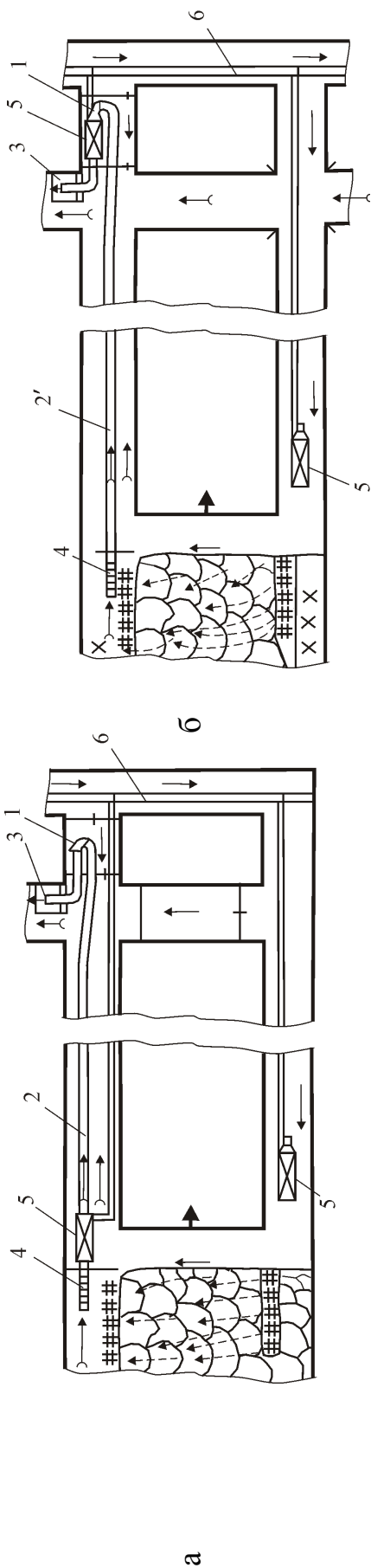
*Осушение выработок и воздушного потока*

Источниками повышения влагосодержания вентиляционного воздуха, поступающего по выработкам шахты, являются технологическая вода, естественная влажность горного массива и приток шахтных вод. На глубоких горизонтах расход технологической воды должен быть минимальным. Утечки технологической воды необходимо предотвращать. Для борьбы с пылью необходимо применять сухие способы. Естественные водопритоки в выработки шахты необходимо локализовывать и отводить по закрытым канавкам или трубам в общешахтный водосборник.

Одним из перспективных способов улучшения и нормализации тепловых условий на выемочных участках является осушение воздуха перед поступлением его в лаву.

Воздух под лавой (на расстоянии 100-150 м) охлаждают ниже точки росы и по воздухопроводу подают непосредственно к лаве. При движении по возду-

### Столбовая система разработки



### Сплошная система разработки

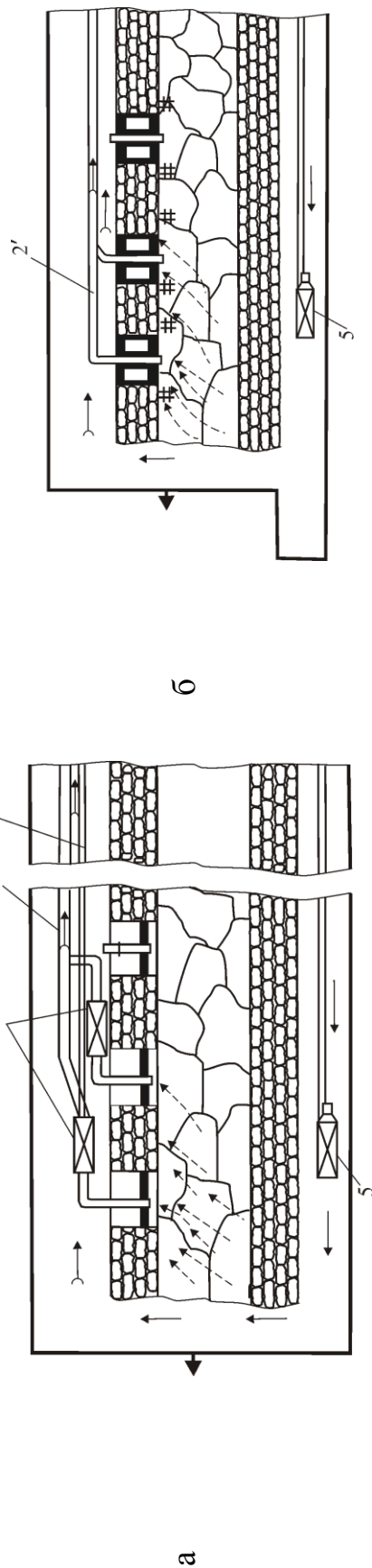


Рисунок 8.3 – Технологические схемы отвода утечек воздуха из выработанного пространства выемочных участков при столбовой и сплошной системах разработки пластов: а – с охлаждением утечек воздуха в местах их отсоса; б – отсос утечек воздуха по теплоизолированному трубопроводу с последующим их охлаждением; 1 – вентилятор; 2 – воздухопровод; 2' – теплоизолированный воздухопровод; 3 – смесительная камера; 4 – всасывающий патрубок; 5 – воздухоохладитель; 6 – трубопроводы хладоносителя; → – свежая струя воздуха; ↘ – исходящая струя; - - -> – утечки воздуха; † – вентиляционная перегородка с окном.

хопроводу он нагревается без увлажнения до допустимой санитарными нормами температуры воздуха на входе в лаву. Относительная влажность воздуха при этом значительно снижается, а на входе в лаву при его смешивании с остальным воздухом, поступающим по выработке, происходит интенсивное влагоприращение воздушного потока и снижение температуры воздуха по сухому термометру на 2 – 3 °С.

Способ позволяет улучшить тепловые условия в лаве с соблюдением допустимых санитарными нормами перепадов температуры воздуха по ее длине, без дополнительного охлаждения воздуха в лаве или уменьшения ее длины.

#### *Теплоизоляция стенок горных выработок*

Теплоизоляцию стенок горных выработок применяют для снижения теплопритоков от массива горных пород в воздух. Расчётный анализ показал, что наиболее эффективно применение теплоизоляции на участках выработок со временем их проветривания не более 3 мес. и на участках выработок между пунктом охлаждения воздуха и лавой, где происходит наиболее интенсивное теплонасыщение воздушного потока.

В качестве теплоизоляционных материалов для угольных шахт рекомендуются различные материалы, которые не увеличивают пожарную опасность выработок. Физико-технические характеристики различных теплоизоляционных материалов приведены в приложении Е.

#### *Отвод тепловыделений от местных источников*

Основными источниками тепловыделений на поступающей в выработки свежей струе воздуха являются работающие машины и механизмы, транспортируемое ископаемое.

Отвод тепловыделений от работающих машин и механизмов (насосы, трансформаторы) осуществляют путем обособленного проветривания камер, в которых они установлены, с направлением исходящей струи воздуха по выработкам, скважинам, вентиляционным трубам непосредственно в исходящую вентиляционную струю участка, крыла, шахты.

Предотвращение теплопритоков от конвейерного транспорта с большими грузопотоками (более 100 т/ч) осуществляют расположением конвейеров в специальных выработках с проветриванием их обособленной струей воздуха.

Для отвода тепловыделений от гидросистем и водоохлаждаемых электродвигателей проходческих комбайнов можно использовать хладоноситель, поступающий к участковым воздухоохладителям. За счет этого может быть локализовано до 25% тепловыделений от работы проходческих комбайнов.

В каждом конкретном случае целесообразность применения каждого мероприятия определяется сравнением затрат на производство холода и затрат на отвод или локализацию теплопритоков.

### *Снижение тепловыделения при транспортировке горной массы*

В конвейерных выработках при большом грузопотоке (более 100 т/ч) необходимо принимать специальные меры по предотвращению тепло- и массообмена транспортируемой горной массы с воздухом, поступающим к рабочим забоям. Высокие тепловыделения от транспортируемого угля или породы в таких выработках обусловлены:

- высокой начальной температурой горной массы;
- высоким температурным напором (15- 20 °С и выше) от горной массы на конвейере к воздуху, движущемуся по выработке;
- значительной поверхностью теплообмена горной массы на конвейере и высокими значениями коэффициента теплоотдачи с её поверхности при орошении;
- повышенной влажностью транспортируемой горной массы, обусловленной её увлажнением с целью борьбы с пылеобразованием;
- интенсивным влагообменом между увлажнённой горной массой и вентиляционной струей.

Таким образом, перенесение транспортировки ископаемого в обособленно проветриваемые выработки может дать значительный эффект и предотвратить нагрев вентиляционной струи, поступающей на выемочные участки и в подготовительные выработки.

Если же по условиям вскрытия и подготовки шахтного поля перенести транспортировку ископаемого в обособленно проветриваемые выработки невозможно, необходимо принимать меры по снижению количества тепла, выделяющегося в воздушную струю от транспортируемого ископаемого.

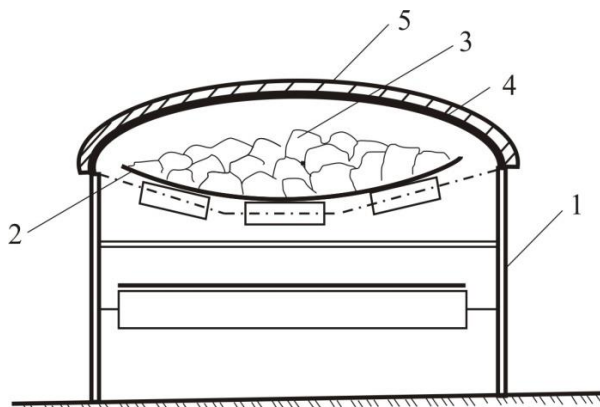


Рисунок 8.4. Схема укрытия ленточного конвейера: 1 – конвейер; 2 – конвейерная лента; 3 – уголь; 4 – экран с покрытием; 5 – тепловая изоляция.

Существенное снижение тепловыделений при конвейерной транспортировке ископаемого может быть достигнуто путём изоляции горной массы на конвейере (рис.8.4).

Предложенное техническое решение может быть осуществлено с помощью жёсткого или гибкого экрана 4 (укрытия), установленного на конвейере 1 и изолирующего слой угля на конвейере от вентиляционной струи. С наружной стороны экран покрыт теплоизоляцией 5, а с внутренней имеет покрытие, отражающее тепловое излучение горной массы.

При электровозной откатке в вагонетках снижение тепловыделений от транспортируемого ископаемого может быть достигнуто путем применения вагонеток с тепловой изоляцией кузова. При этом открытая поверхность ископаемого может перекрываться специальными матами из теплоизоляционного материала.

### **8.2.7. Техничко-экономическая оценка горнотехнических способов нормализации климатических условий**

Техничко-экономическую оценку принимаемых решений производят на основании сопоставления приведенных затрат по базовому и предлагаемому вариантам нормализации тепловых условий по формуле

$$\Delta = C_{\bar{o}} - C_n + E(K_{\bar{o}} - K_n), \quad (8.1)$$

где  $C_{\bar{o}}$ ,  $C_n$  – годовые эксплуатационные расходы соответственно по базовому и предлагаемому вариантам, тыс. грн.;  $K_{\bar{o}}$ ,  $K_n$  – капитальные затраты соответственно по базовому и предлагаемому вариантам, тыс. грн.;  $E$  – нормативный коэффициент сравнительной эффективности капитальных вложений – норматив дисконтирования или приемлемая для инвестора норма доходов на вложенный капитал, д.ед.

Норму дисконта  $E$  определяют с учетом трех составляющих: темпа инфляции, реальной минимальной нормы прибыли (0,1 – 0,3) и коэффициента, учитывающего степень риска.

Стоимостные параметры определяют для основных видов работ:

- проведения горных выработок;
- перекрепления горных выработок;
- поддержания горных выработок;
- стоимости электроэнергии на проветривание горных выработок;
- стоимости электроэнергии на охлаждение воздуха.

Расчет капитальных затрат на проведение и перекрепление горных выработок производят в соответствии с нормативными документами и утвержденными пересчетными коэффициентами на горно-строительные работы.

Стоимость поддержания выработок рассчитывают по формуле

$$C_{\text{под}} = l \cdot S \cdot r \cdot \tau (1 + \kappa_y + 2\rho), \quad (8.2)$$

где  $l$  – длина поддержания выработки, м;  $S$  – площадь поперечного сече-

ния выработки в свету, м<sup>2</sup>;  $r$  – стоимость поддержания 1 м<sup>3</sup> штрека в свету в год при средних горногеологических условиях, грн.;  $\tau$  – срок службы выработки, лет;  $\rho$  – коэффициент, зависящий от вида крепи. Для деревянной крепи  $\rho = 0,6$ ;  $\kappa_y$  – коэффициент влияния устойчивости окружающих пород. Для пород средней устойчивости при деревянной крепи  $\kappa_y = 1,0$ .

Стоимость электроэнергии на проветривание выработок состоит из стоимости оплаты за установленную мощность и стоимости оплаты по счетчику в год. Если замена вентилятора не предусматривается, то оплата за установленную мощность в базовом и принимаемом вариантах одинаковы.

Стоимость расходуемой электроэнергии на проветривание в год рассчитывают по формуле:

$$C_{эл.пр.} = \frac{24 \cdot 365 \cdot \kappa_z \cdot \sigma \cdot h_{дв} \cdot Q}{102 \cdot \eta_y \cdot \eta_c}, \quad (8.3)$$

где  $\kappa_z$  – коэффициент загрузки двигателя;  $\sigma$  – стоимость 1 кВт электроэнергии по счетчику, грн.;  $h_{дв}$  – депрессия вентилятора, Па;  $Q$  – расход воздуха для проветривания горных выработок, м<sup>3</sup>/с;  $\eta_y$  – общий к.п.д. вентиляционной установки;  $\eta_c$  – кпд электрической сети.

Дополнительный расход средств на проветривание равен:

$$\Delta C_{эл.пр.} = C_{эл.пр.п} - C_{эл.пр.б}, \quad (8.4)$$

где  $C_{эл.пр.п}$ ,  $C_{эл.пр.б}$  – годовые затраты на проветривание соответственно по принимаемому и базовому вариантам, тыс. грн.

Затраты на охлаждение воздуха по базовому и предлагаемому вариантам определяют на основании тепловых расчетов по стоимости электроэнергии с учетом режима работы холодильной установки.

Общий годовой экономический эффект рассчитывают по разности затрат на кондиционирование воздуха и проветривание с учетом дополнительных капитальных затрат по базовому и принимаемому вариантам отработки выемочных участков:

$$\mathcal{E}_{об} = (\Delta C_{эл.к} - \Delta C_{эл.пр.}) - E \cdot \Delta K, \quad (8.5)$$

где  $\Delta C_{эл.к}$ ,  $\Delta C_{эл.пр}$  – дополнительные затраты на электроэнергию для охлаждения воздуха и проветривание соответственно по базовому и принимаемому вариантам отработки выемочных участков, тыс. грн.;  $\Delta K$  – дополнительные капитальные затраты по базовому и принимаемому вариантам, тыс. грн.

## **8.3. Искусственное охлаждение шахтного воздуха**

### **8.3.1. Общие положения**

На шахтах, где нормализация температурных условий в рабочих забоях не может быть обеспечена за счет горнотехнических мероприятий, применяют искусственное охлаждение воздуха с использованием передвижных или стационарных систем кондиционирования рудничного воздуха (СКРВ). В соответствии с ПБ не допускается приемка в эксплуатацию новых и реконструируемых шахт, горизонтов, выемочных участков, очистных забоев и других объектов, не обеспеченных нормально действующими техническими средствами для кондиционирования воздуха.

Стационарные СКРВ применяются для охлаждения воздуха в очистных и подготовительных выработках шахты, блока или крыла, передвижные - для охлаждения воздуха преимущественно при проходке подготовительных выработок. Стационарные и передвижные СКРВ сооружают в соответствии с проектами, выполненными и утвержденными в установленном порядке. Производительность холодильных станций, тип холодильного оборудования, способы его размещения и режимы работы устанавливаются проектом.

Содержание, состав, порядок разработки, согласование и утверждение проектов, которыми предусматривается строительство новых, расширение и реконструкция действующих стационарных СКРВ, должны соответствовать ДСТУ БА.2.4-4-99.

Перед утверждением проекты стационарных и передвижных СКРВ должны проходить экспертизу в МакНИИ на соответствие НПАОП 10.0-1.01-10 и СОУ-Н 1110.1.00174088.027:2011.

Стационарные и передвижные СКРВ должны обеспечивать в охлаждаемых выработках климатические условия согласно требованиям ПБ.

Холодильная мощность СКРВ должна соответствовать максимальной холодопотребности охлаждаемых выработок с учетом потерь холода по пути движения хладоносителя и рудничного воздуха. Прогноз тепловых условий и определение холодопотребности объектов охлаждения выполняют в соответствии с методическими положениями разделов 6 и 7 Стандарта СОУ-Н.

Монтаж и техническая эксплуатация СКРВ выполняются в соответствии с требованиями НПАОП 10.0-1.01-10, ГСТУ 101.00174088.001-03, эксплуатационных документов предприятий-изготовителей оборудования и руководящих нормативных документов по безопасности и охране труда, действующих в отрасли. В части, не противоречащей НПАОП 10.0-1.01-10, ГСТУ 101.00174088.001-03, следует, кроме того, руководствоваться требованиями



Правил устройства и безопасной эксплуатации фреоновых холодильных установок и Правил устройства и безопасной эксплуатации холодильных систем.

Ответственность за обеспечение эффективной и безопасной эксплуатации шахтной СКРВ возлагается на начальника специализированного участка по нормализации тепловых условий (кондиционированию воздуха), за общее состояние холодильного оборудования - на главного механика шахты, за обеспечение нормальных тепловых условий в рабочих забоях - на главного инженера шахты.

### **8.3.2. Принцип работы холодильных машин**

#### **8.3.2.1. Общие понятия о холодильных машинах**

*Холодильная машина* – это устройство для понижения температуры в замкнутом пространстве при затрате энергии. С помощью холодильной машины рабочее тело (хладагент) совершает круговой процесс переноса теплоты от охлаждаемой среды к охлаждающей, т. е. – холодильный цикл. В холодильном цикле происходит замкнутая циркуляция хладагента, сопровождающаяся передачей теплоты, полученной хладагентом от охлаждаемого тела другому телу, например, окружающей среде (рассолу, воде или воздуху).

Для передачи теплоты от тела с низкой температурой к телу с высокой температурой, согласно второму закону термодинамики, должна быть затрачена энергия. В зависимости от вида энергии, необходимой для осуществления холодильного цикла, различают два типа холодильных машин:

- машины с затратой механической работы (компрессионные холодильные машины – воздушные и паровые);
- машины с затратой теплоты (абсорбционные и парожеткторные холодильные машины).

В зависимости от температуры, которая должна быть достигнута при охлаждении, различают холодильные установки умеренного холода (температуры до - 70 °С) и установки глубокого холода или криогенной техники (температуры до - 200 °С и ниже).

С помощью криогенной техники сжижают воздух и другие газы. Область применения умеренного холода настолько обширна, что практически нет такой отрасли промышленности, где бы ни применялись холодильные установки.

#### **8.3.2.2. Рабочие тела холодильных установок**

*Рабочим телом* – «холодильным агентом» – современных холодильных установок являются, главным образом, пары жидкостей, кипящих при низких температурах.

К холодильным агентам, применяемым в холодильной технике, предъявляются следующие требования:

- не должны негативно влиять на внешнюю среду;
- должны быть не горючими и не токсичными;
- иметь невысокое рабочее давление;
- иметь высокие удельные показатели фазового перехода жидкость – газ;
- иметь невысокий удельный объем в газообразной фазе;
- иметь умеренные температуры в режиме сжатия в компрессоре для избежания сгорания смазывающих масел;
- обладать низкими показателями удельной теплоемкости в жидкой фазе;
- быть не дорогими при производстве и иметь достаточные объемы производства.

В настоящее время в холодильных машинах применяется около 30 холодильных агентов, наиболее распространенными из которых являются аммиак, углекислый газ, сернистый ангидрид и фреоны. Термодинамические характеристики некоторых холодильных агентов приведены в табл. 8.6.

Таблица 8.6.

Термодинамические характеристики распространенных холодильных агентов

Холодильный агент	Химическая формула, состав	Молекулярная масса	Температура кипения при нормальном давлении, °С	Критическая температура, °С	Критическое Давление, МПа	Температура Замерзания, °С	Озоноразрушающий потенциал, ODP
Аммиак (R717)	NH <sub>3</sub>	17,03	-33,4	132,3	11,33	-77,7	0
Сернистый ангидрид (R764)	SO <sub>2</sub>	64,06	-10,0	157,5	7,8	-75,2	0
Углекислый газ (R744)	CO <sub>2</sub>	44,01	-78,9	31,0	7,38	-56,6	0
Фреон-11 (R11)	CFC1 <sub>3</sub>	137,37	23,7	198,0	4,41	-111,0	1,0
Фреон-12 (R12)	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	120,92	-29,8	112,0	4,14	-55,0	0,82
Фреон-22 (R22)	CHClF <sub>2</sub>	86,47	-40,85	96,2	4,99	-160,0	0,04
Фреон-134А (R134А)	CH <sub>2</sub> F <sub>3</sub>	102,03	-26,1	101,1	4,06	-96,6	0
Фреон-502 (R502)	R22/R115 48,5/51,2	111,63	-45,3	81,5	4,02	-	0,311

Аммиак (R717) – бесцветный газ с удушливым запахом, при содержании в воздухе больше 0,03% вреден. Смесь аммиака с воздухом при определенных концентрациях может взрываться. Применяется аммиак для температур кипения не ниже – 65° С.

Сернистый ангидрид SO<sub>2</sub> (R764) – бесцветный газ с тяжелым удушливым запахом, применяется в мелких автоматизированных установках закрытого типа.

Углекислый газ (R744) – бесцветный газ без запаха. Значительные концентрации его вызывают удушье.

Фреоны – предельные галоидозамещённые углеводороды – относятся к числу технически важных веществ. Одна из основных и традиционных сфер их использования – получение искусственного холода в системе промышленного и транспортного кондиционирования. Используют фреоны также для медицинских, бытовых и технических целей.

Фреоны применимы в качестве охлаждающего агента мощных электродвигателей и в качестве рабочего тела в турбоустановках, работающих на вторичных энергоресурсах промышленных предприятий.

Для обозначения этого класса хладагентов используется аббревиатура:

CFC – (chlorine – fluorine – carbon) – по первым буквам латинских названий химических элементов, входящих в состав хладагента;

ХФУ – (хлор – фтор – углерод) – по первым буквам русских названий химических элементов, входящих в состав хладагента.

В бытовых холодильниках и кондиционерах, в промышленных установках чаще использовался хладагент R-12 (фреон-12). В середине прошлого века был синтезирован и стал широко применяться класс хладагентов – гидрохлорфторуглеродов – HCFC (ГХФУ). Наибольшее распространение получили хладагенты этого класса R-22 и R-502.

Все применяемые в настоящее время хладагенты при утечке в атмосферу разрушают озоновый слой, защищающий живые организмы на Земле от вредного воздействия ультрафиолетового солнечного излучения. Поэтому в мире широко ведутся изыскания по альтернативной замене существующих озоноразрушающих хладагентов. Приняты ряд решений по защите озонового слоя на международном уровне (Монреальский Протокол 1987 г., Лондонское Соглашение 1990 г., Копенгагенская Программа 1992 г.) путем постепенного прекращения производства и запрета на применение фреонов CFC и HCFC. В настоящее время основное внимание уделяется замене (ретрофиту) фреона R12 на R-134A, R 401A, R409A, R401B; R500 на R401B; R502 на R404A, R507, R408A, R402B; R22 на R407C и другие хладагенты.

### 8.3.2.3. Циклы холодильных установок

**Цикл воздушной компрессорной холодильной установки.** В промышленных масштабах холод впервые был получен с помощью воздушных компрессорных холодильных установок (рис. 8.4, а). Воздух, являющийся хладагентом, после холодильной камеры (рефрижератора)  $P$  направляется в турбокомпрессор  $TK$ , где за счет затрат удельной работы  $l_1$  адиабатно сжимается до давления  $p_2$  с повышением температуры от  $T_1$  до  $T_2$ . Сжатый в турбокомпрессоре воздух затем поступает в теплообменник  $TO$ , где его температура понижается до  $T_3$  в изобарном процессе 2 - 3 (рис. 8.4, б) за счет отдачи удельной теплоты  $q_1$  окружающей среде (проточной воде). Охлажденный воздух направляется в расширительную машину (турбодетандер)  $TD$ , адиабатно расширяется (процесс 3 - 4) в ней с отдачей удельной работы  $l_2$  турбокомпрессору. Поэтому удельная работа, затрачиваемая в цикле, равна

$$l_1 = l_1 - l_2. \quad (8.6)$$

Адиабатное расширение воздуха сопровождается понижением его температуры от  $T_3$  до  $T_4$ . Охлажденный таким образом воздух проходит через рефрижератор  $P$ , в котором в установке поддерживается требуемая низкая температура. Здесь происходит отбор теплоты от охлаждаемой среды и за счет этого нагрев воздуха от  $T_4$  до  $T_1$  при  $p = const$  (процесс 4-1). Далее воздух направляется в турбокомпрессор и цикл повторяется.

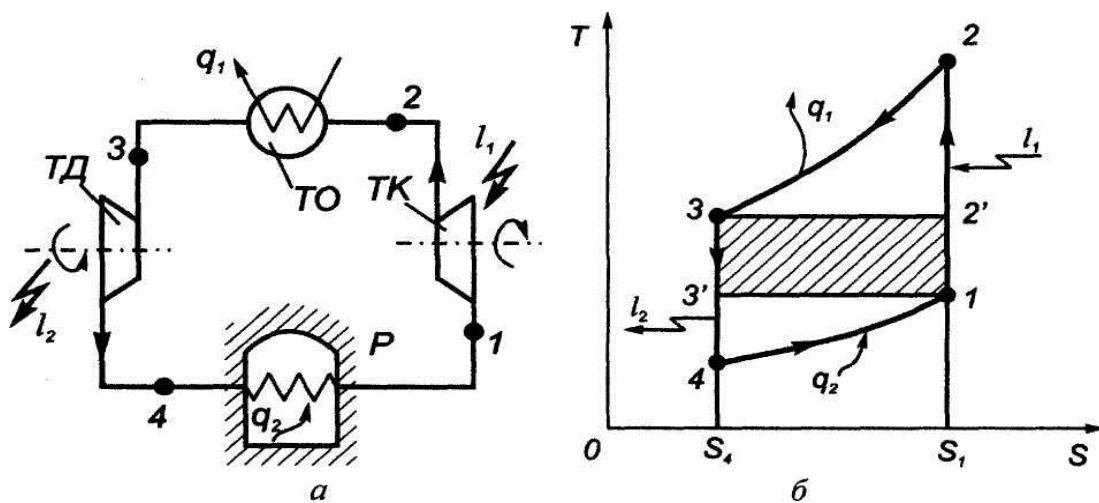


Рисунок 8.4. Схема воздушной компрессорной холодильной установки (а) и цикл ее работы (б):  $T$  – температура,  $^{\circ}C$ ;  $S$  – энтропия, Дж/кг;  $l$  – удельная работа, Дж/кг,  $q$  – удельная теплота, Дж/кг.

Таким образом, в результате осуществления цикла удельная теплота  $q_2$  передается с более низкого температурного уровня  $T_1$  на более высокий  $T_3$ .

Принимая воздух идеальным газом с постоянной теплоемкостью, выражение холодильного коэффициента цикла охлаждения установки или коэффициента её

термодинамической эффективности  $\varepsilon = \frac{q_2}{l}$  запишем в виде:

$$\varepsilon = \frac{q_2}{l} = \frac{q_2}{q_1 - q_2} = \frac{T_1}{T_2 - T_1} = \frac{T_4}{T_3 - T_4}. \quad (8.7)$$

Работа сжатия в компрессоре ( $TK$ ) воздушной холодильной машины

$$l_1 = l_k c_p (T_2 - T_1) = i_2 - i_1. \quad (8.8)$$

Работа расширения в детандере ( $TD$ )

$$l_2 = l_d c_p (T_3 - T_4) = i_3 - i_4. \quad (8.9)$$

Холодопроизводительность

$$q_2 = c_p (T_1 - T_4) = i_1 - i_4. \quad (8.10)$$

Отводимая в цикле теплота

$$q_1 = c_p (T_2 - T_3) = i_2 - i_3. \quad (8.11)$$

Для обратного цикла Карно, совершаемого в одном и том же интервале предельных температур  $T_1$  и  $T_3$  (цикл  $1-2'-3-3'$  на рис. 8.4, б), холодильный коэффициент определяется выражением:

$$\varepsilon_k = \frac{T_1}{T_3 - T_1}. \quad (8.12)$$

Так как  $T_3 < T_2$  то  $\varepsilon_k > \varepsilon_{6.x.}$ . Этот вывод наглядно иллюстрируется  $TS$  – диаграммой (рис. 8.4, б), из которой следует, что в цикле воздушной компрессорной холодильной установки отбирается меньше теплоты, чем в обратном

цикле Карно (пл.  $4-1-s_1-s_2 < \text{пл. } 3'-1-s_1-s_4$ ), а затрачивается работы значительно больше. Кроме того, из-за малой теплоемкости воздуха такие установки отличаются малой холодопроизводительностью и требуют больших объемов воздуха, т. е. громоздкого оборудования.

**Цикл паровой компрессорной холодильной установки.** Более выгодны и удобны по сравнению с воздушными паровые компрессорные холодильные установки, позволяющие в области насыщенного пара осуществить изотермические отвод и подвод теплоты, отбираемой у охлаждающей среды, и приблизить холодильный цикл к обратному циклу Карно. В качестве хладагентов в этих установках используются пары жидкостей, температура кипения (насыщения) которых при атмосферном давлении ниже  $0^\circ\text{C}$  (низкокипящие жидкости): аммиак ( $t_n = -35^\circ\text{C}$ ), фреон-12 ( $t_n = -30^\circ\text{C}$ ), хлористый метил ( $t_n = -23^\circ\text{C}$ ) и др.

Схема паровой компрессорной холодильной установки и цикл ее работы показаны на рис. 8.5. Влажный насыщенный пар хладагента всасывается компрессором  $K$  и адиабатно сжимается (процесс  $1-2$ ) с затратой удельной внешней работы  $l_0$ . После компрессора сжатый пар поступает в конденсатор  $K'$ , где при постоянных давлении и температуре за счет отвода охлаждающей средой (вода, воздушная среда) от пара удельной теплоты  $q_1$  осуществляется полная конденсация пара (процесс  $2-2'-3$ ).

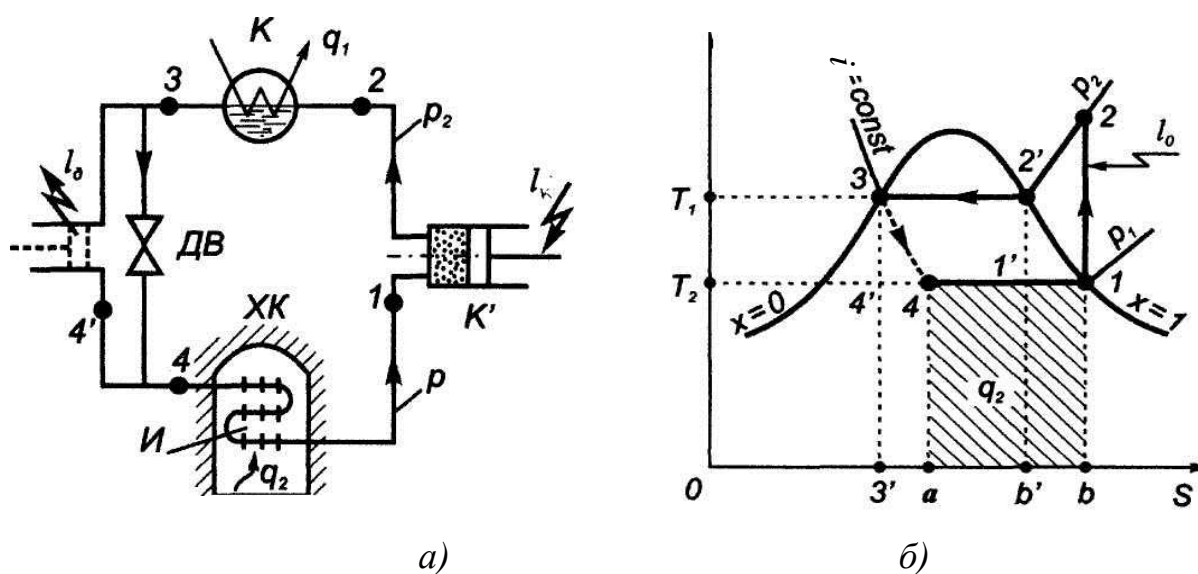


Рисунок 8.5. Схема паровой компрессорной холодильной установки (а) и цикл ее работы (б):  $T$  – температура,  $^\circ\text{C}$ ;  $S$  – энтропия, Дж/кг;  $l_0$  – удельная внешняя работа, Дж/кг;  $q$  – удельная теплота, Дж/кг;  $p$  – давление, Па;  $i$  – энтальпия, Дж/кг;  $r$  – удельная теплота парообразования хладагента, Дж/кг.

Для снижения температуры хладагента можно применить расширительную машину (детандер) и осуществить в ней адиабатное расширение  $3-4'$  (с выполнением удельной внешней работы  $l_0$  за счет убыли внутренней энергии). Образовавшаяся парожидкостная смесь (влажный пар) с низкой температурой  $T_2$  поступает по трубам в испаритель  $I$ , установленный в холодильной камере  $XK$ , где находятся охлаждаемые тела, и отбирает у них удельную теплоту  $q_2$ . За счет этой теплоты происходит дальнейшее испарение жидкой фазы хладагента при постоянных температуре и давлении (процесс  $4'-1'$ ), и образовавшийся пар вновь засасывается компрессором  $K'$ .

Очевидно, что холодильный коэффициент рассмотренного цикла  $1'2'34'1'$  равен холодильному коэффициенту обратного цикла Карно и зависит только от температуры насыщения пара при испарении  $T_1$  и температуры его конденсации  $T_2$ .

Несмотря на то, что в заданном интервале температур от  $T_1$  до  $T_2$  обратный цикл Карно обеспечивает максимальный холодильный коэффициент, по техническим и эксплуатационным причинам при создании холодильных установок вносят ряд изменений.

Из-за сложности создания детандера, работающего на влажном паре и малой получаемой работы, расширительную машину заменяют регулирующим дроссельным вентилем  $ДВ$  или каким-либо другим устройством (диафрагмой, капиллярной трубкой), в котором хладагент после конденсатора дросселируется с понижением давления и температуры (процесс  $3-4$ ). Поскольку процесс дросселирования является необратимым, на  $Ts$  – диаграмме он показан условно штриховой кривой  $i = const$ . Необратимость дросселирования приводит к уменьшению холодопроизводительности установки по сравнению с циклом Карно на величину  $\Delta q_2 = пл. 4'4a3'4'$  и снижению холодильного коэффициента. Несмотря на это, применение дросселирования хладагента является простым и удобным способом его охлаждения и регулирования температуры пара, поступающего в испаритель.

В цикле Карно компрессор всасывает влажный пар хладагента (точка  $1'$ ) и сжимает его до состояния сухого насыщенного пара (точка  $2'$ ). Из-за неблагоприятных гидродинамических условий работы компрессора (попадание жидкости в цилиндр может вызвать гидравлический удар) и уменьшения тепловых потерь (теплообмен при влажном паре более интенсивный, чем при перегретом) перед подачей в компрессор влажный пар сепарируют до состояния сухого насыщенного пара (точка  $1$ ), так что процесс сжатия происходит в области перегретого пара. При этом, несмотря на увеличение затраты работы на сжатие, холодопроизводительность установки также повышается на величину  $\Delta q_2$  – пл.  $1'1bb'1'$ . Таким об-

разом, теоретический цикл реальной паровой компрессорной установки состоит из процессов адиабатного сжатия 1-2, изобарного охлаждения и конденсации 2-2'-3, дросселирования 3-4 и испарения 4-1 паров хладагента.

Эффективность цикла паровой компрессорной установки характеризуется холодильным коэффициентом

$$\varepsilon = \frac{q_2}{l} = \frac{q_2}{q_1 - q_2}, \quad (8.13)$$

где  $q_2$  – удельное количество теплоты, отнятой хладагентом от охлажденной среды (удельная холодопроизводительность) и характеризуемой площадью  $41ba4$ , причем для изобарного процесса  $q_2 = i_1 - i_4$ ;  $q_1$  – удельное количество теплоты, переданной в конденсатор от охлаждающей среды при постоянном давлении, причем  $q_1 = \text{пл. } 233'b2 = i_2 - i_3$ .

Тогда с учетом того, что при дросселировании  $i_4 = i_3$ , выражение холодильного коэффициента примет вид:

$$\varepsilon_{\text{ПК}} = \frac{i_1 - i_4}{(i_2 - i_3) - (i_1 - i_4)} = \frac{i_1 - i_4}{i_2 - i_1}, \quad (8.14)$$

где  $i_1, i_2$  – энтальпия хладагента в начале и конце процесса сжатия в компрессоре;  $i_3$  – энтальпия жидкого хладагента после конденсации.

Расчеты показывают, что при  $t_1 = -10^\circ\text{C}$  и  $t_2 = 30^\circ\text{C}$  холодильный коэффициент для аммиака  $\varepsilon_{\text{ПК}} = 4,85$ , для фреона-12  $\varepsilon_{\text{ПК}} = 4,72$ , для углекислоты  $\varepsilon_{\text{ПК}} = 2,56$  (для обратного цикла Карно при этих температурах  $\varepsilon_{\text{Карно}} = 5,74$ ).

В отличие от холодильного коэффициента обратного цикла Карно, зависящего только от температур  $T_1$  и  $T_2$ , холодильный коэффициент цикла с дросселированием пара зависит дополнительно от свойств хладагента. Так как  $i_1 = i_4 = r(1 - x_4)$ , то увеличение удельной теплоты парообразования хладагента  $r$  повышает удельную холодопроизводительность установки  $q_2$  и холодильный коэффициент  $\varepsilon$ . Значение дроссельных потерь связано с изменением удельной энтропии при дросселировании. Чем меньше удельная теплоемкость хладагента, тем меньше увеличение удельной энтропии и тем больше  $q_2$ . Поэтому чем больше удельная теплота парообразования и меньше удельная теплоемкость хладагента, тем эффективнее цикл.

Наиболее распространенным хладагентом является аммиак, обеспечивающий достаточно высокие холодильные коэффициенты и относительно невысокие давления в цикле. Однако из-за токсичности аммиака в последнее время широкое применение получили фреоны, которые не токсичны и не взрывоопасны.



**Цикл абсорбционных холодильных установок.** В абсорбционных холодильных установках циркуляция хладагента осуществляется в результате процесса абсорбции (поглощения паров хладагента жидким растворителем – абсорбентом). В связи с этим у них в отличие от компрессорных холодильных установок круговой процесс обеспечивается не одним рабочим веществом, а бинарной смесью веществ (раствором), имеющих значительную разницу в температурах кипения при одинаковом давлении. Наиболее часто применяются водоаммиачные абсорбционные установки, в которых аммиак служит хладагентом, а вода – абсорбентом\*.

Простейшая схема абсорбционной холодильной установки показана на рис. 8.6. В кипяtilьнике (парогенераторе) ПГ, содержащем концентрированный водоаммиачный раствор, за счет затрачиваемой извне удельной теплоты  $q_r$  происходит выпаривание из раствора аммиака (низкокипящий компонент) при постоянном давлении  $p_1$ . Полученный пар аммиака направляется в конденсатор К, где он, отдавая удельную теплоту  $q_1$  охлаждающей воде, конденсируется  $p_1 = const$ .

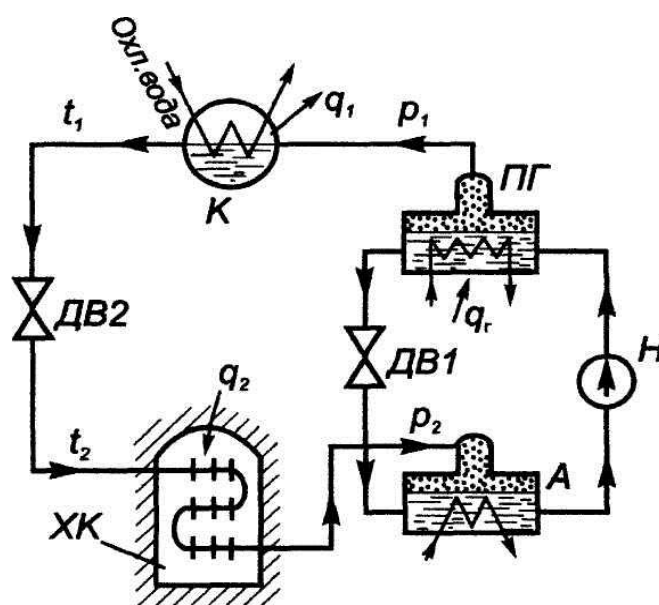


Рисунок 8.6. Простейшая схема абсорбционной холодильной установки

Образовавшийся пар аммиака отводится в абсорбер А, где поглощается (абсорбируется) слабым раствором с повышением температуры (экзотермическая реакция). Чтобы не уменьшалась поглощательная способность раствора, теплота абсорбции отводится охлаждающей водой и постоянно добавляется чистый аб-

\* При температуре  $t=0$  °С в одном объеме воды поглощается до 1160 объемов аммиака. Кроме водяного раствора аммиака используются растворы бромистого лития и хлористого калия.

сорбент через дроссельный вентиль *ДВ1* парогенератора *ПГ*. Полученный крепкий водоаммиачный раствор перекачивается насосом *Н* в парогенератор *ПГ*, и цикл повторяется сначала.

Сравнивая компрессорную и абсорбционную установки, можно отметить, что парогенератор *ПГ* в абсорбционной установке заменяет нагнетательный клапан поршневого компрессора, а абсорбер *А* – всасывающий; при этом извне затрачивается не механическая работа, а теплота.

В абсорбционных холодильных машинах холод производится за счет энергии горячего источника. Коэффициент использования теплоты  $q_{\Gamma}$  горячего источника при получении холода  $q_2$  равен

$$\xi = \frac{q_2}{q_{\Gamma}} = 0,2 \dots 0,8. \quad (8.15)$$

Если теплота горячего источника подводится при температуре  $T_r$ , холод получается при температуре  $T_2$  и температуре окружающей среды  $T_0$ , то максимально возможное теоретическое значение коэффициента использования теплоты, называемого также тепловым коэффициентом холодильной машины, будет равно

$$\xi_{\max} = \frac{T_2}{T_r} \cdot \frac{T_r - T_0}{T_0 - T_2}, \quad (8.16)$$

где  $T_r, T_0, T_2$  – температуры по шкале Кельвина.

Действительное значение коэффициента использования теплоты значительно меньше определяемого по формуле (8.16)

$$\xi_{\text{д}} = \xi_{\max} \cdot k, \quad (8.17)$$

где  $k = 0,2$  – коэффициент термодинамического совершенства холодильной машины.

Коэффициент  $k$  учитывает отличие действительных процессов в абсорбционной холодильной установке от теоретических обратимых процессов идеальных циклов холодильных машин и тепловых двигателей.

Тепловой баланс абсорбционной холодильной машины

$$Q_{\Gamma} + Q_2 = Q_{\text{к}} + Q_{\text{А}}, \quad (8.18)$$

где  $Q_1$  и  $Q_2$  – соответственно затраченная теплота горячего источника и полученный холод;  $Q_k$  и  $Q_A$  – соответственно теплота, отводимая в конденсаторе и абсорбере.

Несмотря на сравнительно низкую термодинамическую эффективность абсорбционных холодильных установок, они получили широкое распространение на практике ввиду простоты и небольшой стоимости. Кроме того, эти установки позволяют использовать (утилизировать) отработанную низкопотенциальную теплоту (вторичные энергоресурсы).

**Эффективности цикла охлаждения.** Эффективность цикла охлаждения холодильной машины оценивается коэффициентом полезного действия или коэффициентом её термической (термодинамической) эффективности.

Коэффициент эффективности может быть вычислен как отношение изменения теплосодержания хладагента в испарителе к изменению теплосодержания хладагента в процессе сжатия. Фактически он представляет собой соотношение холодильной мощности и электрической мощности, потребляемой компрессором.

Причем коэффициент термодинамической эффективности не является показателем производительности холодильной машины, а представляет собой сравнительный параметр при оценке эффективности процесса передачи энергии. Так, например, если холодильная машина имеет коэффициент термодинамической эффективности, равный 2,5, то это означает, что на каждую единицу электроэнергии, потребляемую холодильной машиной, производится 2,5 единицы холода.

### **8.3.3. Шахтные холодильные системы и средства кондиционирования воздуха**

В зависимости от глубины горных работ, горно-геологических и горно-технологических условий, теплового, вентиляционного и водного режимов шахты, для искусственного охлаждения воздуха используют стационарные или передвижные системы кондиционирования воздуха.

Системы со стационарным размещением холодильных машин называют стационарными.

Системы с периодически передвигаемыми холодильными машинами называют передвижными.

*Стационарные системы кондиционирования рудничного воздуха*

По месту размещения холодильных станций стационарные СКРВ разделяют на две основные группы:

- СКРВ с размещением холодильных станций на поверхности;
- СКРВ с размещением холодильных станций в горных выработках.

СКРВ с наземным размещением холодильных станций применяют при большой холодопотребности шахты, составляющей, как правило, 3 МВт и больше.

В зависимости от конструктивного устройства и расположения холодильного и вспомогательного оборудования СКРВ с размещением холодильных станций на поверхности имеют следующие модификации:

– СКРВ с размещением стационарных воздухоохладителей на поверхности шахтного комплекса и охлаждением воздуха на входе в воздухоподающий ствол;

– СКРВ с размещением воздухоохладителей на глубоких горизонтах и охлаждением воздуха в горных выработках.

Область применения СКРВ с размещением воздухоохладителей на поверхности ограничена глубиной разработки и протяженностью выработок от воздухоподающих стволов до объектов охлаждения. Как правило, они являются первой очередью холодильных установок, предназначенных для нормализации тепловых условий в начальные периоды работы шахты при отработке пластов вблизи воздухоподающих стволов на глубинах до 1000 м.

СКРВ с размещением воздухоохладителей на глубоких горизонтах оборудуют контурами хладоносителей высокого и низкого давления, а также теплообменниками высокого давления или гидротрансформаторами для передачи тепла между хладоносителями контуров высокого и низкого давления.

В трубопроводных сетях контуров высокого давления циркулирует хладоноситель с температурой замерзания ниже 0 °С (рассол, этиленгликоль и т.п.). В качестве хладоносителя в трубопроводных сетях низкого давления используется вода.

Воздухоохладители при этом размещают стационарно в капитальных (групповых) горных выработках для охлаждения воздуха, поступающего на проветривание группы выработок (крыла шахты, уклонного или бремсбергового поля и т.д.), или в участковых выработках и переносят по мере подвигания очистных забоев. Возможно одновременное использование стационарных и передвижных воздухоохладителей.

К преимуществам СКРВ с наземным расположением холодильных станций относится возможность применения холодильных машин высокой производительности общепромышленного назначения, удобство в обслуживании и ремонте. Кроме того, холодильные машины работают при относительно низких температурах конденсации, что обеспечивает их высокие энергетические показатели. Холодильные машины и теплообменное оборудование для укомплекто-

вания СКРВ с размещением холодильных станций на поверхности шахтного комплекса в Украине в настоящее время не выпускаются.

В холодные периоды года оборудование СКРВ с наземным расположением холодильных станций используют для передачи холода атмосферного воздуха в шахту. Для этого в качестве первичного хладоносителя используют воду, а рассол перекачивают в специальную емкость. Градирню отсоединяют от компрессоров холодильных машин и подключают к системе первичного хладоносителя. Воду, охлажденную в градирне атмосферным воздухом, направляют в шахту, а нагретую воду вновь возвращают в градирню. В зависимости от атмосферных условий температура охлажденной воды может составлять от 2 до 6 °С.

Остановка холодильных машин на зимний период года, кроме экономии электроэнергии, облегчает производство ремонтно-наладочных работ, позволяет более тщательно готовить оборудование холодильной станции к работе в теплый период года.

СКРВ с расположением холодильных станций в горных выработках применяют преимущественно для охлаждения воздуха на отдельных выемочных участках. Их холодильная мощность, как правило, не превышает 3 МВт. Контуры хладоносителя высокого давления в таких системах отсутствуют.

Принципиальные схемы СКРВ с подземным расположением холодильных станций для охлаждения воздуха в шахтах глубиной 900-1400 м приведены на рис 8.7 – 8.9.

Принципиальная схема подземной установки кондиционирования воздуха на базе отечественной водоохлаждающей машины мощностью 1 МВт холода с винтовым компрессором для шахт переходной глубины приведена на рис 8.10. Конденсаторную воду от холодильной машины подают в водоохладительные модули закрытого типа, расположенные в выработке с исходящей вентиляционной струей воздуха. Охлажденную в теплообменных аппаратах водоохладительных модулей воду подают в конденсаторы холодильной машины.

При использовании передвижных водоохлаждающих машин принцип работы СКРВ, требования к устройству систем хладоносителя и охлаждающей воды аналогичны стационарным СКРВ с подземным размещением холодильных станций. Основное их отличие – отсутствие стационарных фундаментов для водоохлаждающей машины.

Холодильные машины, циркуляционные насосы и электрооборудование располагают в горной выработке или специальной камере.

Технологические схемы передвижных холодильных установок отличаются способами отвода теплоты конденсации холодильного агента, местом размещения и количеством применяемых кондиционеров.

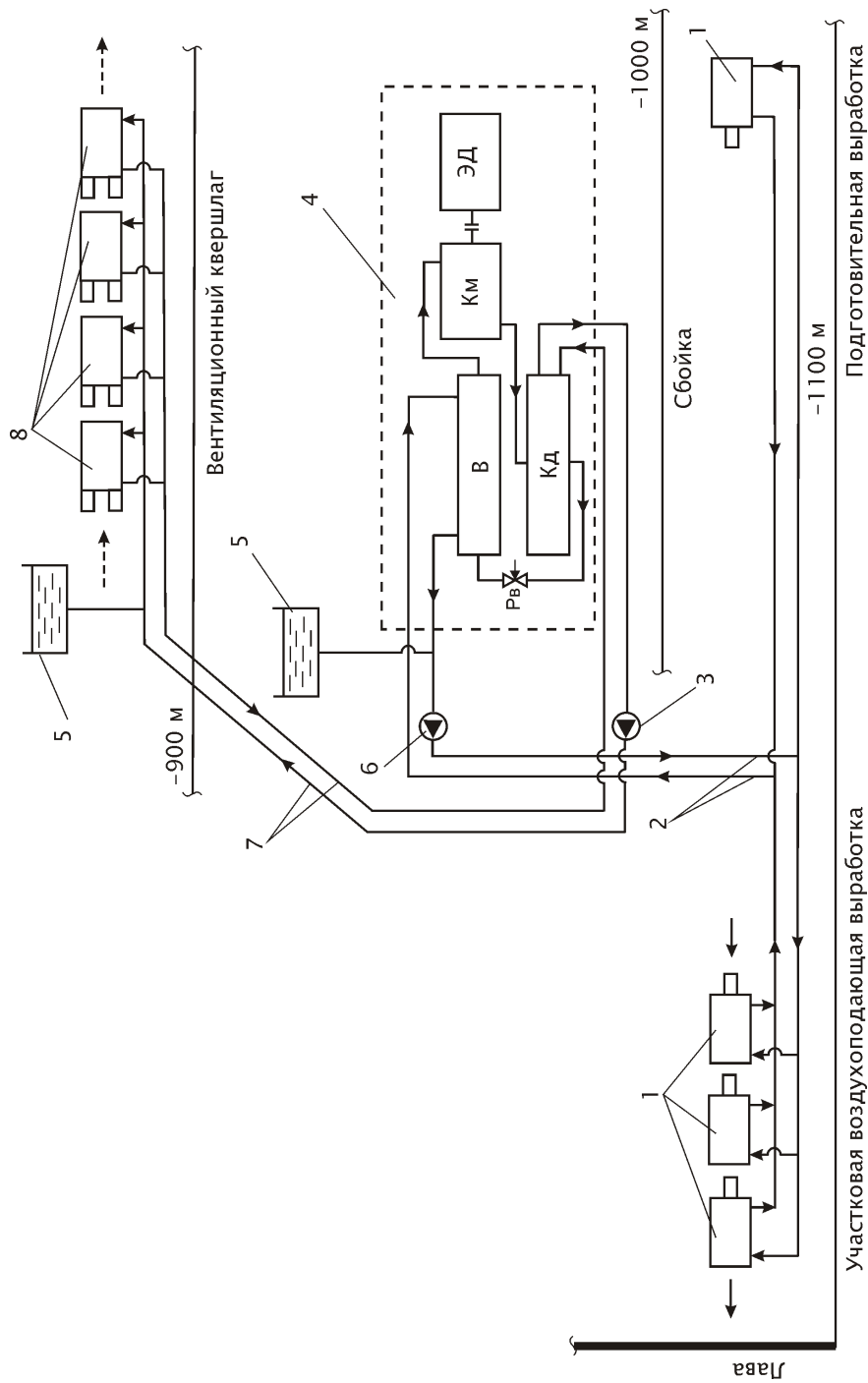


Рисунок 8.7 – Принципиальная технологическая схема подземной системы кондиционирования воздуха с машиной МХРВ-1 для охлаждения воздуха на выемочном участке: 1 - воздухоохладители; 2 - трубопроводы хладоносителя; 3 - насос конденсаторной воды; 4 - холодильная станция; 5 – расширительная емкость; 6 – насос хладоносителя; 7 – трубопроводы конденсаторной воды; 8 – модули водоохладителя; КМ – холодильный компрессор; И – испаритель; Кд - конденсатор; Кд - конденсатор; ЭД – электродвигатель; Рв – регулирующий вентиль.

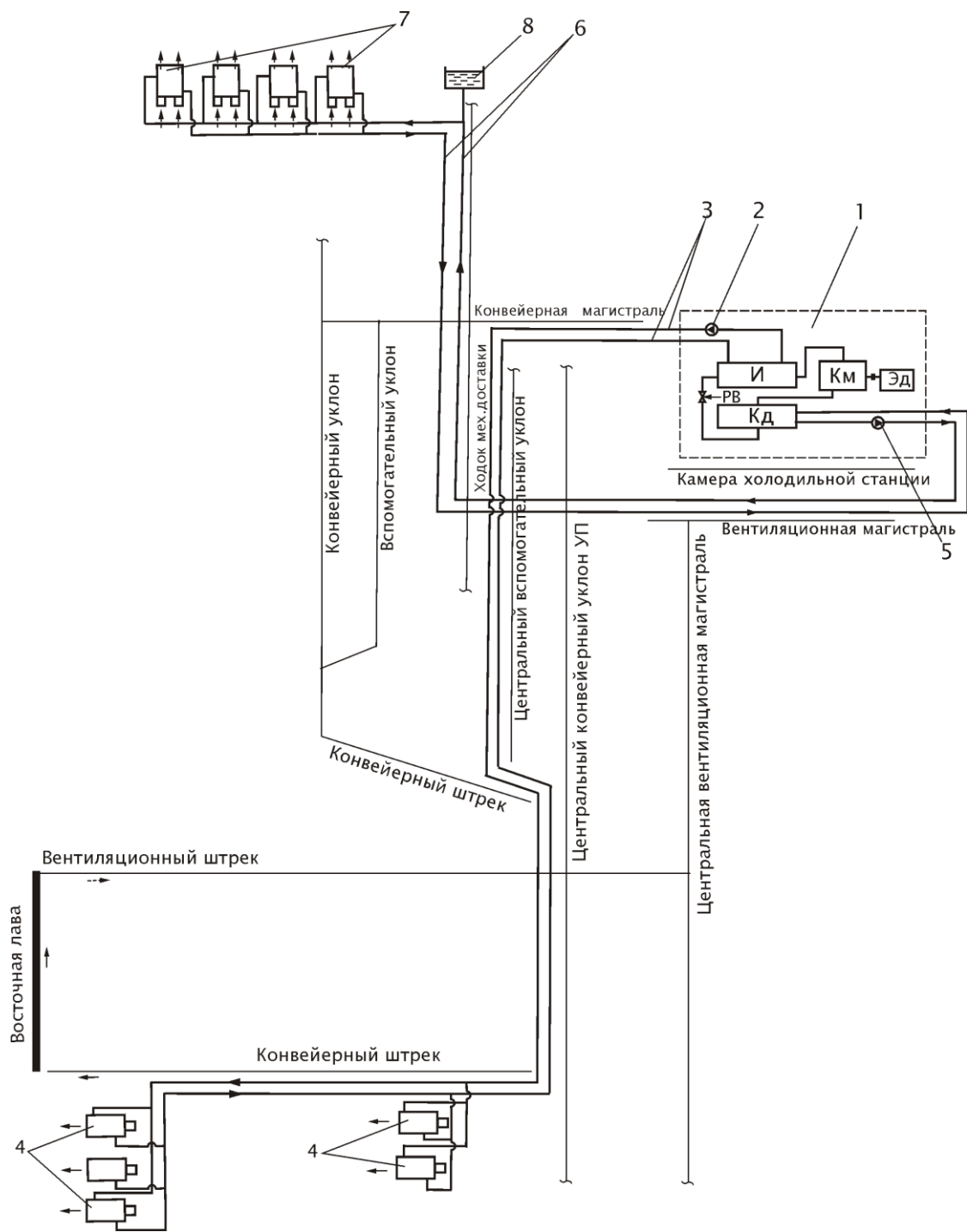


Рисунок 8.8. – Принципиальная схема установки кондиционирования с рассредоточенным охлаждением воздуха в участковой воздухоподающей выработке: 1 - холодильная станция; 2 - насос хладоносителя; 3 - трубопроводы хладоносителя; 4 - воздухоохладители; 5 - насос конденсаторной воды; 6 - трубопроводы конденсаторной воды; 7 - водоохладительные модули; 8 - расширительная емкость; Км - холодильный компрессор; И - испаритель; Кд - конденсатор; Эд - электродвигатель; РВ - регулирующий вентиль.

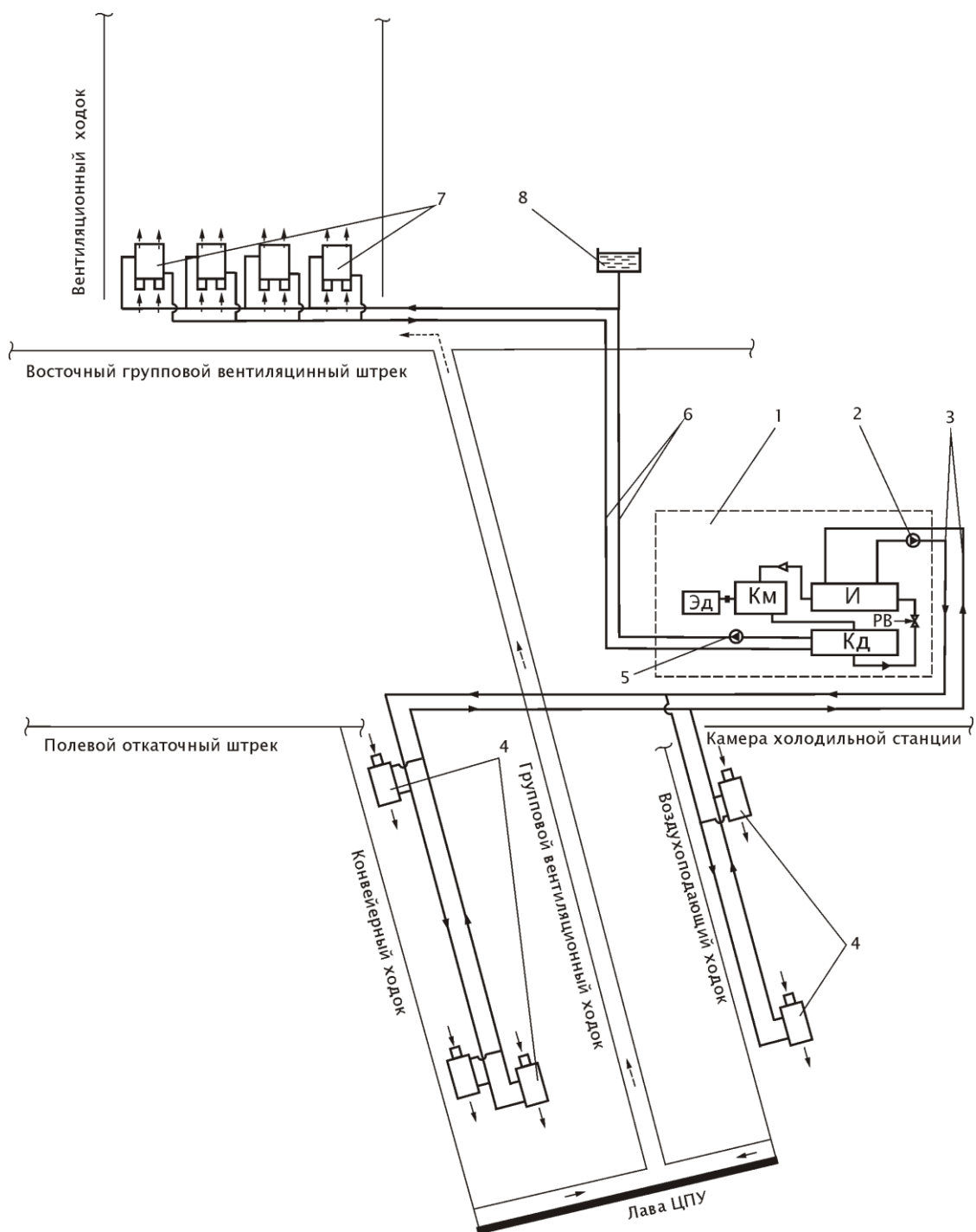


Рисунок 8.9. – Принципиальная схема установки кондиционирования при рассредоточенном охлаждении воздуха в горных выработках выемочного участка (Ш-образная схема проветривания лавы): 1 – холодильная станция; 2 – насос хладоносителя; 3 – трубопроводы хладоносителя; 4 - воздухоохлади-тели; 5 – насос конденсаторной воды; 6 – трубопроводы конденсаторной воды; 7 – водоохлаждающие модули; 8 - расширительная емкость; Км – холодиль- ный компрессор; И – испаритель; Кд – конденсатор; Эд – электродвигатель; РВ – регулирующий вентиль.



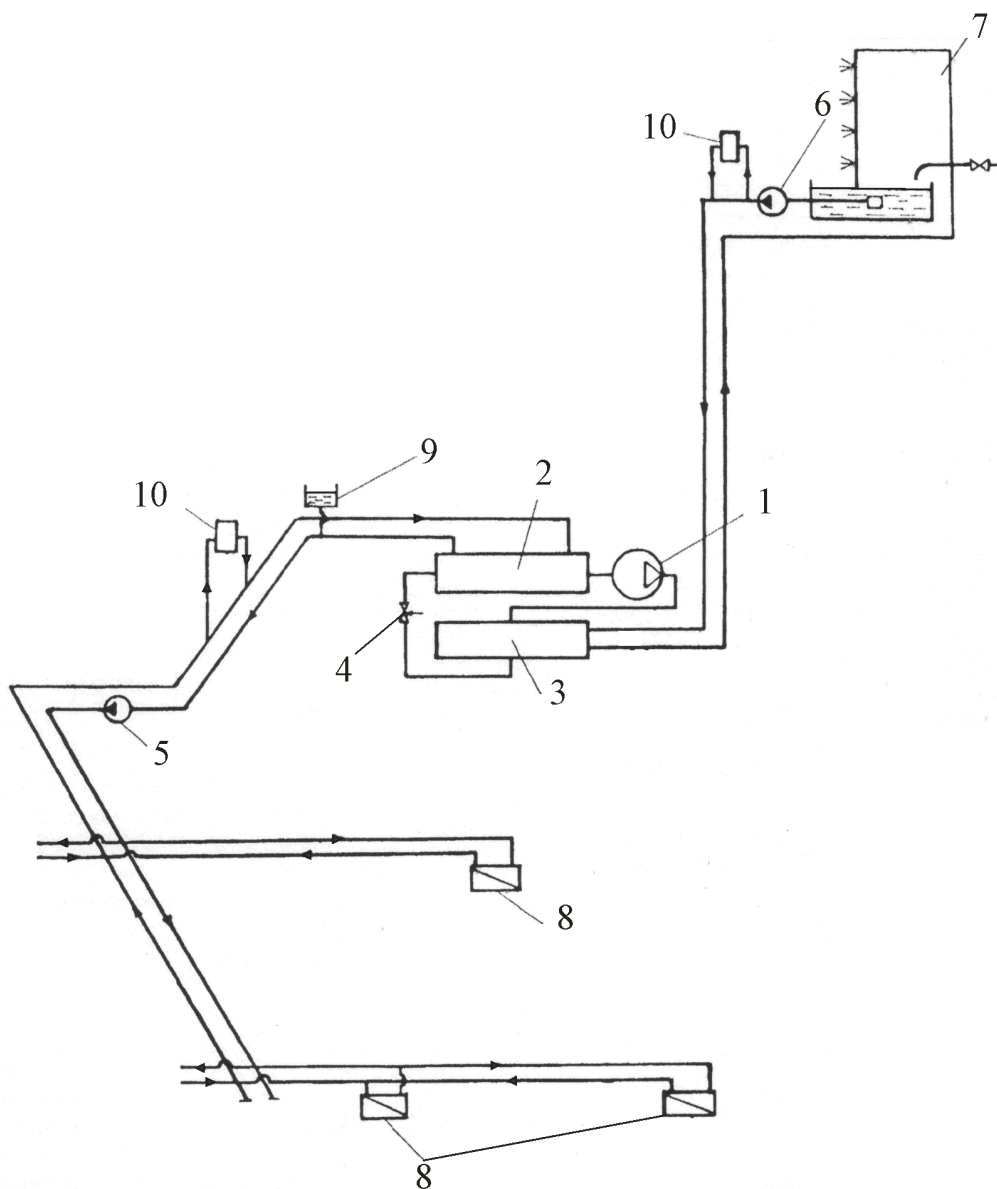


Рисунок 8.10. – Принципиальная схема установки кондиционирования воздуха с помощью подземной водоохлаждающей машины для условий шахт переходной глубины: 1 – винтовой компрессор; 2 – испаритель; 3 – конденсатор; 4 – регулирующий вентиль; 5, 6 – насосы хладоносителя и конденсаторной воды; 7 – водоохладитель; 8 – воздухоохладители; 9 – расширительный бак; 10 – фильтр механической очистки.

При охлаждении воздуха в тупиковых выработках длиной до 500м кондиционер размещают в выработке со свежей струей воздуха или в тупиковой части выработки (рис.8.11).

По мере удаления забоя от кондиционера, вследствие увеличения длины выработки и потерь холода через воздухопровод, эффективность охлаждения воздуха снижается. Поэтому кондиционер периодически передвигают ближе к забою.

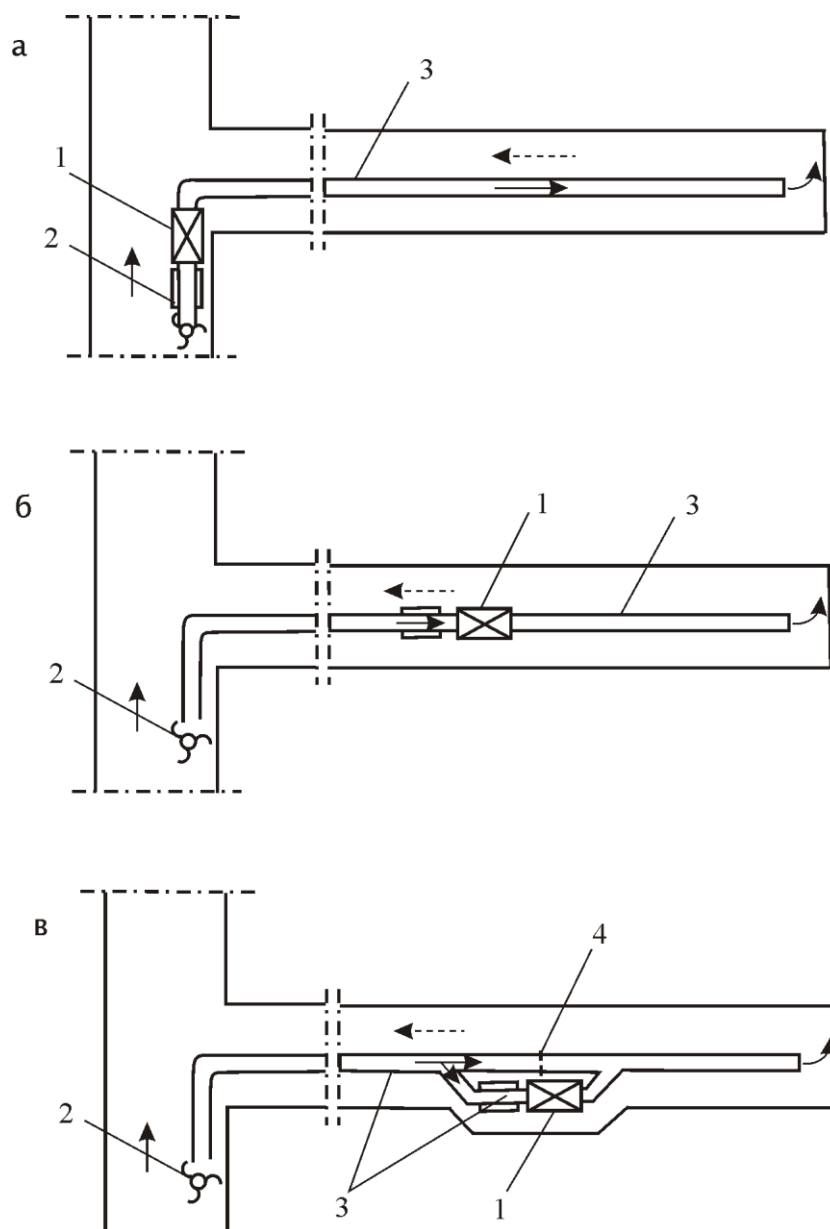


Рисунок 8.11. – Схемы размещения кондиционеров типа КПШ при охлаждении воздуха в тупиковых выработках длиной до 500 м: 1 – кондиционер; 2 – вентилятор; 3 – воздухопровод; 4 – устройство для регулирования расхода воздуха.

При большой длине и холодопотребности тупиковой выработки необходимо применять параллельную или последовательную (по воздуху) работу кондиционеров. При этом кондиционеры располагают на минимально возможном по технологии ведения горных работ расстоянии от забоя (рис. 8.12).

Шаг передвижки кондиционера зависит от холодопотребности выработки и на глубинах 1000 м и более составляет 50 – 100 м.

Схемы отвода теплоты конденсации холодильного агента для различных условий применения передвижных СКРВ с водоохлаждающими машинами или кондиционерами типа КПШ приведены на рис. 8.13.

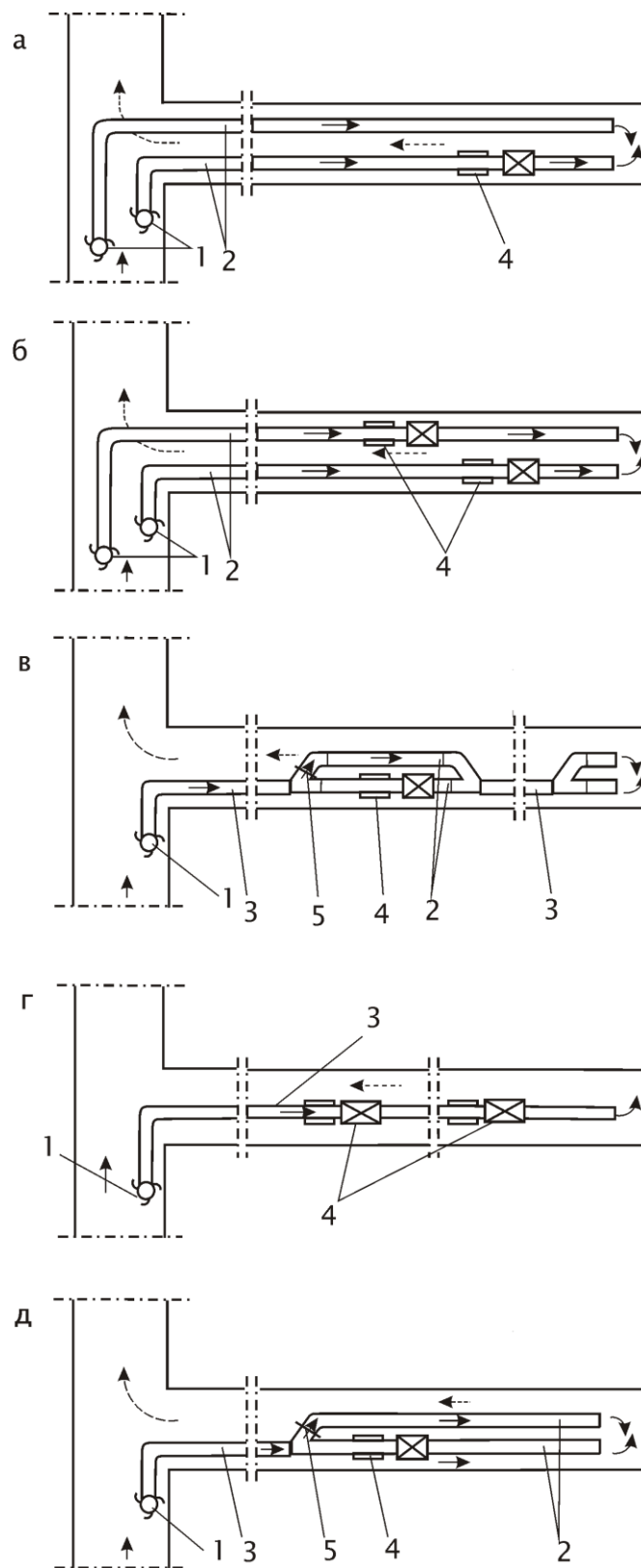


Рисунок 8.12. – Принципиальные схемы кондиционирования воздуха при проведении тупиковых выработок большой протяженности: 1 – вентилятор; 2 – вентиляционный трубопровод диаметром 800 мм; 3 – вентиляционный трубопровод диаметром 1000 мм; 4 – кондиционер; 5 – устройство для регулирования расхода воздуха через кондиционер.

Схемы рис. 8.13 а применяют в тех случаях, когда имеется достаточное количество проточной воды, а ее физико-химический состав удовлетворяет техническим условиям машины.

В качестве водосборника для сброса нагретой воды можно использовать колодец главной водоотливной установки шахты, из которого воду выдают на поверхность насосами центрального водоотлива. Трубопровод для отвода нагретой конденсаторной воды теплоизолируют или прокладывают по выработкам с исходящей вентиляционной струей. Для очистки и умягчения шахтной воды, подаваемой в конденсаторы, применяют стационарные устройства водоподготовки с целью предотвращения образования отложений на теплообменных поверхностях конденсаторов.

Отвод теплоты конденсации проточной водой из противопожарно-оросительного трубопровода (рис.8.13 б) применяют при недостаточном водопитоке или технической невозможности использования шахтной воды. Данный вариант водоснабжения наиболее прост и пригоден в тех случаях, когда в противопожарно-оросительную сеть поступает достаточное количество воды, а подключение холодильных машин к этой сети не влечет за собой снижение подачи воды на обеспыливание и другие технологические цели. Нагретую воду отводят в шахтный водосборник.

Схемы оборотного водоснабжения конденсаторов предполагают наличие специальных водоохлаждающих устройств. Нагретую в конденсаторе воду подают в водоохладитель, а затем снова возвращают в конденсатор. В качестве водоохладителей применяют стационарные или передвижные форсуночные бесконтактные водяные или воздушно-водоиспарительные теплообменные аппараты.

При работе форсуночных водоохладителей (рис.8.13 в) обратная вода может быть загрязнена пылью, содержащейся в исходящей струе воздуха. Кроме того, происходит постоянное увеличение концентрации солей в оборотной воде в результате ее испарения, что способствует образованию накипи на теплообменных поверхностях конденсаторов. Поэтому в таких системах необходимо применять средства водоподготовки, обеспечивающие механическую очистку и химическую обработку воды. Более надежны, с точки зрения обеспечения качества воды, закрытые системы. Например, технологическая вода питьевого качества циркулирует по замкнутому контуру между конденсатором и теплообменником, погруженным в проточную шахтную воду (рис. 8.13 г).

Контакт загрязненной шахтной воды с теплообменной поверхностью конденсатора отсутствует. В другом случае (рис. 8.13 д) вода также циркулирует по замкнутому контуру между конденсатором и бесконтактным воздушно-водоиспарительным водоохладителем. Через аппарат вентилятором подают

исходящий вентиляционный воздух. Для увеличения теплосъема наружную поверхность орошают водой из дополнительной циркуляционной системы, в которую вводят вещества, предотвращающие отложение накипи на поверхности теплообмена конденсатора.

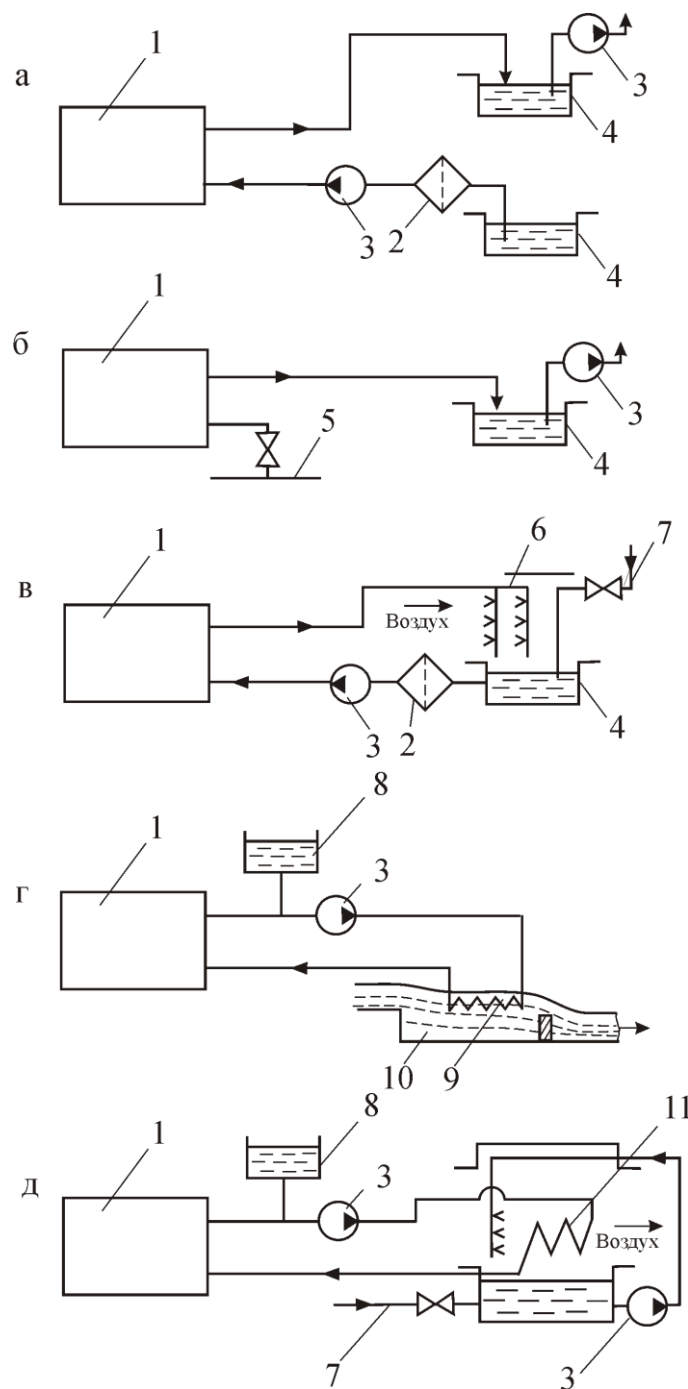


Рисунок 8.13. – Принципиальные схемы отвода теплоты конденсации хладагента: 1 – конденсатор; 2 – фильтр; 3 – насос; 4 – водосборник; 5 – трубопровод шахтной системы орошения; 6 – форсуночный водоохладитель; 7 – подпиточный трубопровод; 8 – расширительный сосуд; 9 – теплообменник; 10 – канал для протока шахтной воды; 11 – воздушно-водоиспарительный водоохладитель.

При наличии шахтных стволов с достаточным притоком воды отвод теплоты конденсации холодильного агента возможен без сооружения дополнительных водосборников. Шахтную воду собирают в водоулавливающем кольце, сооруженном по периметру ствола, и под действием гидростатического напора, создаваемого в водопроводной сети, подают к холодильным машинам. Нагретую в конденсаторах воду отводят в шахтный водосборник.

#### **8.3.4. Отечественные технические средства для охлаждения воздуха**

*Средства кондиционирования шахтного воздуха.* Основными элементами современных СКРВ являются холодильные машины, воздухоохладители, водоохладители, понизители высокого давления, трубопроводы хладоносителя и конденсаторной воды, шахтные передвижные кондиционеры. От типа и рабочих характеристик средств, используемых в СКРВ, зависят режим работы системы в конкретных условиях и возможная область их применения.

Общие виды и технические данные водоохлаждающих машин, шахтных передвижных кондиционеров, теплообменных аппаратов, выпускаемых предприятиями Украины и применяемых при кондиционировании воздуха в глубоких шахтах, показаны на рис.8.14 – 8.18 и таблицах 8.7 – 8.10, а также приведены в приложениях Р-Ц СОУ-Н 10.100174088.027:2011.

СКРВ оборудуют отечественным оборудованием: водоохлаждающими машинами типа МХРВ-1 мощностью 1 МВт холода с винтовыми компрессорами (рис. 8.14), штрековыми воздухоохладителями закрытого типа ОВ-190Ш и ВТВ-200 (рис. 8.15) и водоохладительными модулями типа ОКВШ 325 (рис. 8.16) для отвода теплоты конденсации холодильного агента в замкнутой оборотной системе водоснабжения конденсаторов, передвижными кондиционерами типа КПШ – 130-0-2 (рис. 8.17) и КПШ – 300 (рис.8.18).

Водоохлаждающая холодильная машина МХРВ-1 предназначена для обеспечения «ледяной водой» систем кондиционирования воздуха в горных выработках глубоких шахт, опасных по газу, пыли и внезапным выбросам. Машина выполнена двухблочной – состоит из агрегата винтового компрессорного с микропроцессорным блоком управления и блока аппаратного (кожухотрубный конденсатор, кожухотрубный испаритель с внутритрубным кипением), хладоновые системы, которых соединяются на месте эксплуатации гибкими шлангами. Оборудование каждого блока смонтировано на станинах в виде салазок, обеспечивающих передвижение по почве выработок. Блоки машины для спуска в шахту разбираются на отдельные узлы длиной не более 5м.

Машина размещается в горных выработках без специального фундамента и крепления. Автоматическое управление и все виды необходимых защит осуществляются микропроцессорным блоком управления.

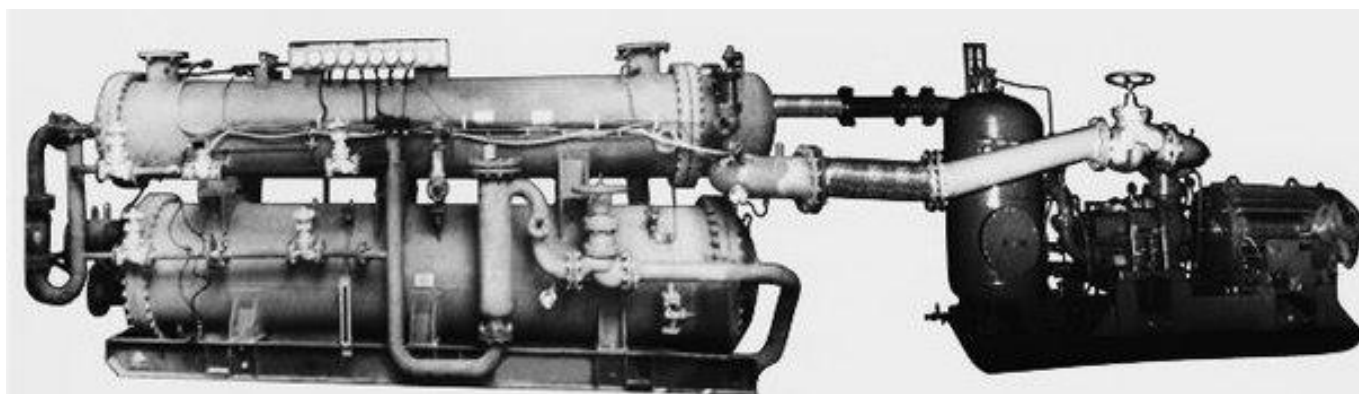


Рисунок 8.14. – Общий вид машины холодильной МХРВ-1

Таблица 8.7

Техническая характеристика МХРВ-1

Хладагент	R 22
Холодопроизводительность номинальная, кВт в режиме с параметрами:	1000
хладоноситель на выходе	
температура, °С	3
расход, м <sup>3</sup> /ч	71.4
вода, охлаждающая конденсатор на входе	
температура, °С	32
расход, м <sup>3</sup> /ч	115
частота вращения вала компрессора, об/мин	3000
Уровень взрывозащиты электрооборудования	ExdI1
Потребляемая мощность номинальная, кВт	350
Смазочное масло	ХС 40
Габаритные размеры машины в сборе, мм	10700x2350x2040
агрегата компрессорного	4315x1980x2025
блока аппаратного	5850x1500x2040
Масса машины (сухая), кг	16625
агрегата компрессорного с блоком управления	6825
блока аппаратного	9500
Род тока - переменный трехфазный	6000В/660В 50 Гц

Бесконтактные теплообменники “воздух-вода” закрытого типа: воздухоохлаждатели ВТВ-200 и ОВ-190Ш показаны на рис. 8.15.

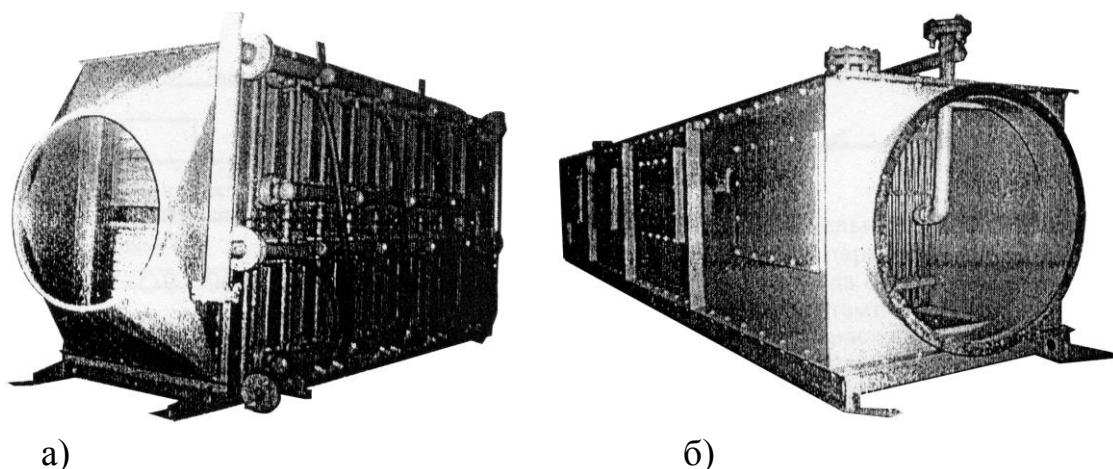


Рисунок 8.15. – Шахтные воздухоохлаждатели: а) ВТВ-200; б) ОВ-190Ш

В воздухоохладителе ВТВ-200 теплообменная поверхность оребренная из биметаллических трубок, в воздухоохлаждателях ОВ–190Ш и ОВ-190ШР применяются гладкие медные трубки. Воздухоохладитель ОВ-190Ш выпускается в сварном корпусе, а ОВ-190ШР в разборном корпусе. Номинальная производительность указанных воздухоохлаждателей 200 кВт и 190 кВт соответственно.

Таблица 8.8.

Технические характеристики шахтных воздухоохлаждателей

Параметры / Тип	ОВ-190 Ш ОВ-190 ШР	ВТВ-200-01
Теплообменная поверхность	неребренная из медных трубок	оребрённая из биметаллич. трубок
Производительность номинальная, кВт	190	200
в режиме с параметрами:		
хладоноситель на входе		
температура, °С	5	8
расход, м <sup>3</sup> /ч	20	25
воздух на входе		
температура, °С	26	32
расход, м <sup>3</sup> /ч	21600	18000
относительная влажность, %	75	55
Эффект охлаждения воздуха, °С	8-12	8-12
Габаритные размеры, мм	5100x900x1100	3620x1160x1800
Масса, кг	1400	1800



На рис.8.16 показан водоохладитель шахтный ОКВШ–325 – бесконтактный теплообменник “воздух-вода” с орошаемой поверхностью закрытого типа, предназначенный для отвода теплоты от аппаратов (водяных конденсаторов, маслоохладителей и т.п.) подземных холодильных машин в цикле оборотного водоснабжения.

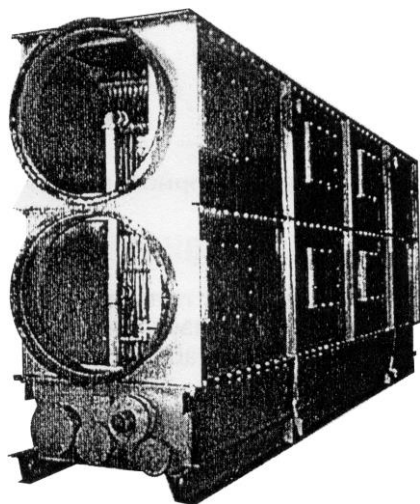


Рисунок 8.16. – Общий вид водоохладителя шахтного ОКВШ 325

Таблица 8.9.

Техническая характеристика водоохладителя ОКВШ 325

Производительность номинальная, кВт	325
В режиме с параметрами:	
вода оборотная на входе	
температура, °С	45
расход, м <sup>3</sup> /ч	37
воздух на входе	
температура, °С	32
расход, м <sup>3</sup> /ч	29000
относительная влажность, %	85
оросительная вода на входе	
температура, °С	32
расход воды, м <sup>3</sup> /ч	15
Эффект охлаждения воды, °С	7–10
Габаритны размеры, мм	6051x900x2100
Масса, кг	3700

Передвижная холодильная машина КПШ 130-2-0 предназначена для нормализации тепловых условий – охлаждения и осушения воздуха - в забоях подгото-

вительных выработок и очистных забоях глубоких шахт. Кондиционер холодопроизводительностью 130 кВт, с электроприводом, серийно выпускается ОАО «ОДЕСХолодмаш» во взрывобезопасном исполнении. Машина КПШ-130-2-0 агрегатирована – состоит из компрессорно-конденсаторного, воздухообрабатывающего агрегатов и комплекта монтажных частей (рис. 8.17).

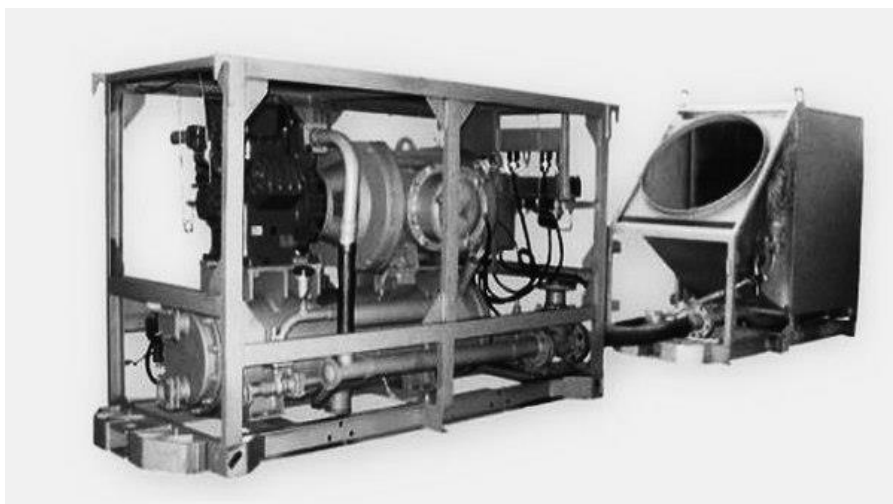


Рисунок 8.17. – Внешний вид машины холодильной КПШ 130-2-0

Для передвижения его по рельсовым путям на место эксплуатации агрегаты машины имеют устройство для установки на унифицированные колесные пары для колеи 900 мм. Кондиционер КПШ 130-2-0 автоматизирован и имеет все виды необходимой защиты для эксплуатации в угольных шахтах.

На рис.8.18 показано расположение холодильной машин КПШ 130-2-0 в горной выработке.

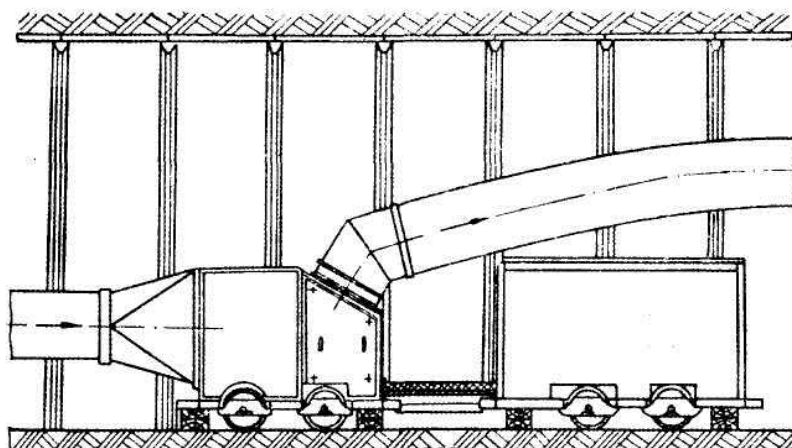


Рисунок 8.18. – Расположение передвижной холодильной машины КПШ 130-2-0 в горной выработке

Таблица 8.10.

## Техническая характеристика кондиционера КПШ-130-2-0

Хладагент	R22
Холодопроизводительность номинальная, кВт в режиме с параметрами:	130
воздух на входе	
температура, °С	32
относительная влажность, %	70
вода на конденсатор	
температура, °С	35
расход, м <sup>3</sup> /ч	20
Эффект охлаждения воздуха, °С	10-14
Потребляемая мощность номинальная, кВт	39
Род тока	переменный, трехфазный
	660В/50Гц
Масса (сухая), кг	
агрегата компрессорно-конденсаторного	1650
агрегата воздухообрабатывающего	1000
комплекта монтажных частей	225
Габаритные размеры, мм	
агрегата компрессорно-конденсаторного	2435x900x1250
агрегата воздухообрабатывающего	2255x900x1400

Кондиционер передвижной шахтный КПШ 300 является головным образцом высокопроизводительных кондиционеров, работающих на допуске к применению холодильном агенте R22 (экологически безопасный, нетоксичный, взрывобезопасный), выпуск которых предусмотрен предприятиями Украины.

Кондиционер представляет собой шахтную агрегатированную холодильную машину, осуществляющую непосредственное охлаждение рудничного воздуха, передвигаемую периодически при необходимости. Кондиционер предназначен преимущественно для охлаждения воздуха, подаваемого для проветривания тупиковых высокомеханизированных подготовительных выработок, потребность в холоде которых составляет до 300 кВт. Кондиционер может также использоваться для охлаждения воздуха, поступающего на проветривание лав. Область применения кондиционера распространяется на глубокие угольные шахты, включая опасные по взрывам газа, пыли и внезапным выбросам. Кондиционер может применяться также в глубоких рудниках и других отраслях промышленности для комфортного технологического кондиционирования.

Согласно техническому заданию на разработку изделия, кондиционер КПШ 300 должен обеспечивать показатели назначения, приведенные в табл. 8.11.

Таблица 8.11.

## Показатели назначения опытного образца кондиционера КПШ 300

Холодильная мощность в номинальном режиме, кВт	300
при параметрах:	
- температура воздуха на входе в воздухообрабатывающий блок, °С	32
- относительная влажность воздуха на входе в воздухообрабатывающий блок, %	70
- расход обрабатываемого воздуха, м <sup>3</sup> /с (м <sup>3</sup> /мин)	7,6 (456)
- температура охлаждающей воды на входе в конденсатор, °С	35
- расход воды, охлаждающей конденсатор, м <sup>3</sup> /ч	50
Потребляемая мощность в номинальном режиме, кВт	90
Номинальное напряжение питания, В	660/1440
Давление в водяных полостях конденсатора, МПа	3,0
Холодильный агент	хладон R22

Кондиционер КПШ 300 (рис. 8.19) состоит из компрессорно-конденсаторного и воздухообрабатывающего блоков. Хладоновые системы блоков соединяются гибкими металлическими рукавами.

*Компрессорно-конденсаторный блок* состоит из собранных на раме компрессора SMC10-4 «Sabroe» с электродвигателем 2BP280S6Y2,5, двухэлементного конденсатора, фильтра-осушителя, маслоотделителя, приборов автоматики и контроля, пульта аварийной защиты, запорной арматуры и соединительных кабелей.

Двухэлементный конденсатор предназначен для отвода теплоты конденсации из системы холодильного агента кондиционера к охлаждающей воде за счет теплообмена между перегретыми парами в межтрубном пространстве холодильного агента и охлаждающей водой, циркулирующей по оребренным трубкам. Секции конденсатора – кожухотрубные аппараты водяного охлаждения – параллельно соединяются между собой по воде и по хладагенту.

*Воздухообрабатывающий блок* состоит из двух батарей, каждая из которых представляет многотрубный змеевидный теплообменник из 90 змеевиков с 22 ходами. Змеевики выполнены из медных трубок диаметром 12 мм. Блок размещен в каркасе, представляющем собой металлическую конструкцию, сваренную из швеллеров. К каркасу крепятся батареи, диффузор и конфузор. Основанием каркаса служит щит с салазками для установки на платформы шахтных вагонеток и для перемещения воздухообрабатывающего блока по почве горной выработки.

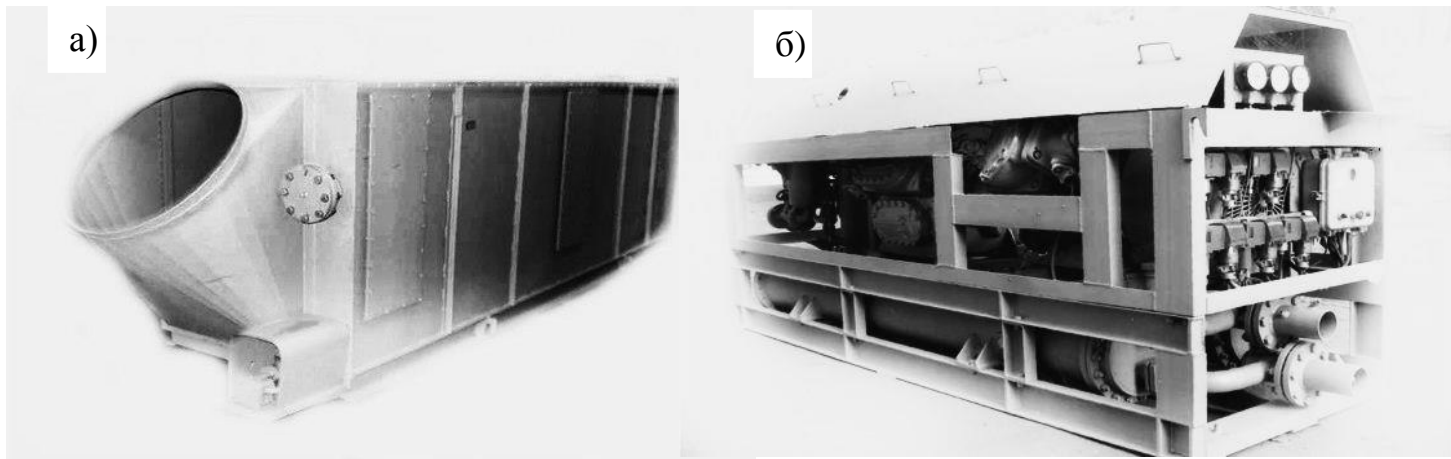


Рисунок 8.19. – Общий вид кондиционера КПШ – 300:

а) воздухообрабатывающий блок; б) компрессорно-конденсаторный блок.

*Работа кондиционера* осуществляется по замкнутому одноступенчатому термодинамическому циклу. В процессе заводских испытаний на стенде ОАО «Холодмаш» (г. Одесса) технические характеристики опытного образца кондиционера КПШ 300 соответствуют техническим требованиям технического задания (ТЗ) (табл. 8.11).

Опытный образец шахтного кондиционера КПШ 300 удовлетворяет основным показателям назначения, предусмотренным ТЗ и проектом технических условий и рекомендован к поставке на шахту для проведения приемочных испытаний.

Тепло конденсации от компрессорно-конденсаторного блока отводится обратной водой, охлаждаемой в подземном водоохладителе ОКВШ 325.

Анализ номенклатуры отечественных средств охлаждения воздуха для глубоких шахт Донбасса показал, что парк холодильной техники в Украине весьма ограничен. Для нормализации тепловых условий в очистных забоях глубоких шахт объединением «Холодмаш» серийно выпускаются только комплект оборудования для подземных систем кондиционирования воздуха, состоящий из машины холодильной МХРВ-1 холодопроизводительностью 1000 кВт, воздухоохладителей ОВ-190Ш или ВТВ-200 и водоохладителей обратной воды ОКВШ 325.

С 2003г. ОАО «Одесское производственное объединение «Холодмаш» совместно с МакНИИ разработали шахтный передвижной кондиционер мощностью 300 кВт, предназначенный для охлаждения воздуха в тупиковых подготовительных выработках, проводимых комбайнами.

#### **8.4. Опыт внедрения стационарной холодильной установки на базе отечественного оборудования на глубокой шахте Донбасса**

Топливо-энергетический комплекс Украины является основой функционирования всего национального производства. Угольная отрасль является базовой для обеспечения энергетической безопасности страны, в связи с чем эффективность её функционирования обуславливает приоритетное внимание к управлению и организации её деятельности на всех уровнях производства. Убыточность большинства угольных предприятий является следствием высокой себестоимости добываемого угля из-за сложности горно-геологических условий разработки, тяжелых и опасных условий труда, высокой фондо- и капиталоемкости добычи.

Одним из путей интенсификации развития угольной отрасли в Донбассе, повышения производственного потенциала и эффективности работы шахт является направление, связанное с совершенствованием их производственной инфраструктуры путём организации участков кондиционирования воздуха в составе служб профилактики и техники безопасности, в которые входят участки вентиляции и дегазации. От успешности работы этих инфраструктурных подразделений зависят основные производственные и экономические показатели работы глубокой шахты.

Ниже выполнен анализ работы этих инфраструктурных подразделений глубокой шахты по обеспечению безопасных и санитарных условий труда в горных выработках и показано влияние на экономические показатели конкретной шахты.

В настоящее время в Донбассе на 45 глубоких шахтах тепловые условия в очистных забоях превышают допустимые Санитарными правилами нормы. Температура воздуха в очистных забоях наиболее глубоких шахт (более 1000 м) достигает 35 – 38 °С при высокой относительной влажности. Температурный фактор является сдерживающим в развитии добычи угля на этих шахтах. Для улучшения и полной нормализации температурных условий в выработках шахты разрабатывают горнотехнические мероприятия, а на наиболее глубоких горизонтах, где эти меры недостаточны, должно применяться искусственное охлаждение воздуха. Однако эти требования по объективным и субъективным причинам часто не выполняются, мотивируя это тем, что использование холодильной техники требует больших затрат на приобретение, монтаж и эксплуатацию холодильных установок, отсутствием квалифицированного персонала. В связи с этим эффективность мер по борьбе с высокими температурами воздуха на шахтах низ-

кая. Это приводит к снижению производительности труда и плановых нагрузок на рабочие забои, повышению травматизма, увеличению общих экономических затрат на конкретной шахте и по всей отрасли.

Температурные условия в очистных и подготовительных забоях шахты уже с глубины 700 м превышают допустимые ПБ санитарные нормы. Для отработки глубоких горизонтов шахты выполнен проект кондиционирования воздуха с помощью стационарной холодильной установки на базе комплекса отечественного холодильного оборудования (см. п. 8.3.4).

Ввод в эксплуатацию холодильной установки мощностью 1 МВт осуществлен в 2008 г. Охлаждение воздуха производилось на выемочных участках 3-й восточной и 4-й западной лав пласта  $m_3$  мощностью 1,4 м. Схема размещения холодильного оборудования в выработках шахты показана на рис. 8.20. Горнотехнические условия отработки этих лав приведены в табл.8.12.

Таблица 8.12

Горнотехнические условия отработки лав по пласту  $m_3$  шахты «Щегловская-Глубокая» ГОАО «Шахтоуправление «Донбасс»

Наименование показателя	3-я восточная лава	4-я западная лава
Глубина очистных работ, м	1193/1131	1124/1098
Температура пород на глубине отработки, °С	44,7	42,9
Длина выемочного участка, м	125	1200
Длина лавы, м	175	225
Угол падения пласта, град	8	9
Тип механизированной крепи	2КД90	2КД90
Выемочный механизм, комбайн	РКУ-10	РКУ-10
Нагрузка на очистной забой, т/сут	1400	1400
Система разработки	сплошная	сплошная
Схема проветривания участка	возвратноточ- ная	возвратноточ- ная
Расход воздуха на участке, $m^3$ /мин	1280	1650
Расход воздуха в лаве, $m^3$ /мин	915	1175

Камера, в которой размещена холодильная машина МХРВ-1, расположена на горизонте 1035 м в ходке между вентиляционным квершлагом №2 и квершлагом на Григорьевский надвиг. Для охлаждения воздуха в 3-й восточной лаве трубопроводы холодоносителя не изолированы и проложены по

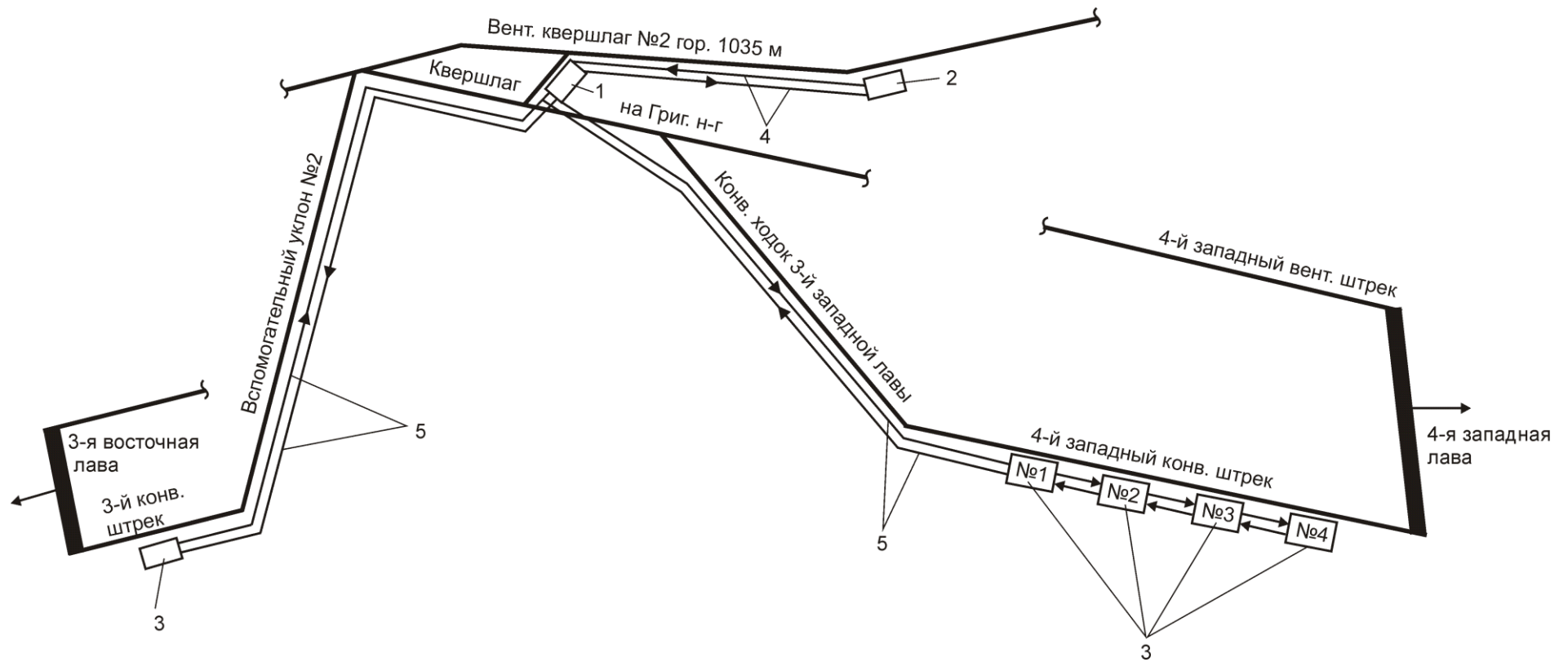


Рисунок 8.20 – Схема размещения стационарной холодильной установки мощностью 1 МВт для охлаждения воздуха на выемочных участках пласта  $m_3$ : 1 – холодильная машина МХРВ-1; 2 – участковые водоохладители ОКВШ 325; 3 – воздухоохладители ОВ-190Ш; 4 – трубопроводы конденсаторной воды; 5 – трубопроводы холодоносителя



вспомогательному уклону №2 и 3-му восточному конвейерному штреку, в котором на расстоянии 70 м от лавы установлен воздухоохладитель ОВ-190Ш. Общая протяженность трубопроводов от камеры до пункта охлаждения воздуха на участке составляет 950 м.

Для охлаждения воздуха в 4-й западной лаве трубопроводы хладоносителя проложены по конвейерному ходку 3-й западной лавы и 4-му западному конвейерному штреку, общая протяженность неизолированных трубопроводов 1250 м. Учитывая, что удаление лавы от конвейерного ходка составляет 1080 м, на участке применена рассредоточенная схема охлаждения. Воздухоохладители ОВ-190Ш расположены на 33, 38, 49 и 59 пикетах 1 конвейерного штрека (рис.8.20). По техническим причинам отставание воздухоохладителя №4 от лавы составляет 480 м, что превышает проектное значение.

Отвод тепла конденсации холодильной машины осуществляется в четырех водоохладителях ОКВШ325, размещенных в вентиляционном квершлагае №2 горизонта 1035 м на удалении 400 м от камеры холодильной установки. Расход воздуха в месте размещения водоохладителей составляет 76,7 м<sup>3</sup>/с. Температура и относительная влажность воздуха перед водоохладителями составляет 30,0 °С и 93 %, после водоохладителей – 34,0 °С и 95 % соответственно. Температура конденсаторной воды до и после водоохладителей составляет 44,0 °С и 39,0 °С соответственно. Расход воды на водоохладителях составляет 180 м<sup>3</sup>/час. Таким образом, в подземной градирне отводится примерно 1,05 МВт тепла.

Температура воздуха в выработках 4-й западной и 3-й восточной лав пласта m<sub>3</sub> шахты при естественных тепловых условиях и при искусственном охлаждении приведена в табл. 8.13.

Таблица 8.13.

Температура воздуха на выемочных участках 4-й западной и 3-й восточной лав шахты «Щегловская-Глубокая»

Пункт замера температуры воздуха	Температура воздуха, °С	
	без охлаждения	с охлаждением
<i>По маршруту 4-й западной лавы</i>		
4-й западный конвейерный штрек		
Перед воздухоохладителями: №1 ПК 33	27,0	26,0
№2 ПК 38	27,5	26,0
№3 ПК 49	27,8	26,0
№4 ПК 59	28,0	25,0
После воздухоохладителей: №1 ПК 34	-	22,0
№2 ПК 39	-	23,0
№3 ПК 50	-	21,0

Продолжение таблицы 8.13

№4 ПК 60	-	20,0
Перед лавой: ПК 70	28,3	22,3
ПК 84	28,5	23,0
ПК 94	28,5	23,5
4-я западная лава: на входе ПК108	29,5	25,0
на выходе	31,5	28,5
<i>По маршруту 3-й восточной лавы</i>		
3-й восточный конвейерный штрек		
Перед воздухоохладителем	26,0	25,0
После воздухоохладителя	26,0	17,0
10 м после воздухоохладителя	26,0	22,0
50 м после воздухоохладителя	26,6	23,5
3-я восточная лава: на входе	27,0	24,0
на выходе	28,5	26,5

Из табл. 8.13 видно, что температура воздуха в 3-й восточной лаве при работе холодильной установки практически соответствует санитарным нормам. Температура воздуха в 4-й западной лаве значительно улучшилась, но полностью не нормализована, что в значительной мере связано с удаленностью воздухоохладителя №4 от лавы. Полная нормализация температуры воздуха в этой лаве возможна при расположении воздухоохладителя на расстоянии не более 100-150 м от лавы.

## **8.5. Альтернативная система кондиционирования воздуха путём перераспределения тепловлажностного потенциала в сети воздухоподающих выработок**

### **8.5.1. Закономерности формирования тепловлажностного потенциала рудничного воздуха в горных выработках**

При движении воздуха по горным выработкам глубокого горизонта происходит его нагрев. Приток теплоты от горного массива к воздуху в горных выработках определяется температурным напором и условиями теплообмена по известной формуле (2.31):

$$Q_{\tau} = k_{\tau} \cdot (t_n - t) \cdot F ,$$

где  $k_{\tau}$  – коэффициент нестационарного теплообмена, кВт/(м<sup>2</sup>·град);  $t_n$  – температура горного массива, °С;  $t$  – температура воздуха, °С;  $F$  – теплообменная поверхность в горной выработке.

Величина  $k_{\tau}$  определяется свойствами горных пород, принятыми параметрами и режимами горных работ и рудничной вентиляции (технология проведения и крепления горных выработок, скорость вентиляционной струи и др.), поэтому при неизменной технологии не представляется возможным существенно влиять на величину  $k_{\tau}$ .

Теплообменная поверхность ( $F$ ) определяется параметрами горных выработок и при принятой технологии не изменяется.

Наиболее существенное влияние на теплообмен в горных выработках оказывает температурный напор между горным массивом и воздухом: чем меньше температурный напор, тем меньше приращение температуры воздуха в горной выработке. Однако, поскольку естественная температура горного массива ( $t_n$ ) зависит в основном от глубины разработки, то изменять температурный напор можно, лишь изменяя температуру воздуха в горных выработках: чем выше температура воздуха, тем меньше температурный напор и тем меньше приток теплоты к воздуху.

Экспериментальные наблюдения на шахтах Донбасса показывают, что температурный напор в выработках околоствольного двора воздухоподающего ствола (ОДВС) обычно превышает  $20^{\circ}\text{C}$  и лишь в летние месяцы составляет  $10 - 15^{\circ}\text{C}$ .

Характер изменения параметров воздуха в капитальных выработках во многом определяется начальными значениями температуры воздуха в выработках околоствольного двора воздухоподающего ствола (ОДВС) (рис. 8.21).

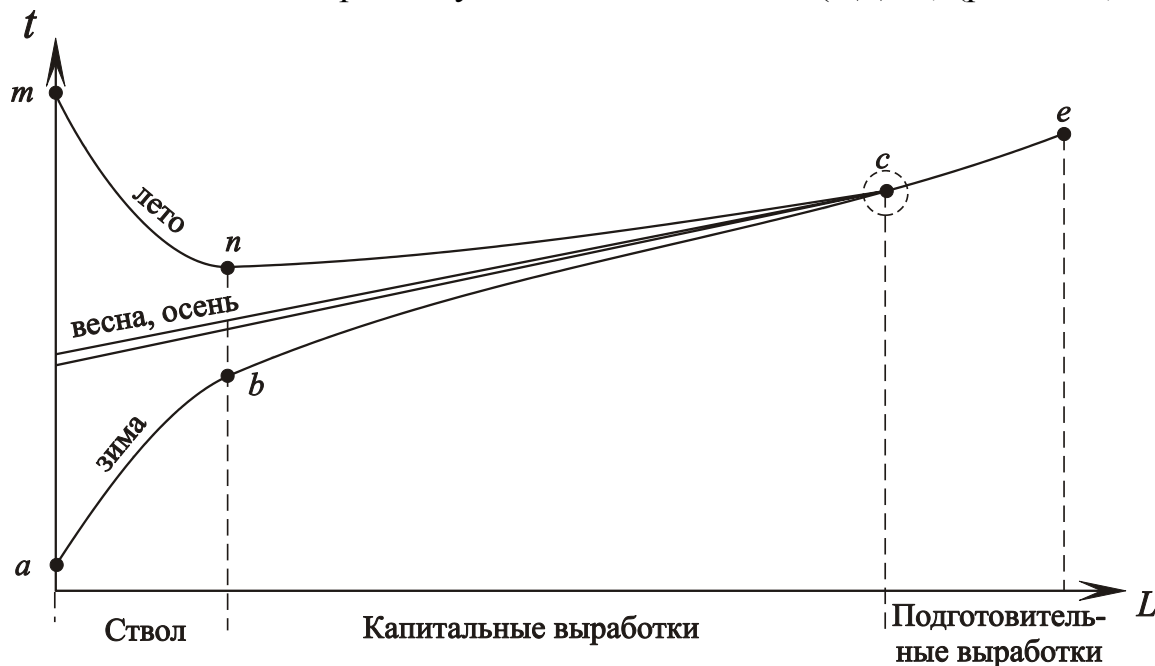


Рисунок 8.21. – Обобщенная закономерность изменения температуры воздуха в горных выработках глубокой шахты

Наиболее интенсивный нагрев воздуха в капитальных выработках происходит в холодный период года (линия а-в-с), когда «стартовый» температурный напор в ОДВС достигает максимума (20 – 30 °С), а менее интенсивный нагрев воздуха происходит в летние месяцы (линия m-n-с), когда температурный напор минимален (10 – 15 °С).

Таким образом, при естественном тепловом режиме вентиляционная струя формируется в ОДВС в условиях высокого температурного напора, что приводит к интенсивному ее нагреву, особенно – на начальном участке капитальных выработок.

Однако, несмотря на разный характер изменения параметров воздуха в воздухоподающем стволе и капитальных выработках, параметры воздуха в подготовительных выработках (линия с-е) глубокой шахты практически не зависят от сезона года, что подтверждается экспериментальными данными: годовые колебания температуры в ОДВС составляют до 10 °С, а на входе в рабочие забои - около 1÷2 °С.

Искусственное охлаждение воздуха на поверхности шахты или в выработках ОДВС глубокого горизонта приводит к значительному увеличению температурного напора и, следовательно, к увеличению притоков теплоты к воздуху из горного массива, в результате чего нагрев воздуха происходит еще интенсивнее, чем при естественном тепловом режиме.

Нагрев и увлажнение воздуха в ОДВС приводят к резкому снижению температурного напора и уменьшению притока теплоты к воздуху из горного массива, поэтому температуру воздуха в ОДВС целесообразно повышать, т.е. охлаждение воздуха производить в выработках где температура воздуха превышает допустимые правилами безопасности нормы.

По пути движения воздуха в капитальных и подготовительных выработках глубокого горизонта вместе с нагревом происходит увлажнение воздуха. Воздух в выработках ОДВС близок к насыщению. Дальнейшее увлажнение воздуха при движении его по горным выработкам глубокого горизонта происходит по следующим причинам:

- нагрев воздуха приводит к повышению его влагоемкости;
- наличие в горных выработках открытых поверхностей воды (вода в канавке и на почве, капез, мокрые стенки выработок);
- положительный напор парциальных давлений водяного пара.

Около 60% приращения энтальпии воздуха в горных выработках связано с его увлажнением. При охлаждении воздуха в воздухоохладителях большая часть холода (около 2/3) расходуется на компенсацию скрытой теплоты конденсации водяных паров, т.е. без понижения температуры воздуха. Массообмен между воздухом и водой в горных выработках определяется следующим выражением:

$$G_w = \beta(p_n - p_n)F,$$

где  $G_w$  - поток водяных паров от воды к воздуху, кг/с;  $\beta$  – коэффициент массообмена, кг/(м<sup>2</sup>·с·Па);  $p_n$  – парциальное давление насыщенных паров жидкости над поверхностью, Н/м<sup>2</sup>;  $p_n$  – парциальное давление водяных паров, Н/м<sup>2</sup>;  $F$  – поверхность массообмена, м<sup>2</sup>.

Коэффициент массообмена ( $\beta$ ) зависит в основном от скорости движения воздуха в горной выработке. Напор парциальных давлений водяного пара ( $p_{np} - p_e$ ) определяется в основном температурой мокрых поверхностей и парциальным давлением водяного пара в потоке воздуха.

Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что воздух при движении по капитальным и подготовительным выработкам увлажняется до состояния, близкого к насыщению. Приращение влагосодержания воздуха в этих выработках определяется горнотехническими условиями и мало изменяется в течение года. Это можно объяснить низкими температурами воздуха в ОДВС, малой влагоемкостью его при низких температурах, а с другой стороны – высокими температурами и, соответственно, высокой влагоемкостью воздуха в участковых выработках: при движении воздуха от ОДВС к рабочим забоям его влагоемкость увеличивается в 2–3 раза.

Таким образом, в горных выработках имеются достаточные условия для насыщения воздуха водяными парами, и основным фактором, влияющим на увлажнение воздуха, является его нагрев.

### **8.5.2. Способ перераспределения тепловлажностного потенциала рудничного воздуха**

Для регулирования теплового режима в горных выработках угольных шахт на кафедре аэрологии и охраны труда НГУ разработан энергосберегающий способ перераспределения тепловлажностного потенциала между выработками околоствольного двора, капитальными и участковыми выработками без применения холодильной машины.

Идея способа заключается в уменьшении притоков тепла и влаги в воздух в групповых выработках, за счет повышения его температуры и увлажнения в выработках от воздухоподающего ствола до уровня, который уменьшает приток влаги в воздух из горного массива и технологической воды на его пути к выемочным участкам. Это даёт возможность уменьшить приток скрытой теплоты, которую затем необходимо отводить от воздуха в участковых воздухоохладителях, затрачивая холодильную мощность. Положительный эффект

улучшения параметров микроклимата в участковых горных выработках предложенным способом достигается за счет снижения интенсивности тепло- и массообменных процессов в групповых воздухоподающих выработках.

Сущность способа состоит в том, что свежий воздух в выработках околоствольного двора воздухоподающего ствола предварительно нагревают и увлажняют, а затем по ходу вентиляционной струи воздух охлаждают: в магистральных выработках – непрерывно и рассредоточенно, в участковых выработках – ступенчато. Охлаждение воздуха осуществляют циркуляционной водой, охлажденной при нагреве и увлажнении воздуха в околоствольном дворе. Дополнительно используют воду, поступающую с притоком в воздухоподающем стволе.

На рисунке 8.22 показано качественное изменение температуры рудничного воздуха при естественном тепловом режиме (линия В - С - С') и при кондиционировании рудничного воздуха по предложенному способу (линия 1- 1'- 2 - 2'-2''),  $t_{пБ}$  – температура нормируемая Правилами безопасности.

Точка 1 (В) указывает естественную температуру воздуха в выработках околоствольного двора (перед водоохладителем). Точка С характеризует естественную температуру воздуха в начале выработок добычных участков, а точка С' – на выходе из забоев.

Отрезок 1 – 1' означает нагрев и увлажнение воздуха в водоохладителе 1 в выработках околоствольного двора (рис 8.22). Отрезок 1' – 2 характеризует изменение температуры воздуха в капитальных горных выработках при рассредоточенном его охлаждении. Точка 2 указывает температуру воздуха перед воздухоохладителем 2. Точка 2' характеризует температуру кондиционированного воздуха на выходе из воздухоохладителя 2. Разница температуры между точками С и 2' характеризует величину охлаждения воздуха в выработках добычных участков по данному способу. Точка 2'' характеризует температуру кондиционированного воздуха на выходе из забоев.

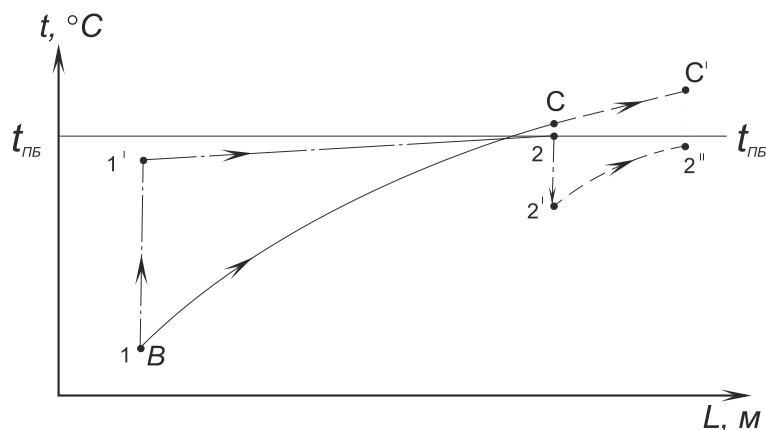


Рисунок 8.22. – Качественное изменение температуры рудничного воздуха в горных выработках

### 8.5.3. Установка кондиционирования рудничного воздуха по реализации способа ПТП

Реализация технологии кондиционирования рудничного воздуха по способу ПТП достигается на базе отечественного оборудования (см. п. 8.3.4). Подземная установка кондиционирования рудничного воздуха (рис. 8.23) включает следующие гидравлически связанные элементы: водоохладитель испарительного типа – 1; воздухоохладители поверхностного типа - 2, циркуляционные трубопроводы тепло- и хладоносителя – 3 и 4; аккумулятор охлажденной воды - 5, насосы – 6 и 7; вентиляторы – 8 и 9; регуляторы расхода воды и воздуха. Аккумулятор 5 соединен также с водоуловителем и зумпфом воздухоподающего ствола.

В водоохладителе 1 взаимодействуют два перекрестных потока: холодный воздух и распыленная теплая вода, в результате чего воздух нагревается и увлажняется, а вода охлаждается. Охлажденная вода из водоохладителя 1 поступает в емкость 5 (аккумулятор охлажденной воды), откуда насосом 6 по трубопроводу 3 подается в воздухоохладитель 2, где нагревается за счет теплообмена с воздухом. Нагретая вода из воздухоохладителя 2 поступает по трубопроводу 4 в водоохладитель 1, где охлаждается. Нагретый воздух, выходящий из водоохладителя 1, смешивается со свежей вентиляционной струей, затем проходит по магистральным выработкам и поступает в воздухоохладитель 2, где охлаждается и осушается, после чего направляется в рабочие забои.

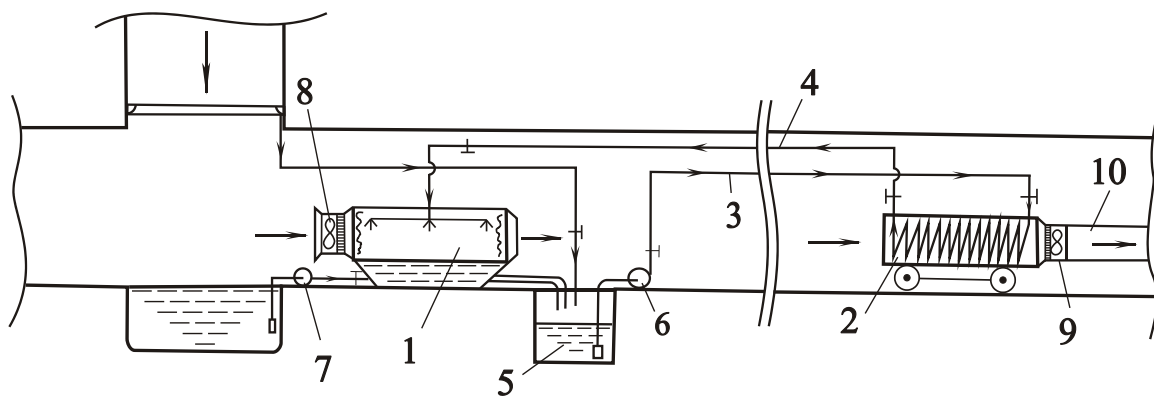


Рис.8. 23. Схема размещения подземной установки кондиционирования воздуха в шахте по реализации способа перераспределения тепловлажностного потенциала в горных выработках

Работа циркуляционной СКРВ обеспечивает непрерывное регулирование динамики нагрева и увлажнения воздуха в воздухоподающих горных выработках в допустимых ПБ пределах без применения холодильных машин. За счет этого могут быть снижены общие затраты на обеспечение допустимых тепловых условий на рабочих местах.

Полезная холодопроизводительность установки определяется двумя основными факторами: величиной уменьшения притока теплоты и водяных паров из горного массива в вентиляционную струю в выработках от околоствольного двора до участковых выработок и величинной охлаждения воды в воздухоподающем стволе.

В общем случае холодопроизводительность установки определяется следующими факторами:

- глубиной горизонта (околоствольного двора), на котором установлены водоохладители;

- количеством и параметрами свежего воздуха, поступающего в водоохладители в околоствольном дворе, в частности, при увеличении расхода воздуха через водоохладители суммарная холодопроизводительность установки будет возрастать;

- количеством воды, поступающей из водоуловителя и зумпфа воздухоподающего ствола в аккумулятор охлажденной воды;

- соотношением между потоками свежего воздуха, направляемыми через водоохладители и минуя их. В идеале весь воздух, поступающий на глубокий горизонт, необходимо подвергать предварительному тепловлажнонасыщению, перемещая при этом низкий тепловой потенциал из выработок околоствольного двора в рабочие высокотемпературные забои;

- ограничением перепада температуры между воздухом, выходящим из водоохладителя, и свежей вентиляционной струей. Это ограничение связано с необходимостью предотвращения туманообразования при смешении теплого и холодного воздуха, имеющего высокую относительную влажность.

Холодопроизводительность системы КРВ в каждом конкретном случае определяется проектом, поскольку она зависит от конкретных горнотехнических, аэрологических и тепловлажностных условий ее применения. При изменении климатических условий на поверхности холодопроизводительность установки будет изменяться, достигая максимума в холодный период года и снижаясь в летний.

Предложенный способ кондиционирования воздуха целесообразно осуществлять на шахтах Донбасса, разрабатывающих пологие и крутопадающие пласты, на глубинах 700 – 1000 м при температуре воздуха в околоствольном дворе воздухоподающего ствола не выше 15 – 18 °С и при значительной разности (15 – 30 °С) между естественной температурой рудничного воздуха в выработках околоствольного двора и удаленных участковых выработках. Например: в выработках ОДВС температура рудничного воздуха 10 °С, а в удаленном очистном забое – 35 °С, при этом разность между ними будет равна 25 °С.

Экспериментальные исследования относительно работоспособности спо-



соба ПТП проводились в условиях шахты им. А.А. Скочинского на базе комплекса холодильного оборудования мощностью 1 МВт холода, который обслуживал 2-ю восточную лаву уклонного поля центральной панели (УПЦП) гор. 1200 м. В существующей СКРВ использовали 5 водоохладителей, 4 воздухоохладителя и турбовинтовую холодильную машину МХРВ-1-У5, соединенные между собой изолированным трубопроводом. В качестве теплоизоляционного материала использовали пеноуритан. В связи с продвижением очистных работ при отработке 2-й восточной лавы УПЦП обязательным условием является наращивание трубопроводов с передвижением воздухоохладителей. Так как теплоизоляционный материал для шахты является дорогостоящим, было принято решение внести изменения в техническую документацию и прокладывать трубопроводы без их теплоизоляции. Таким образом, на конвейерном штреке №1 и №2 2-й восточной лавы УПЦП образовалось 1500 м неизолированного трубопровода перед лавой, что и послужило объектом натуральных исследований. При естественном тепловом режиме и при работающей СКРВ температура воздуха на входе в выработку составила 21,8 °С с температурой окружающих пород 52 °С. Средняя площадь поперечного сечения штрека составила 9,7 м<sup>2</sup>, а средний расход воздуха 15 м<sup>3</sup>/с. Схема горных выработок исследуемого участка с размещением оборудования показана на рис. 8.24. Экспериментальные значения распределения температуры воздуха на конвейерном штреке 2-й лавы УПЦП шахты им. А.А. Скочинского до и после включения СКРВ и температуры воды в прямом и обратном трубопроводах приведены на рис.8.25. Значения температуры и относительной влажности перед воздухоохладителями у лавы приведены в таблице 8.14.

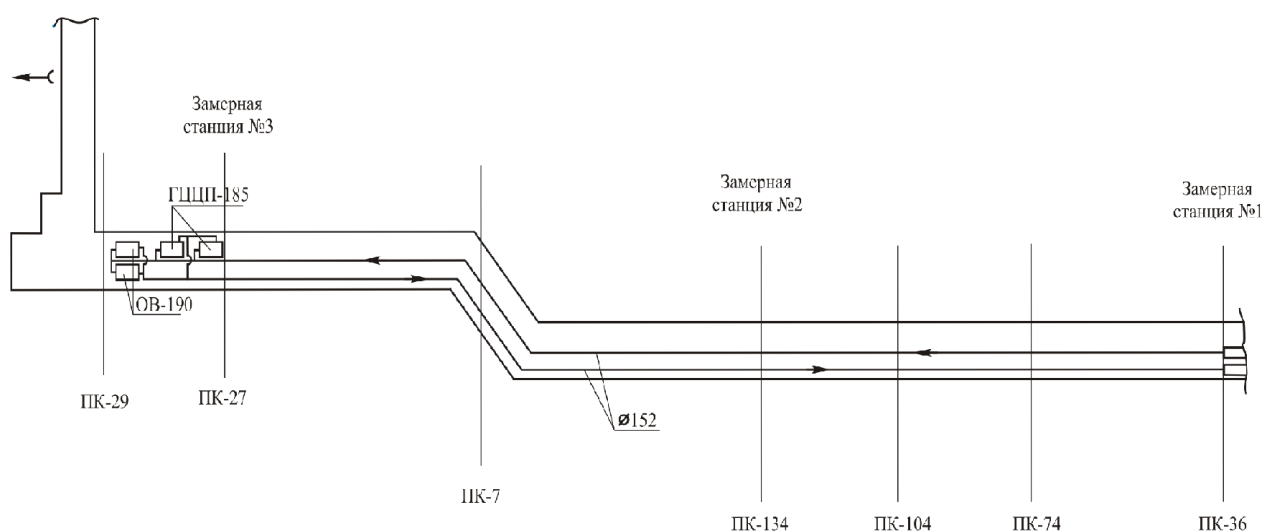


Рисунок 8.24. Схема горных выработок исследуемого участка шахты им. А.А. Скочинского с нанесением замерных пунктов

Параметры микроклимата перед воздухоохладителями

Состояние СКРВ	Температура воды в прямом трубопроводе, °С	Температура воды в обратном трубопроводе, °С	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %
Отключена	-	-	32,6	86
Включена	14	19,0	26,0	90

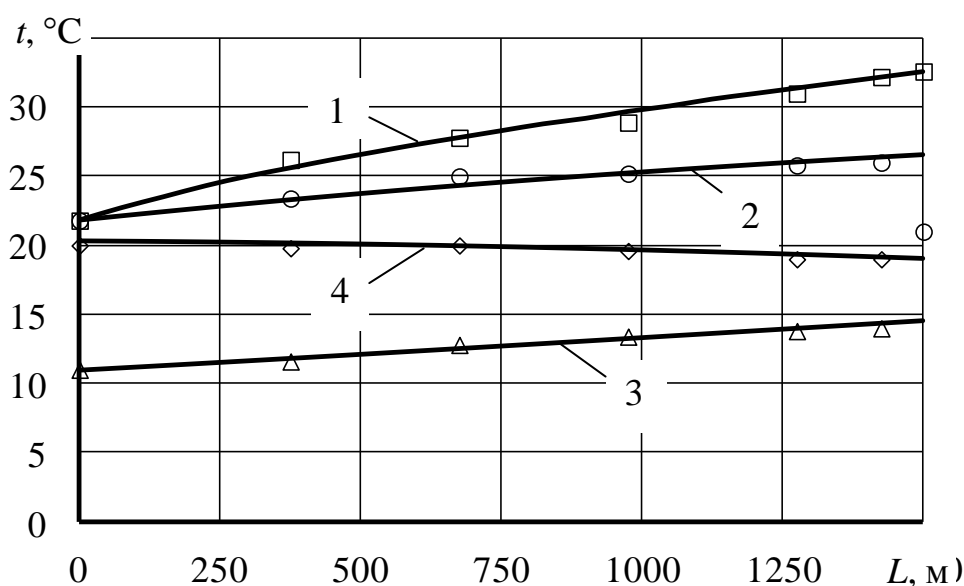


Рисунок 8.25. Распределение температуры воздуха на конвейерном штреке 2-й восточной лавы шахты им. А.А. Скочинского: 1 – до включения СКРВ; 2 – после включения СКРВ; 3,4 – соответственно, температуры воды в прямом и в обратном трубопроводах.

Из рис. 8.25 видно, что температура воздуха на конвейерном штреке без системы охлаждения на длине 1500 м повышается от 22 °С до 32,6 °С у лавы. Рассредоточенное охлаждение (включение СКРВ) по ходу вентиляционной струи приведёт, как показывают экспериментальные данные, к снижению температуры воздуха у лавы с 33 °С до 27 °С только за счёт теплообмена воздуха с холодной и тёплой водой в трубопроводах, т.к. температура тёплой воды в обратном трубопроводе значительно ниже температуры окружающего воздуха в выработке. При этом температура в прямом трубопроводе повысилась с 11 °С до 14 °С, а в обратном – с 19 °С до 20,5 °С. Установка перед лавой воздухоохладителей приведёт к дальнейшему снижению температуры до уровня, зависящего от их количества.

## 8.6. Оценка эффективности работы систем кондиционирования воздуха

Эффективность работы шахтной СКРВ оценивают степенью нормализации тепловых условий в рабочих забоях, удельным расходом энергии на производство полезно используемого холода и показателем эксплуатационного качества системы хладоносителя.

Разнообразие технологических схем и условий применения холодильных установок оказывает влияние на показатели эффективности их работы. Они позволяют установить, насколько фактические результаты применения шахтой СКРВ отличаются от проектных показателей, а также оценить эффективность мероприятий, осуществляемых шахтой и службой кондиционирования воздуха для достижения положительных результатов применения искусственного охлаждения воздуха.

Удельный расход энергии  $W_o$  представляет собой отношение суммарного количества израсходованной энергии ( $\sum W$ , Вт) к количеству полученного холода за рассматриваемый период ( $\sum Q_x$ , Вт).

$$W_o = \frac{\sum W}{\sum Q_x}. \quad (8.19)$$

Показатель эксплуатационного качества системы хладоносителя определяют как отношение суммарной холодильной мощности воздухоохладителей ( $\sum Q_{во}$ ) к количеству холода ( $\sum Q_x$ ), вырабатываемого холодильной станцией,

$$\eta_y = \frac{\sum Q_{во}}{\sum Q_x}. \quad (8.20)$$

Затраты  $Z$ , в гривнах, связанные с эксплуатацией СКРВ, определяют по формуле

$$Z = Cэ + Ca + Cz \cdot K_3 + Cm + Cn, \quad (8.21)$$

где  $Cэ$  – плата за электроэнергию, грн.;  $Ca$  – сумма амортизационных отчислений, грн.;  $Cz$  – расходы на заработную плату обслуживающего персонала, грн.;  $K_3$  – коэффициент, учитывающий начисления на зарплату;  $Cm$  – стоимость материалов, грн.;  $Cn$  – прочие денежные затраты, грн.

Для данной установки величина эксплуатационных затрат зависит от режима работы холодильного и вспомогательного оборудования. Основным элементом затрат, зависящим от режима работы, является плата за электроэнергию  $C_э$  в гривнах, определяемая по формуле

$$C_э = \sigma_1 \sum_1^n N_n + \sigma_2 \tau \sum_1^n N_u, \quad (8.22)$$

где  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  – годовая плата за 1 ВА присоединенной мощности потребителей и стоимость 1 Вт израсходованной электроэнергии, грн.;

$\tau$  – продолжительность работы установки, ч;

$\sum_1^n N_n$  – суммарная мощность присоединенных к сети потребителей, Вт;

$\sum_1^n N_u$  – суммарная потребляемая мощность двигателей, Вт.

Удельную стоимость холода  $c_x$ , в гривнах на Вт, вырабатываемого шахтной СКРВ за рассматриваемый период, рассчитывают по формуле:

$$c_x = \frac{3}{\Sigma Q_x} . \quad (8.23)$$

Оценка эффективности работы шахтных СКРВ производится на основании сопоставления фактических показателей с проектными.

### **8.7. Социально-экономическая оценка внедрения мероприятий и средств по охлаждению рудничного воздуха**

Оценка эффективности мероприятий по охране труда должна носить двойственный характер. С одной стороны, речь должна идти об оценке его экономической эффективности, а с другой – с позиции социальной. Затраты на охрану труда будут экономически обоснованными, если снижение материальных потерь от травматизма, заболеваемости и производственных вредностей выше или равно средствам, использованным на охрану труда.

На примере шахты «Щегловская-Глубокая» ГОАО «Шахтоуправления «Донбасс», которая является типовой для глубоких шахт Донецкого бассейна, разрабатывающих пологие и наклонные пласты, произведена экономическая оценка влияния затрат на мероприятия по обеспечению нормальных темпера-

турных условий на выемочных участках на общие технико-экономические показатели работы предприятия.

При ведении очистных и подготовительных работ при повышенных температурах воздуха ухудшаются технико-экономические показатели работы шахты:

– снижается объем добычи угля вследствие уменьшения норм выработки и снижения производительности труда рабочих;

– возрастает заболеваемость рабочих от тепловых ударов, сердечнососудистых, простудных заболеваний и пиодермитов, что ведет к временной или полной потере трудоспособности;

– увеличиваются расходы на выплату пенсий и пособий по нетрудоспособности, а также на дополнительные отпуска горнорабочим.

Для определения экономического ущерба по шахте, связанного с неблагоприятными климатическими условиями в участковых выработках и лавах без охлаждения воздуха (табл.8.13), выполнены расчеты затрат, обусловленных снижением норм выработки и выплатами компенсаций горнорабочим за работу при повышенных температурах воздуха по отраслевым методическим рекомендациям. Исходные данные для расчетов приняты по данным инвестиционного проекта.

*Затраты по заработной плате, связанные со снижением норм выработки при работах с повышенной температурой воздуха в забоях:*

$$П_1 = K_c \cdot C_n' \cdot t_1 \cdot \left( \frac{1 - K_m}{K_m} \right) = 973387, \text{ грн/год} \quad (8,24)$$

где:  $K_c$  - страховой взнос, д.е., 1,497;  $C_n'$  - месячный фонд прямой заработной платы рабочих-сдельщиков, грн/мес., 487669;  $t_1$  - период времени в течение года, когда температура воздуха в забое превышает допустимую, мес., 12;  $K_m$  - поправочный коэффициент к норме выработки, 0,9.

*Затраты, связанные с дополнительным отпуском рабочих (6 дней отпуска или 25% месячного заработка):*

$$П_2 = 0.25 \cdot K_c \cdot C_n' \cdot t_1 = 219012, \text{ грн/год.} \quad (8,25)$$

*Снижение индивидуальной производительности труда рабочих, постоянно работающих в условиях нагревающего микроклимата:*

$$П_3 = \frac{C_2^л \cdot \gamma_2^{ном} \cdot D_{2c}^л \cdot n_p^n \cdot n_{дн} \cdot \alpha_1}{100 \cdot (1 - \alpha_1) \cdot n_p'} = 963900, \text{ грн/год,} \quad (8,26)$$

где:  $C_2^l$  - фактическая себестоимость добычи 1 т угля в очистном забое, грн/т, 117,33;  $\gamma_2^{nocm}$  - удельный вес условно-постоянных расходов в фактической себестоимости добычи 1 т угля в очистном забое, %, 18;  $D_{2c}^l$  - фактическая суточная среднегодовая нагрузка на очистной забой при высокой температуре воздуха, т/сут, 1400;  $n_{pn}$  - общая численность кадровых (адаптированных) ГРОЗ, постоянно работающих в условиях нагревающего микроклимата, чел, 135;  $n_p'$  - общая списочная численность ГРОЗ, чел, 138;  $n_{дн}$  - фактическое число дней работы забоя в течение года, дней, 300;  $\alpha_l$  - коэффициент, учитывающий снижение индивидуальной производительности труда рабочих в условиях нагревающего микроклимата, 0,1.

*Снижение производительности труда рабочих в период реадaptации после очередного отпуска:*

$$П_4 = \frac{C_2^l \cdot \gamma_2^{nocm} \cdot D_{2c}^l \cdot n_p^n \cdot t_{rea} \cdot \alpha_p}{100 \cdot n_p'} = 216933, \text{ грн/год}, \quad (8.27)$$

где:  $t_{rea}$  - период реадaptации после очередного отпуска, дней, 30;  $\alpha_p$  - коэффициент, учитывающий пониженную производительность труда в период реадaptации, 0,25.

*Снижение производительности труда рабочих в период адаптации:*

$$П_5 = \frac{C_2^l \cdot \gamma_2^{nocm} \cdot D_{2c}^l \cdot n_{pnp} \cdot t_{ad} \cdot \alpha_a}{100 \cdot n_p'} = 39337, \text{ грн/год}, \quad (8.28)$$

где:  $n_{pnp}$  - число принятых на работу в течение года рабочих, ранее не работавших в забоях с высокой температурой воздуха, чел, 12;  $t_{ad}$  - период адаптации, дней, 30;  $\alpha_a$  - коэффициент, учитывающий пониженную производительность труда в период адаптации, 0,51.

*Снижение производительности труда рабочих в период реадaptации после кратковременной болезни:*

$$П_6 = \frac{C_2^l \cdot \gamma_2^{nocm} \cdot D_{2c}^l \cdot n_p^{\bar{b}} \cdot t_{\bar{b}} \cdot \alpha_{\bar{b}}}{100 \cdot n_p'} = 33835, \text{ грн/год}, \quad (8.29)$$

где:  $n_p^{\bar{b}}$  - число случаев, когда ГРОЗ не работали по причине кратковременной болезни или несчастного случая не свыше 7 дней, 47;  $t_{\bar{b}}$  - период реадaptации

ции после кратковременной болезни, дней, 7;  $\alpha_6$  - коэффициент, учитывающий снижение производительности труда при кратковременной болезни, 0,48.

*Снижение производительности труда рабочих вследствие возрастания простудных заболеваний:*

$$П_7 = \frac{C_2^л \cdot \gamma_2^{носм} \cdot D_{2с}^л \cdot n_p^{np} \cdot t_n \cdot \alpha_n}{100 \cdot n_p'} = 69187, \text{ грн/год}, \quad (8.30)$$

где:  $n_p^{np}$  - число рабочих (случаев), заболевших простудными заболеваниями в январе-апреле, октябре-декабре, чел, 69;  $\alpha_n$  - коэффициент, учитывающий влияние перепада температуры воздуха в околоствольном дворе и очистном забое на возрастание простудных заболеваний, 0,6;  $t_n$  - средняя продолжительность случая простудного заболевания, дней, 7,8.

*Снижение производительности труда рабочих вследствие физиологически нерационального внутрисменного режима труда и отдыха:*

$$П_8 = \frac{C_2^л \cdot \gamma_2^{носм} \cdot D_{2с}^л \cdot n_{дн} \cdot \alpha_{фс}}{100} = 887015, \text{ грн/год}, \quad (8.31)$$

где:  $\alpha_{фс}$  - коэффициент, учитывающий снижение производительности труда при физиологически нерациональном внутрисменном режиме для ГРОЗ на пологих пластах, 0,1.

*Снижение производительности труда рабочих вследствие физиологически нерационального недельного режима труда и отдыха:*

$$П_9 = \frac{C_2^л \cdot \gamma_2^{носм} \cdot D_{2с}^л \cdot n_{дн} \cdot \alpha_{фн}}{100} = 443507, \text{ грн/год}, \quad (8.32)$$

где:  $\alpha_{фн}$  - коэффициент, учитывающий снижение производительности труда при 5-дневной рабочей неделе с режимом 3:1 в сравнении с режимом 5:2, 0,05.

*Снижение производительности труда рабочих вследствие физиологически нерационального годового режима труда и отдыха (одноразового отпуска):*

$$П_{10} = \frac{C_2^л \cdot \gamma_2^{носм} \cdot D_{2с}^л \cdot n_{дн} \cdot (n_p' - n_p^{np}) \cdot \alpha_{от}}{100 n_p'} = 1214825, \text{ грн/год}, \quad (8.33)$$

где:  $\alpha_{от}$  - коэффициент, учитывающий снижение производительности труда при одноразовом отпуске по сравнению с двухразовым отпуском, 0,15.

Потери в связи с выплатой пособий по временной нетрудоспособности вследствие повышения простудных заболеваний в осенне-весенний-зимний периоды:

$$П_{11} = \frac{Z_2 \cdot n'_p \cdot K_n \cdot \alpha_{np} \cdot Ч_n}{100} = 132698, \text{ грн/год}, \quad (8.34)$$

где:  $Z_2$  - средняя фактическая дневная заработная плата ГРОЗ в январе-апреле, октябре-декабре, грн/выход, 354,25;  $K_n$  и  $Ч_n$  - коэффициенты тяжести и частоты простудных заболеваний в указанные периоды времени, 7,8 и 58;  $\alpha_{np}$  - коэффициент, учитывающий увеличение простудных заболеваний в осенне-зимний и зимне-весенний периоды, 0,6.

Потери от увеличения условно-постоянных расходов на смежных процессах, обслуживающих очистной забой:

$$П_{12} = \frac{\gamma^{об} \cdot C_{ш} \cdot D_{2c}^n \cdot n_{дн}}{100} \cdot [0,1 + (\alpha_l - 1,1) \cdot 0,7] = 5918195, \text{ грн/год}, \quad (8.35)$$

где:  $\gamma^{об}$  - удельный вес условно-постоянных расходов по звеньям, непосредственно обслуживающим очистной забой, в общешахтной себестоимости 1 т угля, %, 6,15;  $C_{ш}$  - фактическая производственная себестоимость 1 т угля в целом по шахте, грн, 739,1;  $\alpha_l$  - показатель возможного роста нагрузки на лаву в результате нормализации тепловых условий:

$$\alpha_l = D_{1c}^n / D_{2c}^n = 2011/1400 = 1,44, \quad (8.36)$$

где:  $D_{1c}^n$  - расчетная нагрузка на лаву без учета теплового фактора, т/сут:

$$D_{1c}^n = D_{2c}^n \left\{ 1 + \left[ \frac{1}{n'_p} \left( \frac{\alpha_1 n_p^n}{I \alpha_1} + \frac{n_p^n \alpha_p t_{pea}}{n_{дн}} + \frac{n_p^{np} \alpha_a t_{ad}}{n_{дн}} + \frac{n_p^{\bar{o}} \alpha_{\bar{o}} t_{\bar{o}}}{n_{дн}} + \frac{n_p^z t_z \alpha_z}{n_{дн}} + \frac{n_p^{np} t_n \alpha_n}{n_{дн}} \right) + \alpha_{\phi c} + \alpha_{\phi н} + \alpha_{от} \times \left( \frac{n'_p n_p^{np}}{n'_p} \right) \right] \right\} = 2011 \quad (8.37)$$

Потери в связи с деконцентрацией горных работ:



$$\Pi_{13} = \Pi^m_{13} + \Pi^{np}_{13} = 4962033, \text{ грн/год}, \quad (8.38)$$

где:  $\Pi^m_{13}$  - потери в связи с дополнительным объемом работ по транспортировке угля, породы и материалов, руб/год;  $\Pi^{np}_{13}$  - потери в связи с дополнительными расходами по проветриванию очистных забоев и осуществлению газового контроля, грн/год.

$$\Pi^m_{13} = \frac{n_{\text{дн}} \cdot (Z_y + Z_n + Z_m)}{t_m} \cdot (\alpha_{\text{ш}} - 1) = 300778, \text{ грн/год}, \quad (8.39)$$

где:  $Z_y, Z_n, Z_m$  - месячный ФЗП работников, занятых соответственно транспортировкой угля, породы и материалов, грн, 32569, 7400, 44583;  $t_m$  - среднегодовое число рабочих дней в течение месяца, 25,3;  $\alpha_{\text{ш}}$  - показатель возможного роста нагрузки на шахту в результате нормализации тепловых условий, 1,3.

$$\Pi^{np}_{13} = (Z_{np} + C_9 + Z_a + Z_k) \cdot (\alpha_{\text{ш}} - 1) = 4661255, \text{ грн/год}, \quad (8.40)$$

где:  $Z_{np}$  - годовая зарплата работников, занятых обслуживанием главной вентиляторной установки, грн/год, 133304;  $Z_a$  - годовая сумма амортизационных отчислений от стоимости оборудования главной вентиляторной установки, грн/год, 174204;  $Z_k$  - годовая заработная плата работников участка ВТБ, грн/год, 4008912;  $C_9$  - годовая стоимость электроэнергии для проветривания шахты, грн/год, рассчитывается по формуле:

$$C_9 = W_9 \left( a_1 \cdot 24 \cdot \zeta + \frac{a_2}{\cos} \right) n_c^6 = 11395300, \text{ грн/год}, \quad (8.41)$$

где:  $W_9$  - мощность двигателя главной вентиляционной установки, кВт, 3500;  $a_1, a_2$  - соответственно тарифы за 1 кВт·ч израсходованной электроэнергии (грн) и за 1 кВа установленной мощности трансформатора, грн/сут, 0,4359 и 0,0239;  $\zeta$  - средний коэффициент загрузки двигателей по мощности, 0,85;  $\cos\varphi$  - коэффициент мощности, 0,85;  $n_c^6$  - количество суток работы главной вентиляторной установки в течение года, 365.

Суммарные потери шахты составят:

$$\Pi^{\text{ш}}_{\text{оч}} = \sum_{i=1}^{13} \Pi_i = 16073864, \text{ грн/год}. \quad (8.42)$$

Выполнены также расчеты затрат, связанных с работами по осуществлению охлаждения воздуха на выемочных участках шахты с помощью стационарной холодильной установки мощностью 1 МВт. Перечень необходимого оборудования и материалов для внедрения проекта кондиционирования воздуха, а также объемы инвестиций приведены в табл. 11.3 (в ценах 2009 года).

Таблица 11.3.

Перечень оборудования и его стоимость для ввода в эксплуатацию на шахте стационарного холодильного оборудования мощностью 1 МВт

№ п/п	Наименование оборудования и материалов	Единица измерения	Количество	Цена за единицу, тыс.грн.	Стоимость, тыс. грн.
1	2	3	4	5	6
1.	Машина холодильная МХРВ-1, в том числе: агрегат компрессорный А900, блок аппаратный, водоохладитель ОКВШ-325 (4 шт.), воздухоохладитель ОВ-190Ш (4 шт.), вспомогательная машина ВМ-600	шт.	1	9700	9700
2.	Высоковольтная ячейка КРУВ-6	шт.	2	95,0	190,0
3.	Подстанция ТСВП-250	шт.	2	140,0	280,0
4.	Фидерный автомат АВ-400	шт.	1	22,0	22,0
5.	Магнитные пускатели: ПВИ-250; ПВР-63	шт.	22	16,0-28,0	440,0
6.	Агрегат пусковой АПШ-1	шт.	2	21,0	42,0
7.	Светильник РВЛ-20	шт.	20	0,7	14,0
8.	Электродвигатели: 10÷110 кВт	шт.	8	6,5-42,0	193
9.	Вентиляторы ВМЭ	шт.	13	64,0	832,0
10.	Кабельная продукция: СБВШ 3×70; КГЭШ 3×6÷3×70	м	1300	0,06-0,42	291,05
11.	Насосы: ЦНС 180/128; 180/85; 60/50	шт.	8	7,33-30,3	172,14
12.	Трубы: Ду 100÷1500	т	130,92	4,5-12,8	1050,81
13.	Трубы бесшовные: Ду 25÷65	т	0,33	4,45-5,54	1,75
14.	Задвижки стальные ЗКЛ-2: Ду 100÷200	шт.	27	1,2-3,2	44,1

Продолжение таблицы 11.3

1	2	3	4	5	6
15.	Задвижки чугунные: Ду 100÷250	шт.	26	0,47- 1,98	24,34
16.	Вентили фланцевые: Ду 40÷50	шт.	14	0,07- 0,15	1,93
17.	Вентили резьбовые: Ду 15÷40	шт.	18	0,01- 0,06	0,49
18.	Противопожарный вентиль Ду 150	шт.	4	1,0	4,0
19.	Сталь листовая 3÷5 мм	т	0,8	4,1	3,28
20.	Сталь угловая: 50×50; 75×75	т	0,9	4,0	3,65
21.	Паронит 1÷4 мм	кг	140	0,02- 0,03	2,9
	Болты: М 20×140; 20×120; 16×120	кг	700	0,01	7,1
23.	Манометры технические	шт.	14	0,08	1,12
24.	Проект кондиционирования воздуха	шт.	1	115,28	115,28
25.	Монтаж и наладка холодильного и вспомогательного оборудования	шт.	1	573,52	573,52
Всего					14010,46

Таким образом, годовые экономические потери шахты при работе в неблагоприятных климатических условиях сопоставимы с затратами на совершенствование производственной инфраструктуры шахты. Организация участка кондиционирования воздуха в составе УПРТБ, строительство и пуск в работу стационарной холодильной установки на шахте для нормализации тепловых условий в рабочих забоях позволило получить экономический эффект в сумме 2063,4 тыс. грн. уже в первый год ее эксплуатации. В последующие годы экономический эффект составит свыше 16 млн. грн. в год. При этом срок окупаемости холодильного и вспомогательного оборудования составляет 11 месяцев.

Полученные результаты позволяют сделать обобщающие выводы.

1. Совершенствование механизма организации и управления производственной инфраструктурой в угольной отрасли является источником повышения показателей производственно-хозяйственной деятельности угольных шахт. На глубоких шахтах это возможно за счёт организационно-технических мер путём создания участков кондиционирования воздуха в составе службы по организации профилактики и техники безопасности. При этом при реорганизации производственной инфраструктуры необходимо отказаться от принципа остаточного финансирования инфраструктуры как объективного условия развития рыночной экономики.

2. Организация участка кондиционирования воздуха на шахте и строительство комплекса холодильного оборудования мощностью 1 МВт позволило практически полностью обеспечить нормальные температурные условия труда на двух выемочных участках, расположенных на глубине 1200 м. В результате организационно-технических решений достигнут значительный экономический и социальный эффект:

- снизились расходы на добычу угля за счет: роста производительности труда горнорабочих на 11,1%, обеспечивающей уменьшение условно-постоянных расходов в структуре себестоимости угля; уменьшения выплат по временной нетрудоспособности в связи с заболеваемостью горнорабочих при работе в неблагоприятных температурных условиях; уменьшения дополнительных расходов на поддержание горных выработок, а также проветривание шахты;

- снизился уровень простудных заболеваний горнорабочих, уменьшился период их адаптации в неблагоприятных температурных условиях. При этом ожидается также снижение уровня сердечнососудистых заболеваний.

3. Результаты технико-экономических расчетов, необходимость повышения нагрузок на очистные забои при одновременном обеспечении безопасных и здоровых условий труда свидетельствуют, что альтернативы нормализации климатических условий в глубоких шахтах Донбасса с помощью искусственного охлаждения воздуха нет.

### **Литература к разделу [2,3,4,8,14,51,53,65-86].**

#### **Вопросы для самостоятельного контроля знаний**

1. Приведите классификацию способов и средств регулирования теплового режима в глубоких шахтах.
2. Перечислите горнотехнические способы нормализации тепловых условий.
3. Какой порядок выбора способов нормализации климатических условий на выемочных участках?
4. Опишите способы улучшения шахтного микроклимата средствами рудничной вентиляции.
5. Приведите классификационные признаки по тепловому фактору схем проветривания выемочных участков.
6. Какие способы относятся к технологическим? Проанализируйте возможные пути их реализации.

7. Перечислите специальные горнотехнические способы нормализации климатических условий на выемочных участках и дайте оценку их применению.
8. Какие параметры необходимо учитывать при технико-экономической оценке горнотехнических способов нормализации климатических условий?
9. Дайте определение понятия «холодильная машина» и опишите типы холодильных машин.
10. Дайте характеристику рабочих тел (холодильных агентов), применяемых в холодильной технике.
11. Объясните принцип получения искусственного холода с применением парокомпрессионных холодильных машин.
12. В чем состоит особенность принципа работы воздушных холодильных машин?
13. Как оценивается эффективность цикла охлаждения холодильной машины?
14. Приведите модификации СКРВ с размещением холодильной станции на поверхности. Укажите достоинства и недостатки таких систем.
15. Дайте характеристики СКРВ с подземным размещением холодильной станции в горных выработках, их отличительные особенности.
16. Охарактеризуйте возможные схемы размещения кондиционеров типа КППШ при охлаждении воздуха в тупиковых выработках длиной до 500 м.
17. Принципиальные схемы кондиционирования воздуха при проведении тупиковых выработок большой протяженности при параллельной или последовательной работе кондиционеров.
18. Приведите принципиальные схемы отвода теплоты конденсации хладагента в СКРВ, область их применения.
19. Приведите технические характеристики оборудования для охлаждения рудничного воздуха, выпускаемого в Украине.
20. Опишите закономерности формирования тепловлажностного потенциала рудничного воздуха в горных выработках.
21. Опишите способ кондиционирования рудничного воздуха путём перераспределения тепловлажностного потенциала (ПТП).
22. Опишите установку кондиционирования рудничного воздуха для реализации способа ПТП.
23. Какое влияние оказывают повышенные температуры воздуха при ведении очистных и подготовительных работ на технико-экономические показатели работы шахты.
24. За счет каких организационно-технических решений, способов и средств на глубоких угольных шахтах может быть достигнут значительный экономический и социальный эффект?

## **Часть V.**

*Рассмотрены средства индивидуальной и коллективной противотепловой защиты горнорабочих и средства обеспечения противотепловой одежды.*

*Опираясь на материалы раздела, студент должен: знать назначения, технические характеристики, условия применения индивидуальных и коллективных средств противотепловой защиты горнорабочих, в частности, принцип действия системы жизнеобеспечения бокс-базы горноспасательной, мобильной установки «Релаксатор» и шахтного радиационного кондиционера «Луч» для коллективной защиты горнорабочих от перегрева, объяснять целесообразность их применения. Уметь пользоваться этими средствами.*

### **Раздел 9. Средства противотепловой защиты горнорабочих**

По состоянию на июль 2013 года более чем в 50 шахтах Донбасса температурные условия в действующих горных выработках без применения мер по их нормализации не удовлетворяли требованиям Правил безопасности и ДСП 3.3.1.095-2002.

Температура воздуха на рабочих местах, в лавах и тупиковых подготовительных выработках достигает 35-40°C и более при относительной влажности 60-100%. Труд горнорабочих в таких условиях изнурителен, малопродуктивен, отрицательно сказывается на безопасности работ, нередко приводит к перегреванию организма горнорабочих, что сопровождается возникновением профзаболеваний и тепловых ударов. Как показывает статистика (по данным НИИ медико-экологических проблем Донбасса и угольной промышленности Министерства здравоохранения Украины, с диагнозом «острый перегрев» ежегодно в лечебные учреждения поступает в среднем 30 человек), значительное количество случаев летального исхода на рабочих местах и после выезда из шахты в основном происходят с горнорабочими глубоких горизонтов.

При повышенной температуре воздуха на рабочих местах для предупреждения перегревания организма горняков разрабатывают различные мероприятия по нормализации микроклимата и технические средства для их индивидуальной и коллективной противотепловой защиты. В шахтах со сложными горно-геологическими условиями, где обычными горнотехническими мероприя-

тиями (вентиляция, сокращение путей движения воздуха к рабочим забоям, увеличения сечения выработок и др.) не обеспечивается допустимая температура воздуха, необходимо применять искусственное охлаждение (кондиционирование) воздуха, а также спецодежду с искусственным охлаждением.

Для глубоких шахт первые два мероприятия, связанные со снижением температуры воздуха, требуют больших материальных затрат, необходимых для проведения дополнительных стволов, вентиляционных выработок, использования более мощных вентиляторов, трубопроводов и кондиционеров, так как стоимость каждого из этих мероприятий для шахты может составить несколько десятков млн. гривен. В связи с этим, в условиях повышенной температуры шахтного микроклимата, наряду с перечисленными мероприятиями, целесообразным является применение спецодежды с индивидуальным охлаждением, т.е. средств индивидуальной и коллективной противотепловой защиты горнорабочих.

### **9.1. Средства индивидуальной противотепловой защиты горнорабочих**

Средства индивидуальной противотепловой защиты (СИПТЗ) предназначены для обеспечения нормальных условий терморегуляции горняков там, где применение общего кондиционирования рудничного воздуха невозможно или экономически нецелесообразно.

Согласно СОУ 010-10.1.00174102-015-2010 к СИПТЗ относят одежду (жилеты, куртки, костюмы), средства для её обеспечения и оказания помощи пострадавшим при перегревании и механических травмах (ОЭ, морозильные установки, теплоизолирующие контейнеры), средства оказания помощи (пакеты химические охлаждающие – ПХО).

Большой вклад в разработку, создание и внедрение средств индивидуальной противогазотепловой защиты горнорабочих и пожарных внесли украинские учёные Землянский И.Я., Рыбалко А.П., Карпекин В.В., Клименко Ю.В., Вольский В.А., Пашковский П.С., Марийчук И.Ф., Колосниченко М.В., Гаврилко А.А., Мычко А.А., Очкуренко В.И., Положий В.О. и др.

#### **9.1.1 Противотепловая одежда для горнорабочих**

##### ***Охлаждающий жилет горнорабочего конструкции НИИГД***

Охлаждающий жилет (ОЖГ) предназначен для защиты горнорабочих от воздействия температуры воздуха окружающей среды от 27 до 40 °С. Он пред-

ставляет собой трехслойную конструкцию, выполненную из следующих слоев: наружный – из воздухонепроницаемой прорезиненной ткани, средний – из объемного теплоизолирующего материала (синтепона) и внутренний – из прочной комбинированной ткани (рис.9.1). Два последних слоя скреплены вместе пришитыми решетчатыми полиэтиленовыми карманами для ОЭ.

Техническая характеристика охлаждающего жилета ОЖГ приведена в табл. 9.1, а его внешний вид и внутренний вид на рис. 9.1.

Предусмотрено два размера жилета, в зависимости от чего в них размещается 13 или 15 шт. ОЭ-2.



Рисунок 9.1. Охлаждающий жилет горнорабочих (ОЖГ): а – внешний вид; б – в развёрнутом виде с карманами для охлаждающих элементов (ОЭ)

Таблица 9.1

Техническая характеристика охлаждающего жилета ОЖГ

Показатель	Значение
Время защитного действия без переснаряжения ОЭ-2, мин, при влажности воздуха до 100 %, скорости движения 1 м/с, энергозатратах человека до 350 Вт и температуре окружающей среды от 27 до 40 °С, не менее	120 – 40
Масса льда в системе охлаждения, кг, не более	2,6
Количество охлаждающих элементов ОЭ-2, шт, не более	15
Масса снаряженного жилета, кг, не более	3,2
Срок службы, лет, не менее	1

Охлаждающие жилеты можно использовать при передвижении по выработкам с повышенной температурой или непосредственно в месте ведения работ.



### *Охлаждающие элементы для противотепловых жилетов*

НИИГД и ПБ «Респиратор» разработал два типа водяных охлаждающих элементов ОЭ-2 и ОЭ-3.

Водоледяной охлаждающий элемент ОЭ-2 (рис.9.2), техническая характеристика которого приведена в табл. 9.2, представляет собой четырехсекционную ампулу с водой, изготовленную из полиэтиленовой пленки толщиной 0,15 мм, со швами между секциями и по краям, выполненными методом термосварки. В результате замораживания ОЭ-2 происходит фазовый переход воды в лёд с увеличением его объема пропорционально уменьшению плотности по сравнению с водой, поэтому, во избежание разгерметизации швов, секции водой полностью не заполняют.

Таблица 9.2

Техническая характеристика ОЭ-2

Наименование показателя	Значение показателя
Запас холода при начальной температуре минус 10 °С, кДж, не менее	68
Габаритные размеры, мм, не более	212x93x20
Масса, кг, не более	0,175

Водоледяные элементы ОЭ-2 при их замораживании в установке «Зима-А» с температурой до минус 60°С после двух-трёх замораживаний выходят из строя, поэтому они не пригодны для дальнейшего использования. При замораживании ОЭ-2 в камерах установок «Норд» и «Зима-В» с температурой минус (15...20) °С количество повторных применений ОЭ-2 составляет уже от 12 до 15, после чего происходит их разрыв в области верхних горизонтальных швов. В связи с этим ежегодная потребность подразделений ГВГСС в ОЭ-2 составляла от 30 до 40 тыс.шт., а затраты в настоящее время составляют от 300 до 400 грн.

Для сокращения затрат на проведение работ в условиях повышенных температур (в аварийных условиях) разработан водоледяной аккумулятор холода ОЭ-3 (рис.9.3).

Он предназначен для активного теплосъёма от организма человека, выполняющего работы в условиях повышенной температуры окружающей среды.

Конструктивное исполнение и технология изготовления ОЭ-3, выполненного из поливинилхлоридной плёнки толщиной 0,40 мм, аналогичны ОЭ-2.

Сравнительные технические характеристики охлаждающих элементов ОЭ-2 и ОЭ-3 приведена в табл. 9.3. При незначительном увеличении массы ОЭ – 3 количество их применений увеличилось не менее чем в 20 раз.

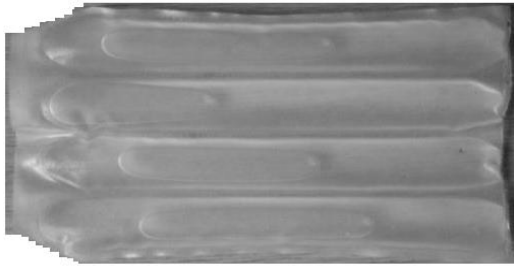


Рисунок 9.2. Водоледающий элемент ОЭ-2

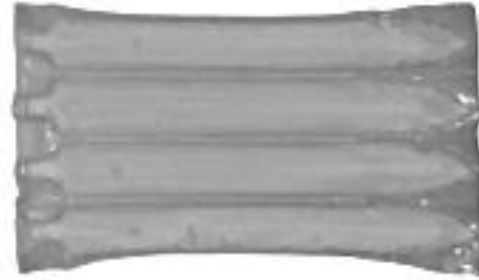


Рисунок 9.3. Водоледающий аккумулятор холода ОЭ-3

Таблица 9.3

Сравнительные технические характеристики ОЭ-2 и ОЭ-3

Наименование показателя	Значение показателя	
	Охлаждающий элемент	
	ОЭ-2	ОЭ-3
Температура замораживания, °С	от минус 10 до минус 60	от минус 10 до минус 60
Количество применений, раз, не менее	от 2 до 10	330
Масса, кг, не более	0,173	0,200
Габаритные размеры, мм, не более		
длина	212	212
ширина	105	105
высота	20	20

Замораживание охлаждающих элементов ОЭ-2 и ОЭ-3 производится в стационарных холодильных камерах, экстренное – в установке «Зима-А» мобильного комплекса противотепловых средств (МКПС) с использованием жидкого азота, а также в воздушных наземной или шахтной установках МКПС «Зима-В», находящихся на оснащении подразделений ГВГСС.

Доставка замороженных ОЭ-2 и ОЭ-3 горнорабочим с поверхности к месту ведения горных и аварийных работ, переоснащение ими ПТО осуществляется в вагонетках-термосах или в теплоизолирующих контейнерах К-2 (рис. 9.5), входящих в состав МКПС «Зима-А» и «Зима-В».

### *Противотепловой жилет компании Dräger*

Компания Dräger (Германия) разработала и серийно выпускает СИПЗ, предназначенные для поглощения избыточного тепла тела человека (рис. 9.4).

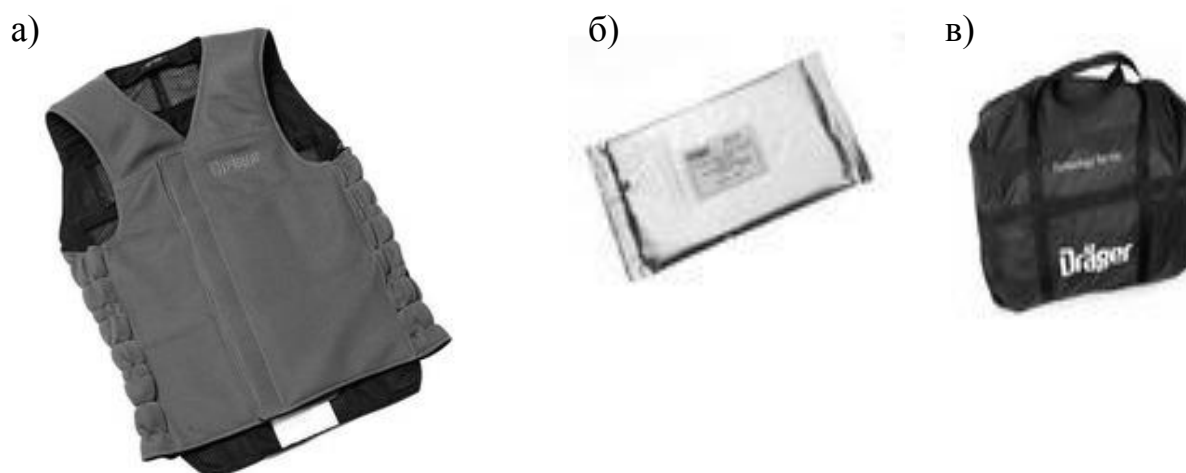


Рисунок 9.4. Средства индивидуальной противотепловой защиты компании Dräger: а) - противотепловой жилет Dräger CVP 5220; б) - охлаждающие элементы, используемые в охлаждающем жилете; в) - сумка для транспортировки охлаждающего жилета.

Охлаждающее действие жилета обеспечивается 22 охлаждающими элементами, которые встроены в противотепловой жилет. Базовым материалом охлаждающих элементов является глауберова соль, которая при температурах ниже 22 °С является твердым телом. При температуре поверхности 28 °С содержимое охлаждающих элементов переходит в жидкое состояние, поглощая при этом тепловую энергию, выделяемую телом рабочего. Противотепловой жилет может уменьшить температуру тела пользователя на три - четыре градуса.

В зависимости от интенсивности физической работы и окружающей температуры жилет обеспечивает охлаждение тела не менее трех часов.

После использования необходимо вынуть охлаждающие элементы жилета. Если температура окружающей среды ниже 22 °С, в элементах происходит фазовый переход. В течение от 30 минут до 2 часов содержимое охлаждающих элементов возвращается в прежнее (твердое) состояние и жилет можно использовать повторно.

Достоинства противотеплового жилета Dräger CVP 5220: не требуется замораживание охлаждающих элементов; готовность к немедленному использованию; простота в использовании (застёжки Velcro); длительное время защитного действия, малый вес, огнестойкость.

К недостаткам охлаждающего жилета с соляной смесью следует отнести: необходимость плотного прилегания к телу человека, так как охлаждение происходит за счет процесса теплопроводности, что при длительном применении может привести к так называемому «парниковому эффекту», а, следовательно, к различным заболеваниям. В случае применения жилета в шахтных условиях в течение рабочей смены (6 ч) с температурой 28 °С необходимо снимать жилеты примерно трижды, а при 40 °С – 12 раз, поэтому не ясно, каким образом будет восстанавливаться их функциональное состояние. Поэтому наиболее эффективными и практичными являются охлаждающие жилеты для горнорабочих конструкции НИИГД.

### **9.1.2. Средства обеспечения противотепловой одежды**

К средствам обеспечения противотепловой одежды относятся: теплоизолирующие контейнеры К-2, стационарные морозильные камеры, передвижные морозильные установки «Зима-А» и «Зима-В».

Переносной теплоизолирующий контейнер К-2 (рис. 9.5) предназначен для доставки ОЭ в горные выработки к месту ведения работ, хранения и оснащения ими одежды.



Рисунок 9.5. Переносной теплоизолирующий контейнер К-2

Он состоит из наружного слоя (винилискожи), среднего – из двух пенополиуретановых пластин, между которыми находится воздушная прослойка, образованная с помощью приклеенных по краям и в центре пяти прокладок из пенополиэтилена, внутреннего – из прорезиненной ткани и съёмной аналогичной ткани, расположенной в верхней части заполненного ОЭ контейнера, ручки и плечевых ремней для возможностью переноски его в руках, на плечах и спине.

Сравнительная техническая характеристика контейнера К-2, для переноски и хранения ОЭ с толщиной полиэтиленовой пленки ОЭ-2  $\delta = 0,15$  мм и ОЭ-3 из поливинилхлоридной пленки  $\delta = 0,40$  мм, приведена в табл. 9.4.

Из данных табл. 9.4 следует, что при увеличении массы контейнера с ОЭ-3 на 1,5 кг, при заполнении охлаждающих элементов водой, время их хранения до температуры минус 3 °С увеличивается в 1,7 раза.

Таблица 9.4

Техническая характеристика контейнера К-2

Наименование показателя	Значение показателя ОЭ	
	ОЭ-2	ОЭ-3
Количество ОЭ, шт.	60	60
Время хранения в замороженном виде при начальной их температуре минус 10 °С, конечной минус 3 °С и температуре воздуха окружающей среды 30 °С, мин, не менее	360	600
Масса, кг, не более	11,2	12,7
Габаритные размеры, мм, не более		
длина	520	
ширина	200	
высота	400	
Средний срок службы, лет, не менее	3	

Передвижной теплоизолирующий контейнер (вагонетка-термос) ПВТ (рис. 9.6) состоит из рамы, скатов, поручней, крышки, замков, кузова и пробки.

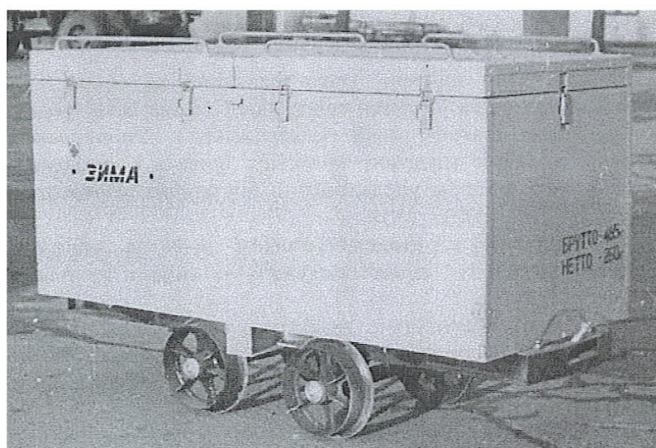


Рисунок 9.6. Передвижной теплоизолирующий контейнер (вагонетка-термос)

Наружный и внутренний слои контейнера выполнены из нержавеющей стали, теплоизолирующий – из полистерола толщиной 8 см. Внутренний объем ПВТ разделен перегородкой и вместе с крышкой делит его на две равные части для последовательного извлечения ОЭ. Техническая характеристика ПВТ приведена в табл. 9.5.

Таблица 9.5

Техническая характеристика передвижного контейнера ПВТ

Наименование показателя	Значение показателя
Масса, брутто, кг, не более	490
Колея, мм	600 или 900
Количество помещаемых переносных контейнеров, шт	10
Количество помещаемых ОЭ-3, шт, не менее	1000
Диаметр колеса, мм	300
Габаритные размеры, мм, не более	
длина	2100
ширина	900
высота	1440

### **9.1.3. Средства оказания помощи пострадавшим при перегревании и механических травмах**

К средствам оказания помощи пострадавшим относится пакет химический охлаждающий ПХО.

ПХО (рис. 9.7, а) предназначен для оказания доврачебной помощи пострадавшим за счет местного охлаждения тканей организма, профилактики и купирования теплового удара в условиях тепловой нагрузки, а также снижения болевого синдрома при механических и термических травмах.

ПХО состоит из наружной оболочки с фиксирующим устройством (рис. 9.7, б), малой с водой и большой емкостей с химическими ингредиентами (рис. 9.7, в), теплоизолирующей оболочки (рис 9.7, г).

Меньшая ёмкость в виде кармана, образованная ромбовидной пластиной, термосварена с одной из внутренних стенок большой емкости. При этом ромбовидная пластина изготовлена из полимерного материала меньшей толщины, чем боковая стенка большей емкости. Такое исполнение охлаждающего пакета

улучшает эксплуатационные характеристики за счет обеспечения надежности при использовании в условиях повышенной температуры, так как приводит к распределению внешнего усилия для разрыва кармана только на два острых угла ромба, что уменьшает усилие при использовании пакета.



а)



б)



в)



г)

Рисунок 9.7. Пакет химический охлаждающий ПХО и его составные части:

- а) – общий вид; б) – наружная оболочка с фиксированным устройством;
- в) – малая с водой и большая емкости с химическими ингредиентами;
- г) – теплоизолирующая оболочка

Изготовление пакета проводится в такой последовательности:

- вырезаются заготовки ромбовидной формы малой емкости и прямоугольной формы большой емкости;
- для малой емкости заготовку сваривают швами с заготовкой большой емкости;

– через прокол в заготовке ёмкость заполняется водой, а затем герметизируется швом;

– изготовленную малую емкость большой стороной прямоугольной формы сваривают с заготовкой швами, заполняют карбамидом, азотнокислым аммонием по  $(100\pm 5)$ г и селикагелем  $(5\pm 0,5)$ г, герметизируют большую емкость швом;

– емкость с ингредиентами укладывается вместе с теплоизолирующей оболочкой и инструкцией по эксплуатации в наружную оболочку и фиксируется с помощью застежки;

– фиксирующее устройство в виде бесконечной ленты предварительно крепится термосваркой на одной из сторон наружной оболочки.

Наружная оболочка изготовлена из материала полипропилен, малые и большие емкости – полиэтиленовой пленки толщиной 0,15 и 0,10 мм, причем малая емкость меньшей толщины – для снижения усилия при активации, теплоизолирующая оболочка – из пенофенола толщиной 2 мм, фиксирующее устройство – полиэтиленовой пленки толщиной 2 мм.

Для активации ингредиентов охлаждающий пакет сжимают пальцами рук, меньшая ёмкость ромбовидной формы с водой разрывается в области одной из вершин ромба от усилия, которое возникает в середине меньшей емкости и вода поступает в большую емкость с химическими ингредиентами: нитратом аммония, карбамидом и селикагелем, который предназначен для увеличения длительности хранения солей в сухом виде. После интенсивного встряхивания (от семи до десяти раз) пакета его прикладывают к участкам тела пострадавшего для снятия тепла или снижения болевого синдрома.

Сравнительная техническая характеристика пакета ПХО с костюмом экстренного охлаждения пострадавших КЭОП приведена в табл. 9.7.

Несмотря на меньшее время охлаждающего действия пакета ПХО, время восстановления теплового состояния с помощью восьми пакетов в 1,2 раза меньше, чем при использовании костюма КЭОП, время приведения в действие быстрее в 2,5 раза, масса меньше примерно в 3,0 раза. Кроме этого, для применения костюма КЭОП необходимо иметь на оснащении морозильную установку, теплоизолирующий контейнер К-2, водоледяные охлаждающие элементы ОЭ, транспортную сумку, что связано с дополнительными материальными затратами.

Рассмотренные выше средства индивидуальной противотепловой защиты используются горнорабочими в глубоких шахтах и могут быть также использованы в других отраслях промышленности, в которых работники выполняют работу в условиях повышенной температуры окружающей среды. СИПТЗ обеспечивают повышение безопасности труда, снижение затрат на ведение горных работ.



## Техническая характеристика ПХО

Наименование показателя	Значение показателя	
	Пакет ПХО	Костюм КЭОП
Время охлаждающего действия при температуре воздуха окружающей среды 303 К (плюс 30 °С), мин, не менее	30	45
Время приведения в действие, с, не более	120	300
Усилие, прикладываемое к пакету для его активации, Н, не более	150	–
Время восстановления теплового состояния пострадавших, мин, не более	22	30
Количество используемых пакетов, ОЭ–2, шт, не более	6	28
Общая масса, кг, не более	2,2	7,8
Габаритные размеры, мм, не более		
длина	220	2000
ширина	150	450
высота	32	150
Срок службы, лет, не менее	1	5

## 9.2. Средства коллективной противотепловой защиты горнорабочих

К средствам коллективной противотепловой защиты горнорабочих (СКПТЗ) относятся: комплекс бокс-базы горноспасательной (КБГ), мобильная установка для защиты рабочих от перегревания «Релаксатор» и шахтный радиационный кондиционер «Луч».

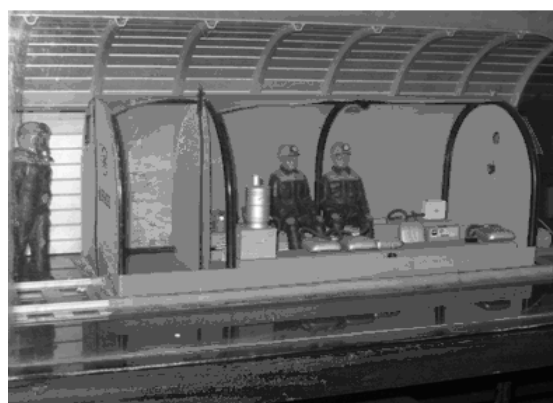
### 9.2.1 Комплекс бокс-базы горноспасательной НИИГД

Комплекс бокс-базы горноспасательной (рис. 9.8) предназначен для организации промежуточной подземной базы горноспасателей в выработках с вредной для дыхания атмосферой. Применяется при ликвидации аварий для

отдыха горноспасателей без средств защиты органов дыхания. Состоит из большого и малого боксов. Большой бокс развёртывается при температуре до 30°C, малый – до 50°C. В месте установки должна быть магистраль сжатого воздуха с давлением не менее 3 атм либо передвижной компрессор с подачей воздуха не менее 5 м<sup>3</sup>/мин. Система жизнеобеспечения бокс-базы очищает и охлаждает подаваемый воздух, регулирует его давление. Бокс-база устанавливается одним отделением горноспасателей в течение 15-30 минут. Она может быть эффективно применена для противотепловой защиты горнорабочих на глубоких горизонтах шахты, где температура воздуха превышает допустимые Правилам безопасности нормы.



а)



б)

Рисунок 9.8. Комплекс бокс-базы горноспасательной КБГ НИИГД:

а) внешний вид комплекса; б) вид комплекса внутри

Таблица 9.8

Техническая характеристика комплекса бокс-базы

Наименование показателя	Значение показателя
Время защитного действия, часов	30
Расход воздуха при давлении в сети	3 атм
- с охлаждением, м <sup>3</sup> /мин	3 – 5
- без охлаждения, м <sup>3</sup> /мин	1 – 3
Максимальное снижение температуры в малом боксе	до 18 °С
Количество людей, размещающихся в боксах:	
- большом	12
- малом	6
Масса, кг	
- большого	60
- малого	40
- системы жизнеобеспечения	80

КБГ применяется в выработках с вредной для дыхания атмосферой и при повышенных температурах в случае значительного удаления места работ от свежей струи. Комплекс состоит из бокс-баз двух типоразмеров и системы жизнеобеспечения.

Большая бокс-база имеет габариты 5,0x2,0x2,0 м и устанавливается в выработках с углом наклона не более 20°, сечением не менее 7,5 м<sup>2</sup> (при скорости воздуха до 4 м/с) и 8,8 м<sup>2</sup> (при скорости воздуха до 6 м/с). Малая бокс-база (габариты 3,5x1,75x1,75 м) устанавливается в выработках сечением не менее 5,5 м<sup>2</sup> при скорости воздушной струи до 6 м/с. Ширина выработки должна быть не менее 2,7 м.

#### Условия эксплуатации КБГ:

максимальная температура – 40° С;

относительная влажность воздуха – до 98%;

задымленность – сплошная;

содержание СО – до 1%; СО<sub>2</sub> – до 30%; СН<sub>4</sub> – до 5%.

Время подготовки бокс-базы к работе силами одного отделения не менее 30 минут. Доставка бокс-базы к месту установки производится силами двух отделений (при переноске вручную). Установка и обслуживание КБГ производится в соответствии с инструкцией по эксплуатации.

### **9.2.2. Мобильная установка для защиты горнорабочих от перегревания «Релаксатор».**

Конструктивно установка состоит из таких основных элементов (рис.9.9): экрана в виде замкнутой камеры 1, системы воздушного душирования 2, генератора холода (пневматической турбины) 3, каплеуловителя 4, поддона 5, отверстий для выхода осушенного воздуха 6, автономного источника сжатого воздуха 7 и других элементов.

Установка (рис.9.9 и 9.10) имеет двойные стенки, внешняя поверхность камеры покрыта теплоизоляционным материалом. Система воздушного душирования расположена внутри камеры и выполнена в виде трубы с отверстиями. Охлаждение воздуха происходит от генератора холода, представляющего собой пневматическую турбину, которая соединена с трубопроводом внешнего источника сжатого воздуха. К генератору холода подсоединен каплеуловитель с поддоном, имеющий отверстия для выхода избыточной влаги и воздуха, и соединенный каналами вдоль стенок и потолком камеры, а через них – с системой воздушного душирования. В нижней части камеры имеются отверстия для регулируемого выпуска конденсата и отработанного воздуха. В камере допол-

нительно установлен автономный источник сжатого воздуха, а сама установка оборудована герметичными дверями и установлена на шасси с возможностью ее перемещения.

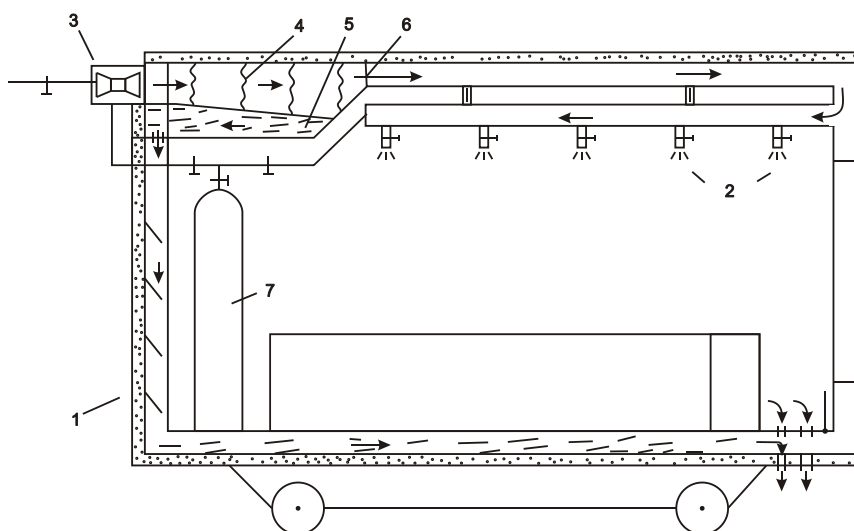


Рисунок 9.9. Схема мобильной микроклиматической установки «Релаксатор»:

1 – экран в виде замкнутой камеры, 2 – система воздушного душирования, 3 – генератор холода, 4 – каплеуловитель, 5 – поддон, 6 – отверстие для выхода осушенного воздуха, 7 – автономный источник сжатого воздуха.

Размеры и объём установки рассчитаны на максимально возможное количество работающих в забое людей (на одного человека в сидячем положении  $0,5 \text{ м}^3$ , в лежачем -  $1,3 \text{ м}^3$ ) и минимальный объём подаваемого воздуха. Перемещение установки по горным выработкам шахты может осуществляться на колесных парах, салазках и других приспособлениях.

Время пребывания людей в установке может составлять от 8 до 96 часов (4 суток). Продолжительность работы при повышенных температурах составляет до 45 мин, а время пребывания людей в камере для отдыха составляет от 10 до 15 мин.

Защита рабочих от перегревания в установке «Релаксатор» осуществляется путем тепловой релаксации организма, при этом охлаждение тела горнорабочих осуществляется комплексно:

- путём конвекции при обдувании тела воздухом с температурой ниже температуры поверхности тела;
- путём испарения пота с поверхности тела и влаги с внутренних поверхностей дыхательных путей при обдуве тела сухим воздухом;
- путём лучистого (радиационного) теплообмена между холодными внутренними поверхностями камеры и телом горнорабочих (радиационное охлаждение).

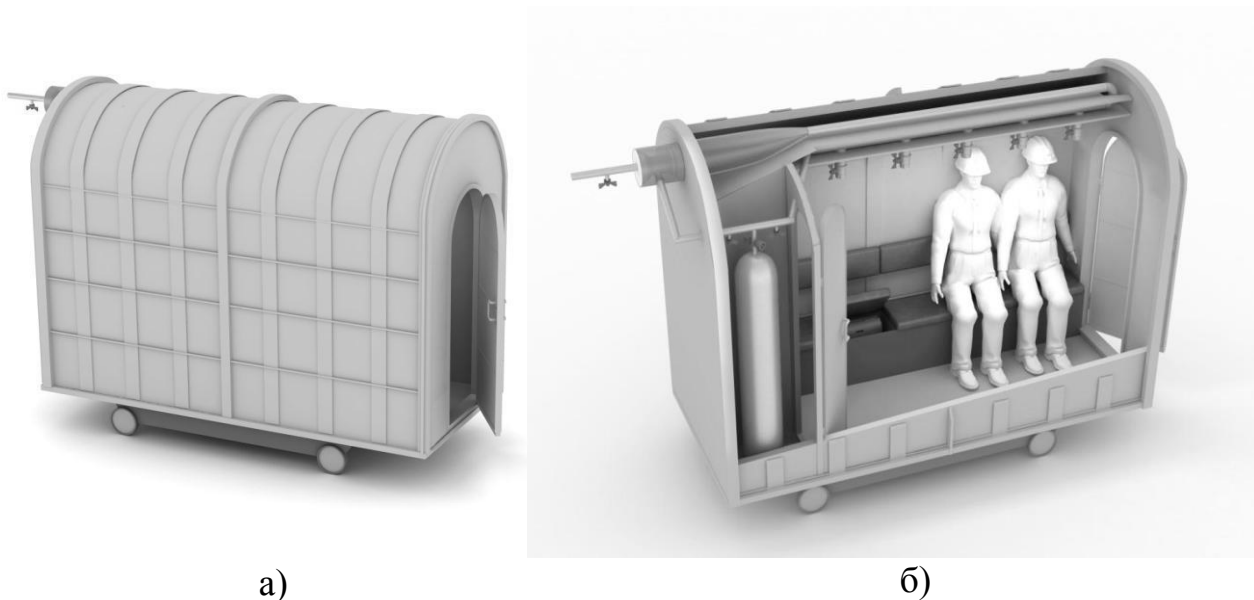


Рисунок 9.10. Мобильная микроклиматическая установка «Релаксатор»:  
а) внешний вид; б) вид внутри установки

Использование всех видов теплообмена организма горнорабочего в установке «Релаксатор» обеспечивает быстрое снижение перегрева тела, нормализацию теплового баланса организма, исключает опасность теплового удара и способствует восстановлению работоспособности.

Кроме того, установка может обеспечивать оперативную защиту горнорабочих, застигнутых аварией в шахте, в том числе: защиту от действия высоких температур при пожарах и взрывах в выработках. Мобильная микроклиматическая установка «Релаксатор» может обеспечивать не только тепловую релаксацию горнорабочих в обычных условиях, но и их оперативную защиту при авариях на добычных участках, в том числе – защиту от токсичной атмосферы и от тепловых ударов.

На установке должны быть нанесены, хорошо распознаваемые обозначения, по возможности светоотражающей краской. Указательный знак должен быть установлен поперек оси выработки. Следует предусматривать включение наружной сигнализации на время, когда в установке находятся люди (пневматический свисток или цветной электрический светильник, которые включаются автоматически при подаче воздуха в установку).

В установке предусмотрено место для размещения резервных самоспасателей, она должна быть оборудована газоанализаторами, средствами освещения, химическими осветительными стержнями, телефонной связью и средства для оказания медицинской помощи пострадавшим.

Очищенный от вредных и токсичных примесей воздух поступает в блок охлаждения воздуха и затем попадает в установку.

Особую опасность для горнорабочих, находящихся в установке, представляют взрывы в горных выработках, которые сопровождаются резким возрастанием температуры воздуха, давления и возникновением ударной волны. Для угольных шахт типичными являются взрывы, обусловленные химическими реакциями (взрывы смеси метана и воздуха, угольной пыли, метана и угольной пыли, взрывчатых материалов).

Для предотвращения разрушения установки ударной волной при взрывах ее целесообразно размещать в специально подготовленных нишах.

Размещение передвижной установки в нише горной выработки выемочного участка или в подготовительной выработке большой протяженности показано на рис.9.11.

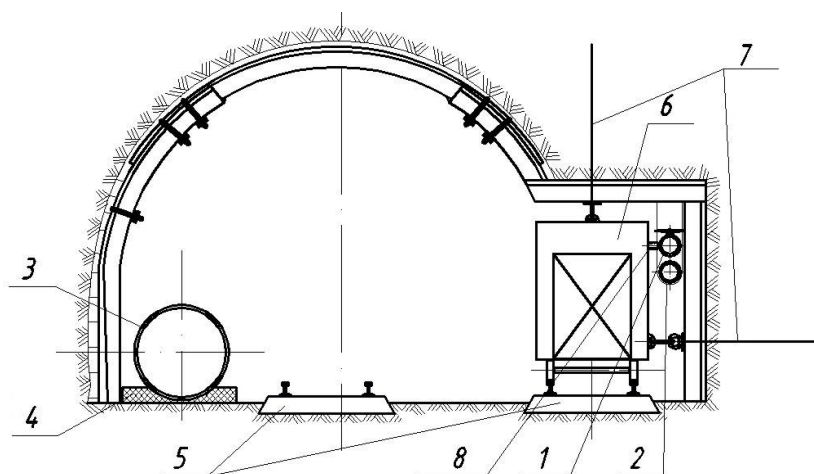


Рисунок 9.11. Размещение мобильной установки «Релаксатор» в нише горной выработки: 1- трубопровод сжатого воздуха; 2 – противопожарный трубопровод; 3 - дегазационный трубопровод; 4 – подложка (не металлическая); 5 - рельсовая дорога типа ДКНЛ-1; 6 – мобильная установка или передвижная камера-убежище; 7 - анкера крепления камеры-убежища; 8 - подвод сжатого воздуха к камере.

На основе установки «Релаксатор» может быть создана промышленная передвижная камера-убежище для спасения горняков при авариях в шахтах. Для этого необходимо усовершенствовать систему жизнеобеспечения (СЖО) внутри установки. Воздухообмен в передвижной камере-убежище может осуществляться от сети или батарей баллонов сжатого воздуха, а также через вентиляционную скважину или от регенерационной установки с запасом сжатого воздуха или химически связанного кислорода.

При использовании сжатого воздуха в передвижной камере-убежище, необходимо чтобы в ней постоянно поддерживалось избыточное давление (не

менее 50 Па) для предотвращения проникновения в неё вредных газов (продуктов горения). Так как не исключено заполнение камеры вредными газами при входе в нее людей, перед снятием самоспасателей необходимо продувать камеру сжатым воздухом. Время продувки должно составлять около 5 мин при расходе воздуха 0,5 м<sup>3</sup>/мин на 1 м<sup>3</sup> объёма камеры. Так, например, для камеры-убежища с внутренним объемом 10м<sup>3</sup>, рассчитанной на 10 человек, требуется подача сжатого воздуха 5 м<sup>3</sup>/мин. После продувки камеры расход воздуха должен быть отрегулирован таким образом, чтобы поддерживалось в ней избыточное давление и на одного человека поступало не менее 0,1 м<sup>3</sup>/мин воздуха. При воздухообеспечении от регенерационной установки со сжатым или химически связанным кислородом требуется в любом случае исключить проникновение в камеру-убежище вредных газов, т.е. на входе должен быть оборудован специальный шлюз.

### **9.2.3. Способ и установка для регулирования теплового излучения в забоях подготовительных выработок**

Лучистый теплообмен (инфракрасное излучение) существенно влияет на тепловой баланс в рабочей зоне выработки и самочувствие горнорабочих. Для характеристики теплового излучения горных выработок введено два показателя: приведенная радиационная температура (град) и интегральная излучательная способность горной выработки, (Вт/м<sup>2</sup>) (см. раздел 2 п. 2.7).

Выработки околоствольного двора воздухоподающего ствола (ОДВС) имеют относительно низкую излучательную способность – около 400 Вт/м<sup>2</sup> и низкую радиационную температуру, в связи с чем создаются условия для лучистого (радиационного) охлаждения рабочих в этих выработках.

В магистральных откаточных выработках излучательная способность увеличивается на 100 – 150 Вт/м<sup>2</sup> в направлении от ствола к участковым выработкам. В рабочих забоях излучательная способность достигает 600 Вт/м<sup>2</sup> и более, а радиационная температура на глубоких горизонтах до 35°С и выше, что создает условия для радиационного нагрева.

Высокая излучательная способность участковых горных выработок и особенно призабойной их части обусловлена не только высокой температурой стенок, но и максимальным значением углового коэффициента излучения, поскольку выработки являются замкнутыми излучающими системами.

В Днепропетровском горном институте (ныне НГУ) профессором Дугановым и доцентом Муравейником В.И были разработаны способ и установки радиационного охлаждения в горных выработках.

На шахте 1–2 «Горская» проведены производственные испытания и исследования радиационного кондиционера «Луч» (рис. 9.12. и 9.13.). Кондиционер был выполнен в виде экрана, который перемещался по монорельсу в призабойной части откаточного штрека и охлаждался циркуляционной водой. Источником холода являлся лед в вагонетке–термосе.

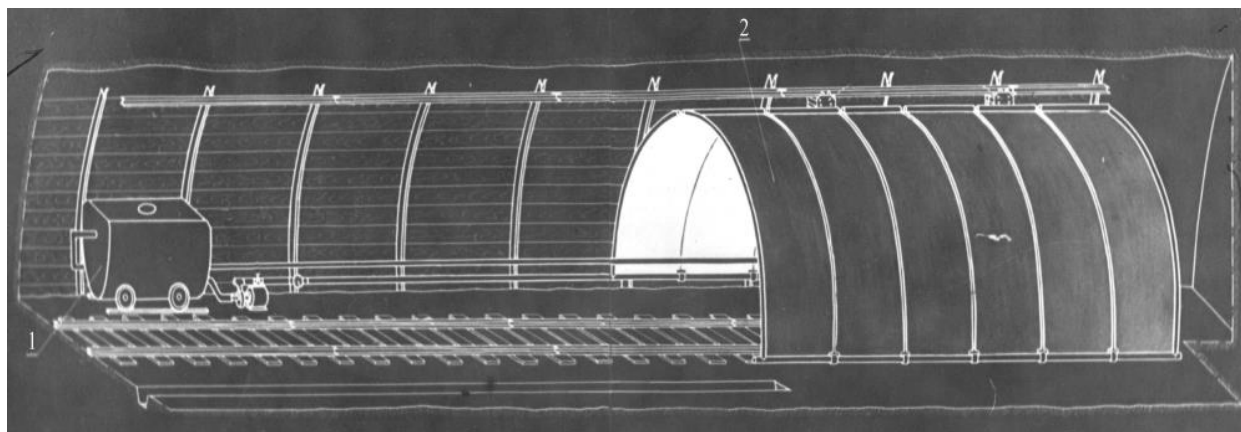


Рисунок 9.12. Принципиальная схема шахтного радиационного кондиционера «Луч»

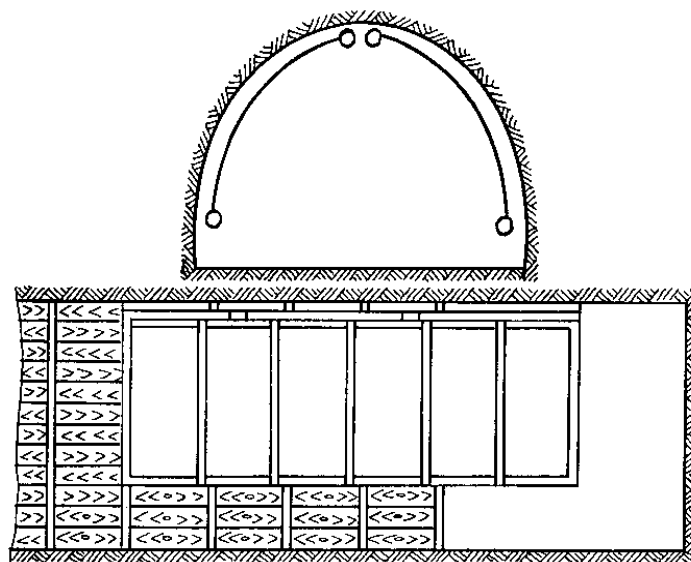


Рисунок 9.13. Схема расположения кондиционера «Луч» в горной выработке

Экспериментальные исследования показали, что радиационный кондиционер снижал излучательную способность призабойного пространства выработки на  $60 \text{ Вт/м}^2$  и снижал радиационную температуру на  $12^\circ\text{C}$  (с  $31,2^\circ\text{C}$  до  $19,2^\circ\text{C}$ ). Радиационный нагрев организма горнорабочих в этих условиях сни-



зился на 100–120 Вт, что резко улучшило их тепловое состояние. Полученный эффект радиационного охлаждения можно сравнить с охлаждающим действием вентиляционной струи, если охладить воздух на 10°С. Экономический эффект от применения кондиционера «Луч» составил 13 тыс.руб/год (в ценах 1972 года) на один подготовительный забой. По мере увеличения глубины разработки месторождений, температуры горных пород и воздуха в призабойной зоне эффективность кондиционера «Луч» будет повышаться.

Таблица 9.9

Техническая характеристика кондиционера «Луч»

Длина экрана равна минимальной длине рабочей призабойной зоны	
Размеры секций экрана, мм	
ширина.....	830
высота.....	2100
толщина.....	36
Высота от головки рельса до экрана по центру выработки, мм.....	2250-2620
Холодоноситель.....	вода, рассол
Расход холода, Вт (ккал/ч).....	1744,5-10467 (1500-9000)
Площадь рабочей поверхности секции, м <sup>2</sup> .....	2,2
Вес секции, кг.....	45
Загромождение сечения выработки,%.....	10-12

Таким образом, нормализация микроклимата в забоях подготовительных выработок с повышенной температурой может быть обеспечена радиационными кондиционерами.

Кроме того, радиационное охлаждение рекомендуется использовать для организации зон отдыха и передвижных устройств тепловой разгрузки (релаксации) горнорабочих вблизи забоев, в которых наблюдаются особо тяжелые тепловые условия.

Создание и внедрение индивидуальных и коллективных средств противотепловой защиты горнорабочих позволит повысить безопасность работ в глубоких шахтах, снизить профессиональные заболевания и предотвратить возникновение тепловых ударов без существенных затрат в сравнении с искусственным охлаждением шахтного воздуха.

**Литература к разделу [1,51,87-97].**

## Вопросы для самостоятельного контроля знаний

1. Назначение средств индивидуальной противотепловой защиты горнорабочих, их краткие технические характеристики.
2. Опишите противотепловую одежду для защиты горнорабочих в глубоких шахтах (охлаждающие жилеты конструкции НИИГД и компании Dräger).
3. Выполните сравнительный анализ противотепловых жилетов ОГЖ (Украина, НИИГД) и CVR 5220 (Германия, компания Dräger).
4. Опишите средства для оказания помощи пострадавшим при перегревании и механических травмах.
5. Назначение и основные параметры пакета химического охлаждающего (ПХО).
6. Приведите технические характеристики охлаждающих элементов ОЭ-2 и ОЭ-3.
7. Существующие средства коллективной противотепловой защиты горнорабочих, их назначение и краткие технические характеристики.
8. Опишите конструкцию и принцип работы установки для защиты горнорабочих от перегревания «Релаксатор» конструкции НГУ.
9. Опишите способ для регулирования теплового излучения в забоях подготовительных выработок.
10. Опишите конструкцию шахтного радиационного кондиционера «Луч», его технические характеристики и преимущества в сравнении с искусственным охлаждением воздуха.

## **Часть VI.**

*Приведены количественная оценка потребностей шахт в тепле в течение года и анализ технологических схем и способов обогрева воздухоподающих стволов в холодные периоды года; опыт и проблемы использования низкопотенциальных природных и вторичных энергетических ресурсов в системах тепло- и холодоснабжения угольных шахт.*

*Рассмотрены средства и способы подогрева воздуха, подаваемого в шахту в зимний период года, конструктивные особенности и требования к шахтным калориферным установкам.*

*Студент на основе изучения материалов раздела и нормативно-правовых документов должен уметь правильно выбрать технологическую схему и способ обогрева воздухоподающего ствола в холодный период года и рассчитать параметры калориферной установки для шахты.*

### **Раздел 10. Способы и средства обогрева воздухоподающих стволов в зимний период года**

Калориферные (воздухонагревательные) установки угольных шахт относятся к установкам, которые недостаточно проработаны как в научном плане, так и в плане их проектирования. В учебных вузах страны специалистов по калориферным установкам практически не готовят. Имеющиеся немногие нормативно-правовые документы и учебные пособия по расчету калориферных установок содержат достаточно много спорных положений, которые ещё не решены. Целью этого раздела учебного пособия является ознакомление студентов, будущих инженеров, проектировщиков и технических работников шахт с основными сведениями по технологическим схемам калориферных установок и параметрам оборудования для калориферных установок и условиям их применения.

#### **10.1. Количественная оценка потребностей шахт в тепле в течение года**

В Правилах безопасности НПАОП 10.0-7.08-93 и руководстве по проектированию вентиляции угольных шахт к воздухонагревательным (калориферным) установкам указывается, что они сооружаются при стволах и штольнях с поступающей струей воздуха и должны обеспечивать поддержание температу-

ры воздуха не ниже плюс 2 °С в 5 м от сопряжения канала установки со стволом (штольной) по ходу движения поступающей струи воздуха.

Воздухонагревательная установка представляет собой совокупность оборудования, устройств, регулирующей и контрольно-измерительной аппаратуры, предназначенных для нагрева поступающего в шахту воздуха.

Воздух, поступающий в осенне-зимне-весенний периоды года в ствол шахты с отрицательной температурой, вызывает обмерзание и обледенение расстрелов, проводников и коммуникаций, расположенных в нем. Ледяные наросты в вертикальных и наклонных стволах могут вызвать сход с рельсов вагонеток и скипов, обрыв канатов, а масса накопившегося льда может срываться в ствол шахты и приводить к авариям.

Практически на всех угольных шахтах Украины применяются калориферные установки, обеспечивающие постоянный подогрев воздуха в холодные периоды года до заданных температур с регулированием их тепловой мощности. Калориферные установки являются одним из основных объектов поверхностного комплекса, обеспечивающих надежную работу шахт в зимних условиях.

В Донецком угольном бассейне распространены калориферные установки, оборудованные нагнетательными вентиляторами. В этих установках часть вентиляционного воздуха нагревается до температуры 50-70°С и нагнетается вентиляторами в ствол, где нагретый воздух смешивается с поступающим через надшахтное здание холодным воздухом.

На примере шахт Центрального района Донбасса можно показать, сколь велики расходы тепловой энергии на подогрев поступающего в шахты воздуха. Расход воздуха, подаваемого в воздухоподающий ствол шахты, колеблется в пределах 300-360 м<sup>3</sup>/с. При минимальной расчетной температуре наружного воздуха до  $\theta_n = -37^\circ\text{C}$  для нагрева воздуха, подаваемого в ствол шахты, расходуется 16240-20720 МВт тепла, что соответствует 40-60 % мощности шахтной котельной и связано с расходом 3,0-4,0 тыс.т угля за отопительный сезон.

Расход тепла в калориферной установке шахты для Центрального района Донбасса с учетом продолжительности периода с отрицательными температурами наружного воздуха приведен в табл. 10.1.

На шахтах Центрального района Донбасса трубопроводы сжатого воздуха, расположенные в воздухоподающих стволах, выделяют от 0,23 до 1,75 МВт тепла, нагревая воздух на 4 – 11°С.

Анализ данных табл.10.1, показывает, что значительную часть времени калориферная установка на шахтах этого района работает при температуре наружного воздуха до  $\theta_0 = -15^\circ\text{C}$ , что соответствует тепловой мощности установки 8,5 МВт.

Таблица 10.1.

Расход тепла на обогрев шахтного ствола средней по расходу воздуха шахты, расположенной в Центральном районе Донбасса

Температура наружного воздуха, °С	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-37
Продолжительность периода, ч	1573	517	286	98	50	12	3	3	1-2
Тепловая мощность, МВт	1	3,5	6	8,5	1	13,6	16,1	18,6	19,6

Тепловые нагрузки котельной установки для одной шахты в течение годового периода приведены в табл. 10.2.

Таблица 10.2.

Годовая потребность шахты, расположенной в Центральном районе Донбасса, в тепловой энергии

Виды потребления тепла	Расход тепла, МВт		Теплоноситель
	зима	лето	
Отопление зданий и сооружений	13,5-15,6	-	Подогретая вода 150-170 °С
Калориферная	13,9-16,1	-	то же
Горячее водоснабжение	0,9-1,0	0,9-1,0	вода 55 °С
Технологические процессы	2-2,4	2-2,4	
Итого	32,4-35,2	3-3,4	
с учетом потерь	38,8-41,9	3,3-3,4	

Из табл. 10.2 следует, что калориферные установки шахт являются наиболее мощными потребителями тепловой энергии. По этой причине вопросы повышения эффективности их работы являются актуальными при решении задач экономии топлива, расходуемого на собственные нужды шахт.

В этой связи становится чрезвычайно важным использование природных и низкопотенциальных энергоресурсов, сопутствующих основным технологическим процессам производства.

## **10.2. Анализ технологических схем и способов обогрева воздухоподающих стволов в холодные периоды года**

Технологическая схема обогрева воздухоподающих стволов, применяемая на большинстве угольных шахт, состоит из следующих основных элементов: угольная или газовая котельная для выработки теплоносителя, калориферная установка для подогрева поступающего в шахту воздуха и тепловые сети для подачи теплоносителя по трубопроводам от котельной до калориферной установки. Основным элементом калориферной установки являются одноходовые или многоходовые металлические воздухонагреватели, количество и компоновка которых зависит от способа регулирования их тепловой производительности – смешивания холодного и подогретого воздуха или путём изменения расхода теплоносителя. В качестве теплоносителя для воздухонагревателей используется вода или насыщенный пар.

Традиционная технологическая схема обогрева стволов обладает рядом существенных недостатков. Наличие многозвеньеовой цепи: котельная – теплотрасса – калориферная установка – предопределяет недостаточную надежность таких схем, так как возникновение аварийной ситуации хотя бы в одном элементе цепи создает угрозу замораживания воды в теплосети и секциях воздухонагревателей и, как следствие, нарушение регламента подогрева воздуха, подаваемого в ствол шахты. Это обуславливает повышенные требования безопасности, предъявляемые к таким технологическим схемам обогрева шахтных стволов. Так, например, для обеспечения бесперебойной подачи теплоносителя на воздухонагреватели обязательным условием является прокладка в тепловых сетях резервного подающего трубопровода, а калориферные установки должны иметь дополнительные средства для защиты теплообменных аппаратов от замерзания в них воды в аварийных ситуациях. Кроме того, для обеспечения технологической надежности предусматривается наличие резервных групп воздухонагревателей, снабженных соответствующей арматурой для оперативного подключения в гидравлическую сеть, а поверхность теплообмена воздухонагревателей необходимо принимать с резервом 10-20 %.

Кроме этих недостатков следует отметить низкий к.п.д. таких схем обогрева стволов, который не превышает 60-65% вследствие многоступенчатой передачи теплоты от котла к воздуху и значительных потерь тепла через тягодутьевые устройства котлов. Такие схемы обладают большой тепловой инерцией и не в состоянии своевременно реагировать на резкие колебания температуры атмосферного воздуха, в результате чего наблюдались случаи обмерзания стволов с тяжелыми последствиями. Необходимо также отметить, что в насто-

ящее время на большинстве шахт оборудование калориферных установок находится в физически изношенном состоянии.

Недостаточная надежность, высокая капиталознергоемкость, длительные сроки строительного-монтажных работ при реализации традиционной технологической схемы обогрева воздухоподающих стволов, вызывают необходимость поиска новых способов обеспечения температурного режима стволов.

Новым направлением в развитии технологии обогрева стволов угольных шахт стало применение в качестве теплоносителя горячего воздуха вместо воды, что исключает размораживание и разрушение секций воздухонагревателей в аварийных ситуациях. Это существенно повысило надежность схем обогрева стволов. К новым техническим решениям можно отнести способ, приведенный на рис. 10.1.

Горячие дымовые газы, образующиеся при сжигании твердого топлива в топке калорифера, омывают трубки теплообменника, по которым воздух за счет общешахтной депрессии поступает на проветривание ствола.

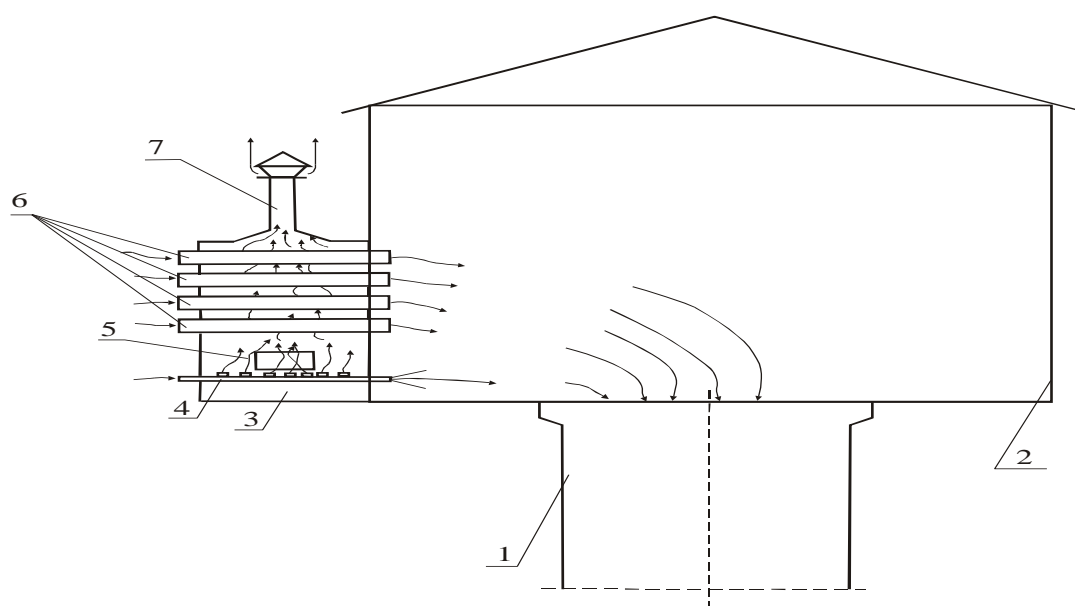


Рисунок 10.1. Технологическая схема обогрева воздухоподающего ствола с использованием в качестве теплоносителя горячего воздуха: 1 – ствол; 2 – надшахтное здание; 3 – калорифер; 4 – колосниковая решетка; 5 – угольная топка; 6 – трубки для подачи нагреваемого воздуха; 7 – дымовая труба.

При очевидных преимуществах этой схемы обогрева, а именно: отсутствие промежуточного теплоносителя и связанных с ним тепловых сетей, можно отметить и ряд недостатков. К ним относятся: опасность попадания продуктов

сгорания в нагреваемый воздух в случае механического износа трубок нижнего ряда теплообменника; опасность попадания части дымовых газов, поступающих в атмосферу из дымовой трубы в воздух, который поступает на проветривание шахты. Для предотвращения последнего явления требуется внедрение сложных фильтровальных и очистительных сооружений. Кроме того, в случае внезапного опрокидывания воздушной струи в стволе вследствие газодинамического явления существует вероятность возгорания (взрыва) шахтного метана от раскаленных трубок теплообменника.

Недостатки этого способа предопределили разработку нового способа обогрева стволов, в котором топка и ствол разнесены на некоторое расстояние друг от друга, а теплообменник для нагрева воздуха, подаваемого на проветривание, вынесен за пределы топки. Принципиальная технологическая схема этого способа приведена на рис.10.2.

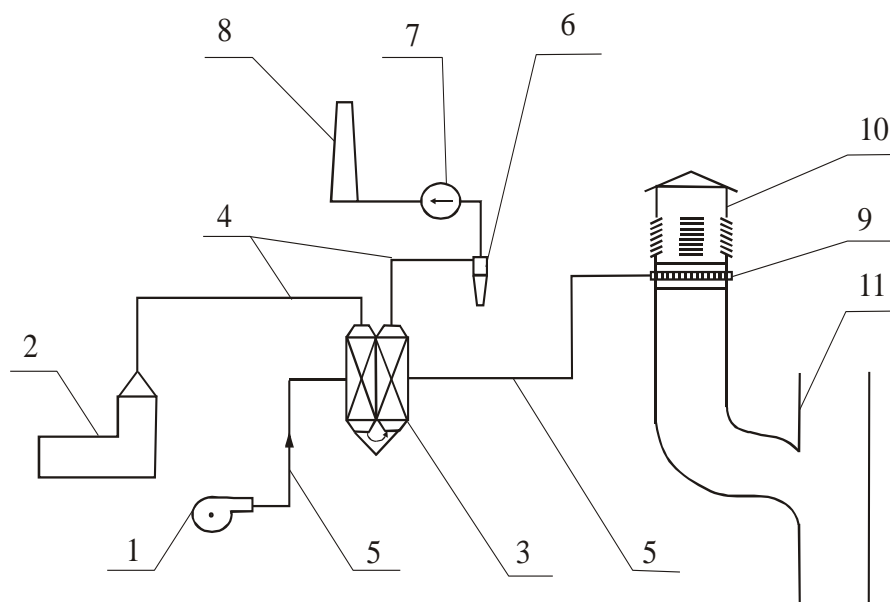


Рисунок 10.2. Технологическая схема обогрева ствола по принципу «горячий воздух»: 1 – вентилятор горячего дутья; 2 – топка; 3 – теплообменник; 4 – газоходы; 5 – воздухопроводы; 6 – золоуловитель; 7 – дымосос; 8 – дымовая труба; 9 – камера смешения; 10 – воздухозаборный тамбур; 11 – ствол.

Новый ресурсосберегающий и экологически безопасный способ обогрева стволов на основе процесса газификации представлен на рис. 10.3. Этот способ не требует строительства котельных и теплотрасс и основан на сжигании в ДВС альтернативного топлива, выработка которого осуществляется в газогене-



раторных установках. Холодный атмосферный воздух нагревают в радиаторе ДВС и вентилятором подают в теплообменник, где происходит его окончательное нагревание за счет тепла выхлопных газов ДВС. После смешивания горячего воздуха с холодным отепленный воздух подают на проветривание в ствол. Сырьем для газогенераторов являются отходы органического происхождения, к которым относятся, например, отходы углеобогащения, переработки древесины, сельскохозяйственные отходы, резинотехнические изделия и др. Предложенный способ, кроме снижения капитальных и эксплуатационных затрат на поддержание требуемой температуры воздуха в стволах, дополнительно обеспечивает круглогодичную выработку электроэнергии, которая может пойти на покрытие собственных нужд шахт и улучшение экологической обстановки в угледобывающих регионах за счет утилизации отходов и сокращения вредных выбросов в атмосферу. Однако внедрение этого способа на действующих шахтах сдерживается недостаточным уровнем проектных проработок, а также отсутствием серийно выпускаемого промышленного оборудования для газификации.

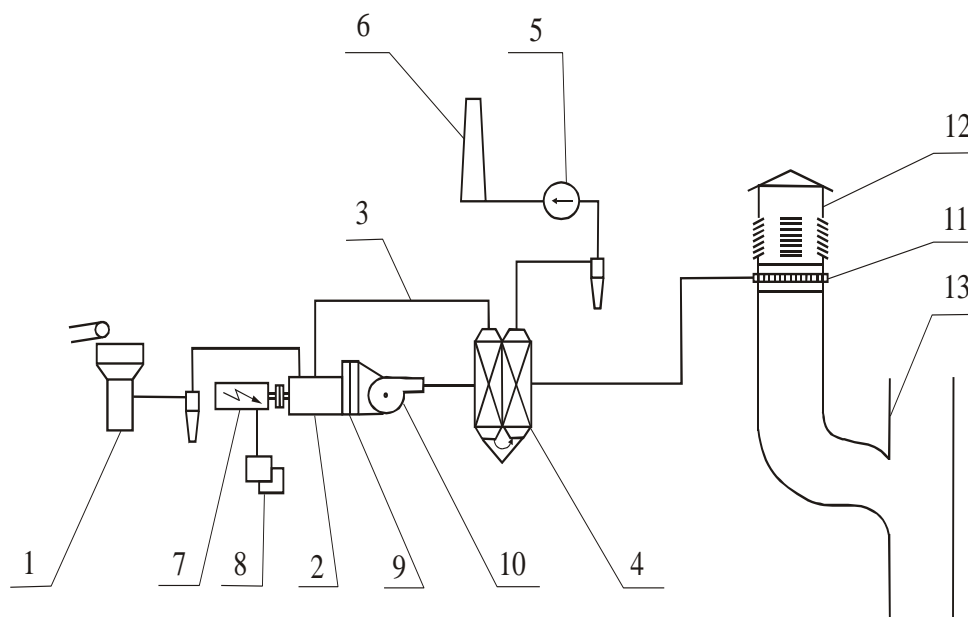


Рисунок 10.3. Технологическая схема обогрева ствола на основе газификации: 1 - газогенератор; 2 – двигатель внутреннего сгорания; 3 – выхлопной трубопровод; 4 – теплообменник; 5 – дымосос; 6 – дымовая труба; 7 – электрогенератор; 8 – потребитель электроэнергии; 9 – радиатор ДВС; 10 – вентилятор; 11 – камера смешения; 12 – воздухозаборный тамбур; 13 – ствол.

Новым направлением в совершенствовании технологии обогрева стволов угольных шахт стало использование низкопотенциального тепла холодильных и (или) компрессорных установок в системах тепло- и холодоснабжения шахт.

Традиционная технологическая схема обогрева стволов дополнительно оборудуется теплообменником контактного типа, в котором происходит нагрев воздуха, поступающего на проветривание в ствол, за счет охлаждения воды, поступающей от компрессорных и (или) холодильных установок (рис. 10.4).

В случае применения шахтных холодильных установок для обогрева стволов используется тепло промежуточного хладоносителя или тепло конденсации стационарных холодильных машин, расположенных на поверхности шахты, а в случае применения шахтных компрессорных установок – тепло сжатия воздуха, подаваемого на технологические нужды. Диапазон изменения температур низко потенциальных ресурсов составляет 10 – 40 °С. Применение такой технологической схемы обогрева шахтных стволов позволяет добиться не только повышения безопасности при их эксплуатации, но и существенной экономии топливно-энергетических ресурсов.

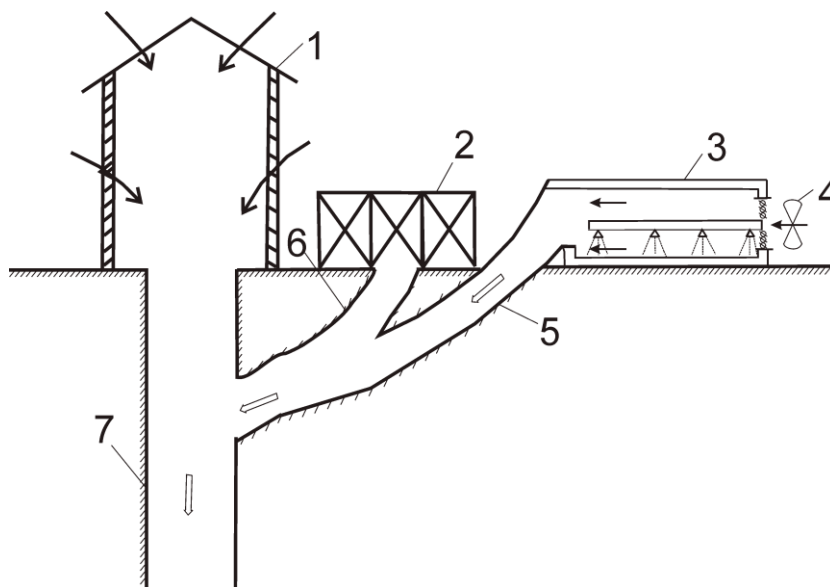


Рисунок 10.4. Технологическая схема обогрева ствола с использованием низкопотенциального тепла: 1 – надшахтное здание; 2 – калориферная установка; 3 – контактный теплообменник; 4 – вентилятор; 5 – канал подачи подогретого воздуха; 6 – канал подачи воздуха от калориферной установки; 7 – ствол.

Подобная технологическая схема была применена для обогрева ствола №4 шахты им. Дзержинского ПО «Дзержинскуголь». При этом было использовано низкопотенциальное тепло компрессорных установок, которое позволяло обогревать ствол при температуре атмосферного воздуха до -7 °С, а тепловая мощность контактного теплообменника составила 2185 кВт.

Наряду с явными преимуществами, присущими данной технологической схеме обогрева стволов, следует признать и ограниченную область её применения. Это связано с тем, что все стационарные холодильные установки с поверхностным размещением холодильных машин в настоящее время не работают – демонтированы.

Принципиальная схема принципиально нового способа обогрева воздухоподающих стволов шахт приведена на рис. 10.5. Способ основан на применении калориферов, основным элементом которых являются воздухонагреватели смесительного типа, работающие на газообразном топливе. Этот способ не требует строительства котельных и теплотрасс, а также применения металлоемких воздухонагревателей (теплообменников), что значительно снижает капитальные и эксплуатационные затраты, сокращает сроки строительства и ввода отопительных систем в эксплуатацию. Холодный воздух (направление «а» на рис. 10.5) в камере сгорания смешивается с продуктами горения газообразного топлива. Полученный таким образом горячий воздух (направление б) поступает в камеру смешения с холодным воздухом (направление г). Нагретый воздух (направление в) поступает на проветривание в ствол. Во всех горизонтальных выработках, примыкающих к стволу, устанавливаются датчики метана. При достижении предельно-допустимой концентрации метана в выработках датчик подает электрический сигнал на пульт управления, который отключает электрический розжиг газовых горелок, а также приводит в действие электромагнитное запорное устройство, обеспечивающее прекращение подачи топлива. Процесс горения прекращается. Этим обеспечивается безопасность применения воздухонагревателей смесительного типа.

Аналогичный способ обогрева воздухоподающего ствола реализован на шахте «Глубокая» шахтоуправления «Донбасс». В качестве теплогенераторов использованы воздухонагреватели ВГС-1 смесительного типа, а в качестве топлива – природный газ. Для обеспечения безопасности эксплуатации и экономии газа при колебаниях температуры наружного воздуха теплогенераторы оборудованы дополнительными функциями автоматической защиты и управления режимами их работы.

Опыт эксплуатации калориферной установки на шахте «Глубокая» показал высокую экономическую эффективность способа. При строительстве и эксплуатации установки капитальные затраты были снижены в 3-5 раз, эксплуатационные затраты – в 8-10 раз, срок ввода в действие составил 8 месяцев, а к.п.д. отопительной системы возрос до 100%, поскольку вся теплота сгорания газа передавалась нагреваемому воздуху. При этом численность обслуживающего персонала сократилась с 18 до 3 человек в сутки. Кроме того, исключается по-

требление воды на выработку тепловой энергии. Достигнута также дополнительная экономия топливных ресурсов за счет автоматического регулирования подачи природного газа при колебаниях температуры атмосферного воздуха.

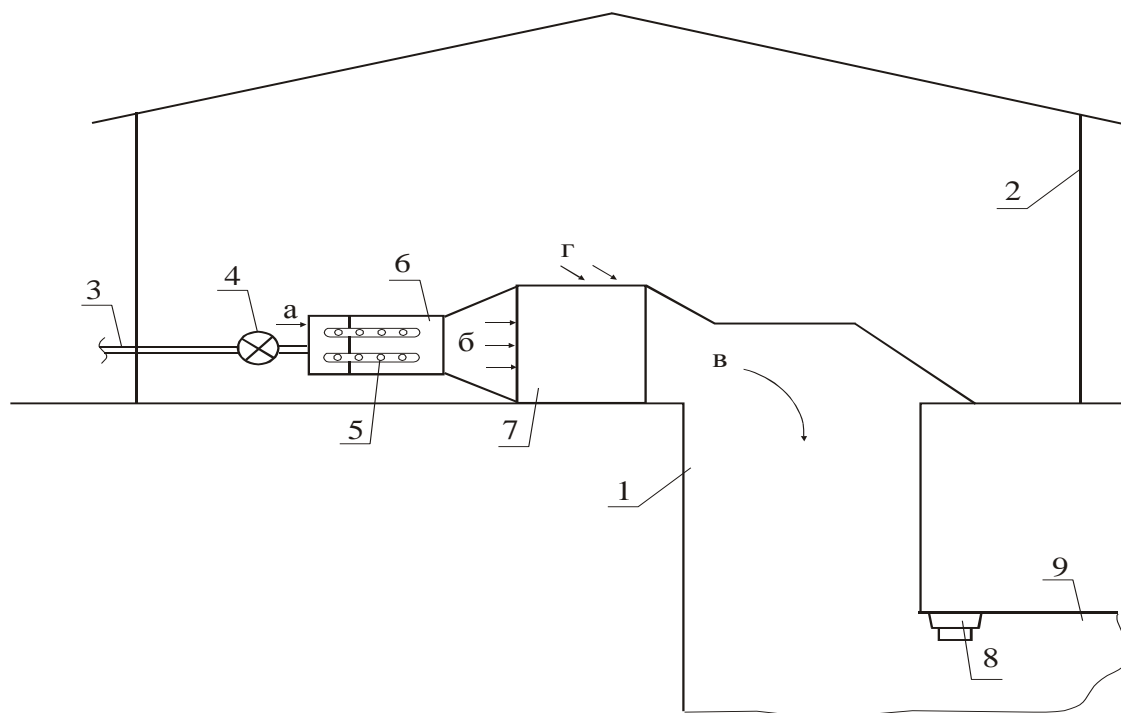


Рисунок 10.5. – Технологическая схема обогрева ствола воздухонагревателями смешительного типа: 1 – ствол; 2 – надшахтное здание; 3 – газопровод; 4 – электромагнитное запорное устройство; 5 – газовые горелки; 6 – камера сгорания природного газа; 7 – камера смешения горячего и холодного воздуха; 8 – датчик метана; 9 – подземная выработка.

Несмотря на положительный опыт эксплуатации калориферной установки на шахте «Глубокая», можно отметить и ряд недостатков этого способа обогрева стволов. К ним можно отнести поступление вредных продуктов сгорания природного газа ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  и диоксидов азота в пересчете на  $\text{NO}_2$ ) в шахтную атмосферу. Не исключается также опасность превышения ПДК по вредным газам в воздухе, поступающем на проветривание в ствол, в случае нарушения регламентного режима горения или выхода из строя горелок и отказа приборов автоматического контроля и защиты.

Сдерживающим фактором для широкого применения воздухонагревателей смешительного типа является то, что органами Гостехпромнадзора они отнесены к огневым калориферам, применение которых в угольных шахтах запрещено Правилами безопасности. Кроме того, отсутствует нормативно-правовая ба-

за, регламентирующая порядок проектирования, сооружения и эксплуатации систем обогрева воздухоподающих стволов огневыми калориферами.

Запрещение применения огневых калориферов для обогрева воздухоподающих стволов угольных шахт объясняется как опасностью возникновения пожара, так и возможностью попадания ядовитых продуктов горения в воздух, поступающий в шахту. В первых публикациях под огневым калорифером для обогрева шахтных стволов понимались устройства, в которых, как правило, в едином блоке размещались угольная топка и бесконтактный трубчатый теплообменник. Горячие дымовые газы омывали трубки теплообменника и подогревали воздух до температуры 60 – 100°С, который затем смешивался с холодным воздухом в пропорции, обеспечивающей температуру смеси на входе в ствол не менее +2 °С. При такой конструкции огневых калориферов действительно не исключалась возможность разрушения трубок теплообменника и, как следствие, попадание ядовитых продуктов горения в вентиляционный воздух.

Повышение надежности систем обогрева воздухоподающих стволов при одновременном снижении капитальных затрат на их сооружение и энергопотребления при эксплуатации, улучшение экологической обстановки в угольных районах являются важным направлением в обеспечении безопасности работ в угольной отрасли Украины. Решение этой проблемы возможно путем отказа от промежуточного теплоносителя – воды и применения безопасных типов теплогенераторов, использующих газообразное топливо.

В целях экономии топливных ресурсов вместо природного газа следует использовать метан из шахтной дегазационной сети. Для этого необходимо создать условия, обеспечивающие безопасность утилизации метана при его использовании в качестве топлива для теплогенераторов.

Рассмотренные выше принципиальные недостатки способа обогрева воздухоподающих стволов угольных шахт воздухонагревателями смесительного типа обусловили необходимость разработки нового способа обогрева, обеспечивающего повышение безопасности и надежности эксплуатации стволов в зимний период года. Для этого воздухонагреватели смесительного типа следует заменить на более безопасный тип теплогенераторов, а также изменить схему подачи нагретого воздуха в стволы.

В основу разработки нового способа в МакНИИ была поставлена задача применения в качестве теплоносителя воздуха вместо воды и предотвращения поступления вредных продуктов сгорания газа в воздух, поступающий по стволу в шахту.

Решение этой задачи получено путем совершенствования устройства для обогрева воздухоподающих стволов, представленного на рис. 10.4. В технологическую схему калориферной установки смесительного типа были внесены

следующие конструктивные изменения (рис.10.6). В корпус калорифера помещена герметичная перегородка 2, разделяющая калорифер на две части: камеру нагрева атмосферного воздуха 3 и теплообменную камеру 4. Герметичная перегородка пронизана термосифонными трубками 5, в которых находится промежуточный теплоноситель. За счет кипения и конденсации промежуточного теплоносителя осуществляется процесс переноса теплоты от продуктов сгорания газообразного топлива к воздуху, подаваемому на проветривание в ствол. Калорифер вынесен за пределы надшахтного здания и нагретый атмосферный воздух поступает в ствол 15 по каналу горячего воздуха 14, что снижает вероятность попадания дымовых газов, поступающих в атмосферу из дымовой трубы, в воздух, который поступает в шахту. Вентилятор для подачи атмосферного воздуха 11 создает избыточное давление в камере нагрева воздуха, а вентилятор для удаления продуктов сгорания 12 создает разрежение в теплообменной камере.

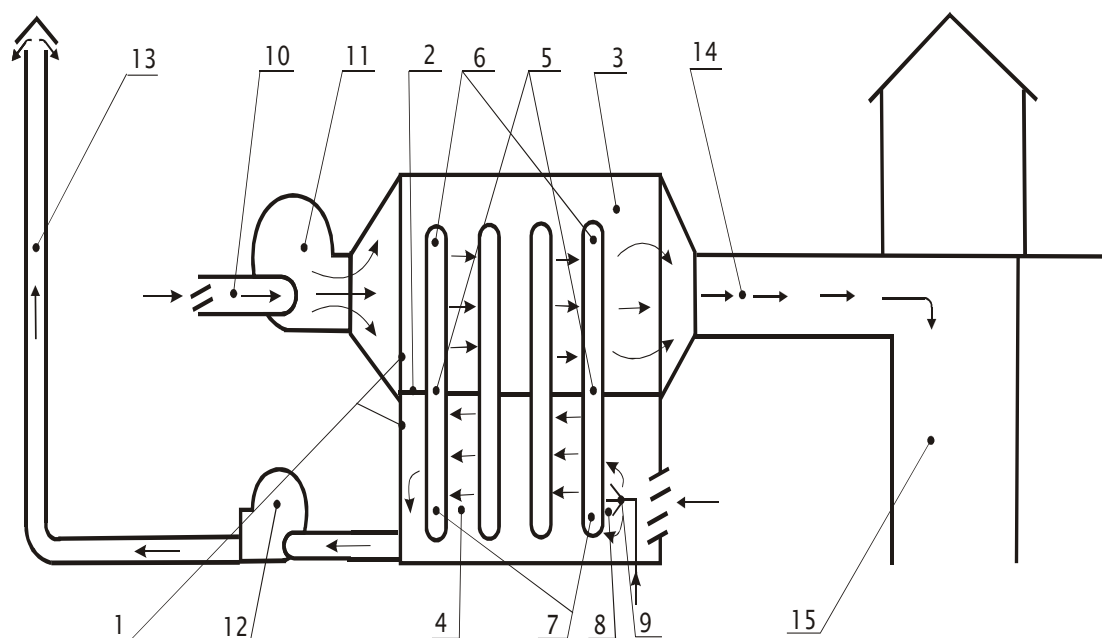


Рисунок 10.6. Способ обогрева воздухоподающего ствола: 1 – калорифер; 2 – герметичная перегородка; 3 – камера нагрева атмосферного воздуха; 4 – теплообменная камера; 5 – термосифонные трубки; 6 – конденсаторная часть термосифонных трубок; 7 – испарительная часть термосифонных трубок; 8 – камера сгорания газообразного топлива; 9 – газовая горелка; 10 – воздухопровод для подачи атмосферного воздуха; 11 – вентилятор для подачи атмосферного воздуха; 12 – вентилятор для удаления в атмосферу продуктов сгорания; 13 – дымовая труба; 14 – канал горячего воздуха; 15 – ствол.

За счет этого исключается попадание продуктов сгорания газообразного топлива в воздух, подаваемый на проветривание в ствол в случае механического нарушения (износа) герметичной перегородки 2 или термосифонных трубок 5. Указанные конструктивные изменения отличают предложенный тип калорифера от калорифера на базе воздухонагревателей смесительного типа ВГС-1.

Анализ технических характеристик и конструкций газовых теплогенераторов, выпускаемых в настоящее время отечественной промышленностью, показал, что в калориферной установке для обогрева воздухоподающих стволов угольных шахт по своим параметрам могут быть применены теплогенераторы типа «АТОН», используемые для обогрева промышленных, сельскохозяйственных и бытовых помещений в системах приточной вентиляции, а также применяемые для сушки и нагрева сырья, материалов и готовой продукции.

Принципиальная схема теплогенератора типа «АТОН» приведена на рис.10.7. Теплообменник 1 представляет собой металлический короб, состоящий из двух отдельных каналов, пронизанных термосифонными трубками 11. По одному каналу проходят продукты сгорания, по другому - нагреваемый воздух. Камера сгорания 2 образована последовательно набранными контурными термосифонами 11, за счет которых обеспечивается охлаждение топочного пространства и снижение температуры продуктов сгорания, поступающих в теплообменник. Общая теплообменная поверхность элементов камеры сгорания и теплообменника обеспечивает высокую степень охлаждения продуктов сгорания, высокий к.п.д. теплогенератора (до 95%). Дымосос 6 предназначен для выброса продуктов сгорания в атмосферу и создания нормального разряжения в камере сгорания, вентилятор 7 – для нагнетания холодного воздуха в теплогенератор.

Запуск теплогенератора, управление его мощностью и режимами работы осуществляется автоматически. Для повышения безопасности эксплуатации генератор оборудован системой автоматики, которая предусматривает отключение подачи газа с подачей световой и звуковой сигнализации в следующих случаях: погасания контролируемого пламени; уменьшения разряжения в камере сгорания ниже установленного; изменения давления газа на входе в генератор больше допустимых пределов; аварии двигателей вентилятора и дымососа; повышения температуры продуктов сгорания на выходе из генератора выше установленной; неисправностей термодатчиков; исчезновения напряжения в цепях электропитания.

Мощность теплогенераторов «АТОН» составляет от 750 кВт до 2,5 МВт, генератор работает при давлении газа от 4,5 до 20 кПа при минимальном его значении 2,5 кПа. Изготовителем генераторов является ЗАО «Промгазппарат» (г. Фастов). Основные технические данные генераторов приведены в табл. 10.3.

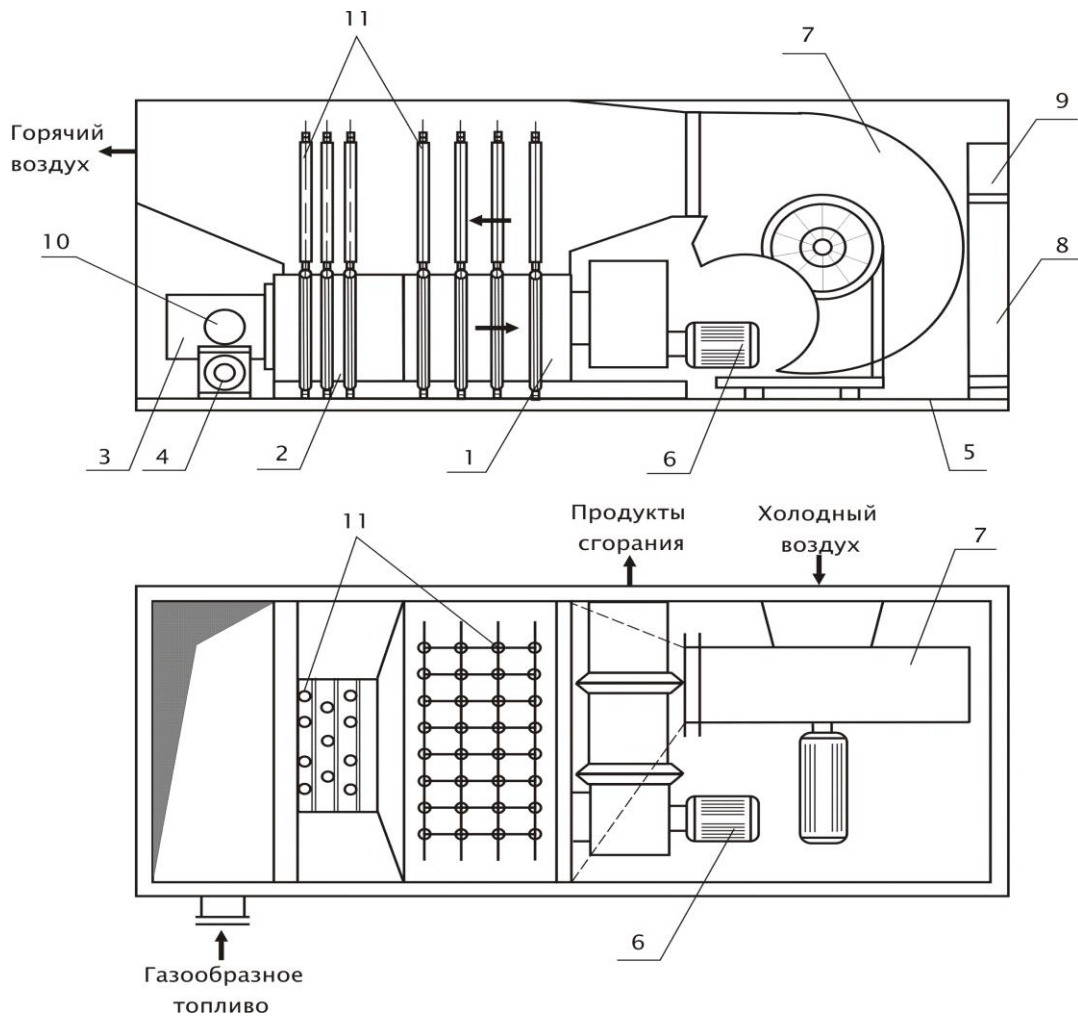


Рисунок 10.7. Теплогенератор «АТОН»: 1 – теплообменник; 2 – камера сгорания;  
 3 – блок горелок; 4 – автоматика управления; 5 – каркас; 6 – дымосос;  
 7 – вентилятор; 8 – стойка управления; 9 – блок управления; 10 - электроконтактный манометр; 11 - термосифонные трубки.

Таблица 10.3

Основные технические данные теплогенераторов «АТОН»

Наименование параметра	Тип теплогенератора	
	АТОН-750	АТОН-2500
Номинальная тепловая мощность, МВт	0,75	2,5
Расход нагреваемого воздуха, м <sup>3</sup> /ч	до 25000	до 90000
Номинальный расход природного газа, м <sup>3</sup> /ч, не более	80	725
Величина нагрева воздуха, °С	до 100	до 90
Габариты (длина × ширина × высота), мм	4200×1850×1610	4200×2400×2450



Удобное компоновочное исполнение, широкий диапазон тепловой мощности и достаточный набор защитных функций генератора «АТОН» позволили адаптировать его в технологическую схему обогрева воздухоподающих стволов угольных шахт. С использованием теплогенераторов этого типа для угольных шахт Украины разработана принципиально новая схема компоновки калориферной установки, которая приведена на рис. 10.8.

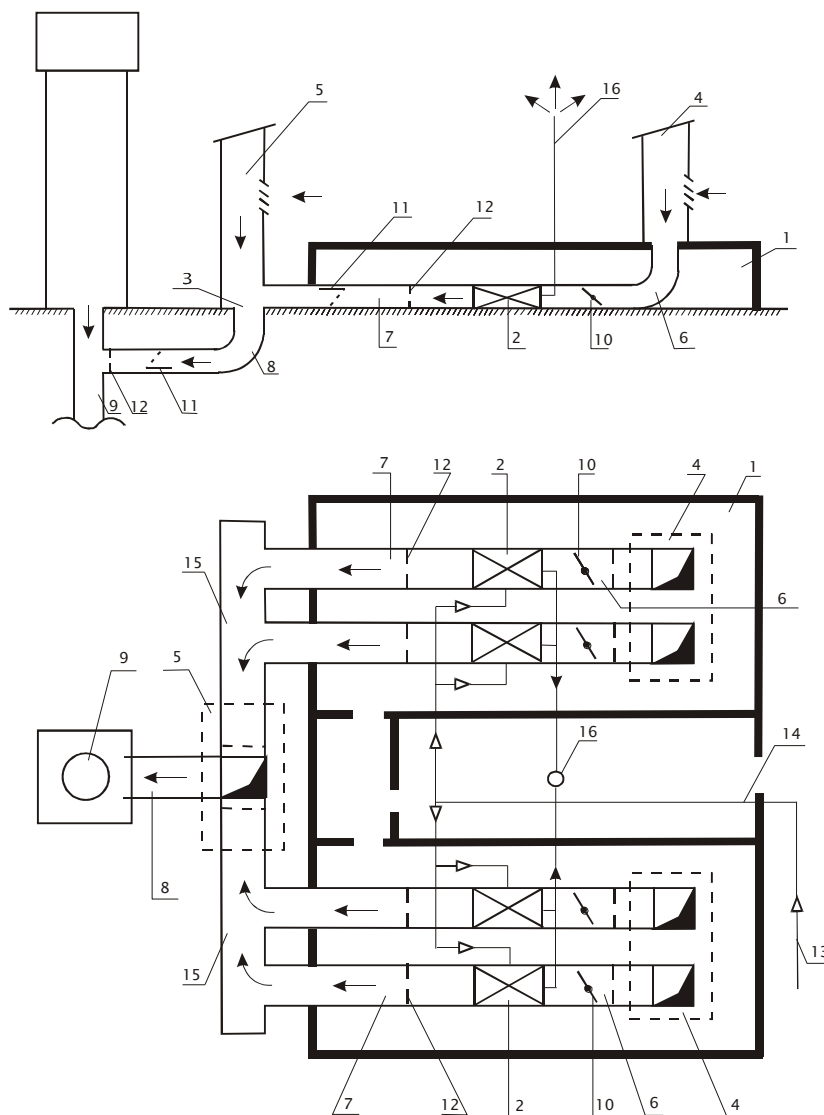


Рисунок 10.8. Схема компоновки калориферной установки для угольных шахт теплогенераторами «АТОН»: 1 – здание калориферной установки; 2 – теплогенератор; 3 – пункт смешивания горячего и атмосферного воздуха; 4 – воздухозаборная камера калориферов; 5 – воздухозаборная камера пункта смешивания; 6 – канал подачи атмосферного воздуха; 7 – канал подачи горячего воздуха; 8 – канал подачи теплого воздуха; 9 – ствол; 10 – заслонка для регулирования расхода воздуха; 11 – противопожарная лядя; 12 – защитные решетки; 13 – магистральный газопровод; 14 – газопровод калориферной установки; 15 – канал горячего воздуха; 16 – труба для выброса продуктов сгорания в атмосферу

Атмосферный воздух через воздухозаборные камеры 4 по каналам 6 поступает к теплогенераторам 2. После прохождения через теплогенераторы воздух, нагретый до температуры  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , по каналам 7 поступает в общий канал горячего воздуха 15. Для разбавления горячего воздуха до заданной температуры предусмотрена воздухозаборная камера 5 пункта смешивания 3, после которого теплый воздух с температурой не ниже  $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$  по каналу 8 поступает в ствол 9 для проветривания шахты. Газообразное топливо для теплогенераторов поступает по газопроводу 14, а продукты сгорания выводятся в атмосферу по трубе 16. Расход воздуха через теплогенераторы регулируется заслонками 10.

Необходимая температура воздуха в стволе обеспечивается одним или группой одновременно работающих калориферов в зависимости от температуры атмосферного воздуха. Калориферная установка оборудуется средствами автоматизации и контроля технологических параметров системы обогрева ствола, а также средствами автоматической защиты от работы в опасных режимах. По такому принципу можно компоновать калориферные установки различной тепловой мощности для стволов с любым расходом воздуха.

Внедрение в практику обогрева воздухоподающих стволов теплогенераторов, использующих в качестве топлива шахтный дегазационный метан, требует разработки технологического цикла от подготовки и подачи топливной смеси к калориферам до разработки дополнительных требований безопасности, учитывающих особенности этих систем, требования к системе пожаротушения, противопожарные требования к оборудованию калориферной установки, требования по безопасной эксплуатации системы.

### **10.3. Опыт и проблемы использования низкопотенциальных природных и вторичных энергетических ресурсов в системах тепло- и холодоснабжения угольных шахт**

Естественный холод атмосферного воздуха успешно используется в системах кондиционирования воздуха глубоких шахт. В зимний период в качестве промежуточного холодоносителя вместо рассола используется вода. Охлаждение ее производится в градирне, где обычно в летний период охлаждается конденсаторная вода компрессора. Это позволяет в зимний период осуществлять подачу промежуточного холодоносителя непосредственно в теплообменник высокого давления, минуя холодильный агрегат, который в этот период не работает.

Для оценки эффективности работы установки кондиционирования воздуха на шахте в зимний период года необходимо ответить на вопрос, обеспечивает ли она нормализацию тепловых условий в выработках выемочных участков и тупиковых подготовительных забоях шахты. Для этого нужно определить характеристики градирни, как источника холода.

В ИГТМ АН Украины на основе общепринятой методики проектирования водоохлаждающих устройств разработана математическая модель типовой пленочной вентиляторной градирни, используемой для отвода тепла конденсации в установках кондиционирования воздуха. Вариантные расчеты позволили определить термодинамические параметры градирни: зависимость холодильной мощности градирни от конечной температуры охлаждаемой воды, расхода и начальной температуры воды, расхода воздуха и атмосферных условий (температуры воздуха на поверхности шахты). Предложенная методика и её программное обеспечение позволили определять холодильную мощность градирни при различных параметрах атмосферного воздуха.

Определенный опыт использования тепла исходящей струи воздуха для нагрева поступающего в шахту воздуха получен на шахте им. В.М. Бажанова ГП «Макеевуголь», где в течение четырех холодных месяцев эксплуатировалась установка, состоящая из теплообменника (конденсатора), в который направлялся исходящий из шахты теплый воздух для нагрева разбрызгиваемой в градирне воды. Подогретая вода подавалась в контактный теплообменник (испаритель), в котором нагревался поступающий в шахту наружный воздух. Теплообменники размещались у воздухоподающего и вентиляционного стволов. Охлажденная вода насосом возвращалась в конденсатор для подогрева. Экономия тепла в течение четырех месяцев составила 1465 Г/кал. Работа выполнялась Макеевским инженерно-строительным институтом.

Способ отвода тепла конденсации холодильных машин исходящей струей воздуха на вентиляционных горизонтах шахт при работе стационарных и передвижных холодильных установок применялся на ряде глубоких шахт Донбасса в 90-х годах 20 столетия. Проектными организациями угольной отрасли был разработан ряд стандартных теплотехнических решений для охлаждения оборотной конденсаторной воды холодильных машин, что позволило повысить эффективность использования установок в системах регулирования теплового режима шахт.

Годовой ресурс этого источника холода применительно к находившимся в эксплуатации на шахтах Донбасса установкам кондиционирования воздуха оценивался в пределах  $(3\div 3,5)\cdot 10^6$  кВт.

#### **10.4. Средства и способы подогрева воздуха, подаваемого в шахту в зимний период года**

Для нагрева воздуха, поступающего по воздухоподающим стволам, на шахтах Украины находятся в эксплуатации более 1600 калориферных устано-

вок, на которых задействовано около 20 тыс. калориферов. Широкое применение (свыше 70% общего количества) получили стальные пластинчатые калориферы типа КВБ, КВС и ВНВ-113 со стальными трубными пучками, поперечное ребрение которых содержит набор стальных пластин или образуется путем накатки из алюминиевой трубы. Использование в таких калориферах в качестве основного материала неустойчивой к коррозии углеродистой стали приводит к малому сроку их эксплуатации (2 – 3 года). В этой связи ежегодно подлежит замене около 3 тыс. калориферов.

Основным элементом калориферной установки любого типа является теплообменный аппарат, называемый калорифером. По типу теплоносителя калориферные установки могут быть водяными, паровыми и электрическими.

В настоящее время в Украине ООО «Кременской завод «Ритм» производит все типоразмеры калориферов марок КВБ, КВС, ВНВ, ВВП, КП-СК. Калориферы проходят ежегодные государственные испытания и рекомендованы к применению в вентиляционных системах горных предприятий. Технические характеристики этих калориферов приведены в таблицах приложения Ж.

С 1997 г. на шахтах «им. Абакумова» ДХК Донуголь и «Лидиевка» ПО Донецкуголь эксплуатируются шахтные алюминиевые калориферы КТР-А.

Калорифер состоит из секционных воздухонагревателей, обогреваемых водой или паром, изготовленных на основе алюминиевых сплавов.

Таблица 10.4.

Технические характеристики алюминиевого калорифера КТР-А

Наименование параметра		Числовое значение
1	2	3
1.	Теплопроизводительность, Мккал/ч (кВт), при:	350 (407)
1.1.	скорости воздуха, в живом сечении, м/с	8,0
1.2.	температуре воздуха на входе, °С	-36
1.3.	температуре воздуха на выходе, °С	+2
1.4.	скорости теплоносителя (воды), м/с	0,6
1.5.	температуре теплоносителя на входе, °С	+90
2.	Площадь поверхности нагрева, м <sup>2</sup>	44
3.	Аэродинамическое сопротивление, Па	123,6
4.	Гидравлическое сопротивление, Па	962
5.	Живое сечение для прохода воздуха, м <sup>2</sup>	0,7
6.	Живое сечение для прохода теплоносителя, м <sup>2</sup>	0,01

Продолжение таблицы 10.4.

1	2	3
7.	Диаметр присоединительного патрубка, мм	75
8.	Габаритные размеры, мм	
8.1	ширина	1070
8.2	высота	1760
8.3	глубина	120
9.	Конструктивные параметры трубного пучка:	
9.1	диаметр наружный, мм	16
9.2	диаметр внутренний, мм	13
9.3	высота ребра, мм	350 (407)
9.4	шаг ребра, мм	8,0
9.5	число рядов, штук	-36
9.6	общее число труб, штук	+2
9.7	материал	0,6

В состав калорифера, имеющего разборную конструкцию, входят: рама (каркас), две трубные доски, компактный набор элементов (трубный пучок), входной и выходной коллекторы теплоносителя, входной и выходной (по теплоносителю) патрубки.

Алюминиевый калорифер имеет меньший вес (160 кг) и больший срок службы по сравнению со стальными аналогами (5 лет). Технические характеристики калорифера приведены в табл.10.4, а его вид – на рис.10.9.

Благодаря более высокой теплопроводности алюминия, производительность калориферов КТР-А в 2,0 - 2,5 раза больше, чем у стальных калориферов. Установка, оснащенная калориферами КТР-А, позволяет обеспечить необходимую их производительность при температуре теплоносителя (воды) не ниже 80 °С.

Наибольшее распространение получили водяные калориферные установки, что обусловлено меньшей сложностью конструкции устройств и технологии получения горячей воды. В учебном пособии Ивановского И.Г. приведены сведения по проектированию калориферных установок этого типа.

Электрические калориферные установки применяются на шахтах, расположенных в северных районах, где применение воды в холодное время года затруднено в связи с очень низкими температурами воздуха.

Существуют две основные схемы подогрева воздуха, подаваемого в шахту:

– До расчётной температуры подогревается весь подаваемый воздух, степень подогрева регулируется количеством групп калориферов и параметрами (температура и количество) теплоносителя в калориферах. Конструкция калориферных установок, работающих по этой схеме, приведена на рис.10.10.



Рисунок 10.9. Расположение алюминиевого калорифера КТР-А в выработке

– Заданная температура подаваемого в шахту воздуха получается путём смешивания воздуха, нагретого калориферами до расчётной, с холодным воздухом в специальной камере установки (камере смешивания). Регулирование температуры смеси осуществляется с помощью изменения количеств горячего и холодного воздуха регулирующими устройствами (регулирующими клапанами). Конструкция калориферных установок, работающих по этой схеме, приведена на рис.10.11.

Калориферные установки могут быть безвентиляторными или работать в комплексе с вентилятором.

*Безвентиляторная* установка предполагает движение воздуха через систему калорифера за счет депрессии главного вентилятора, находящегося на выдающем стволе и работающего по всасывающему способу проветривания шахты.

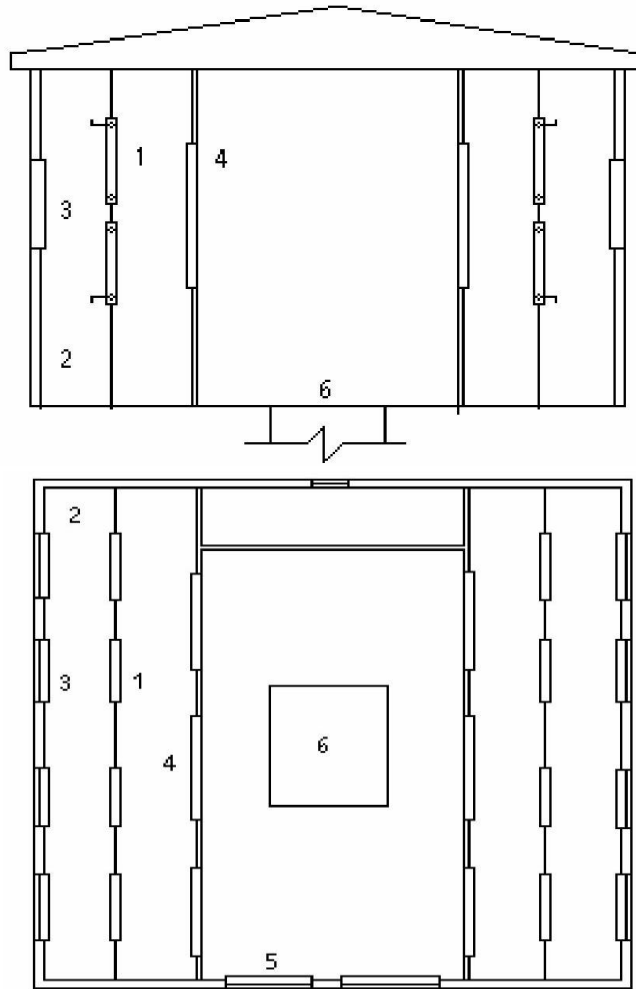


Рисунок 10.10. Схема калориферной установки с регулированием температуры путем подаваемого воздуха параметрами теплоносителя: 1 – группы калориферов; 2 – секции калориферов; 3 – проемы для прохода холодного воздуха; 4 – проемы для теплого воздуха; 5 – проемы для летней подачи воздуха; 6 – вентиляционный канал

*Вентиляторные* калориферные установки могут работать в комплексе со специальным калориферным вентилятором, обеспечивающим движение нагретого воздуха через систему устройств установки или в комплексе с главным вентилятором, работающим по нагнетательному способу проветривания шахты. В первом случае главный и калориферный вентиляторы должны быть настроены на такую работу, когда давление в точке смешивания горячей и холодной струй, создаваемое этими вентиляторами, одинаково. Во втором случае главный вентилятор устанавливается после калориферной установки по движению струи воздуха и работает с подогретым воздухом.

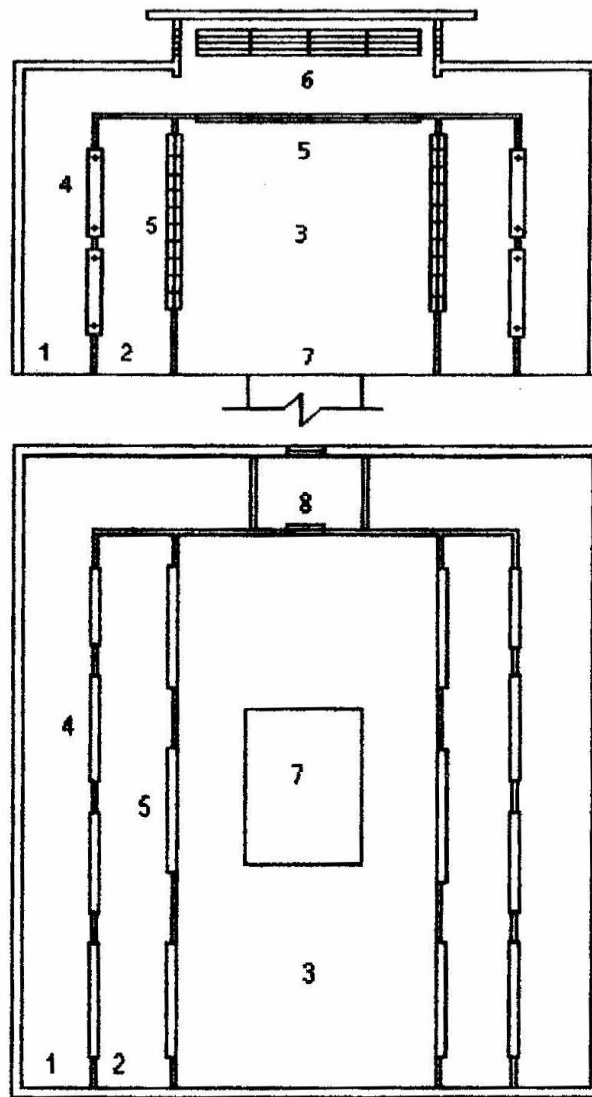


Рисунок 10.11. Схема калориферной установки с регулированием температуры путем смешивания холодного и горячего воздуха: 1 - камеры холодного воздуха; 2 – камеры горячего воздуха; 3 – камера смешивания; 4 – группы калориферов; 5 – многостворчатые клапаны регулирования количества холодного и горячего воздуха; 6 – жалюзийные решетки проемов холодного воздуха; 7 – вентиляционный канал; 8 – камера контрольно-измерительной аппаратуры.

Схемы вскрытия шахт и системы их вентиляции предусматривают подачу атмосферного воздуха в горные выработки через несколько стволов, штолен или других выработок. В этом случае предусматривается работа калориферных установок на всех подающих воздух выработках. Конструкции этих калориферных установок также могут быть безвентиляторными или вентиляторными, в зависимости от количества и места расположения главных вентиляторов. Параметры установок при этом зависят от количества воздуха, подаваемого через прилегающую к калориферной установке выработку.



## 10.5. Конструктивные особенности и требования к шахтным калориферным установкам

Принцип работы шахтных калориферных установок соответствует общепринятым для установок, используемых в других отраслях промышленности и гражданском строительстве. Однако необходимо учитывать, что проветривание шахт, как предприятий, имеет ряд характерных особенностей. Это большой расход воздуха ( $85-350\text{ м}^3/\text{с}$ ), необходимость непрерывной его подачи по времени и постоянной по расходу.

Конструкция калориферной установки, работающей в системе вентиляции шахты, должна обеспечивать высокую надежность и большую производительность. Это обстоятельство обеспечивается выполнением целого ряда требований, условий и рекомендаций, которые должны учитываться при проектировании и сооружении калориферных установок.

Требование отраслевых Правил безопасности сводится к тому, что калориферная установка должна обеспечивать поддержание температуры воздуха на уровне не менее  $+2^\circ\text{C}$  в 5 м от сопряжения канала установки со стволом, штольной или другой подающей воздух выработкой.

*Безвентиляторные калориферные установки* должны размещаться в блоке надшахтного здания или примыкать к нему. В этом случае в период минусовых температур наружного воздуха надшахтное здание должно быть герметизировано с целью предотвращения притока наружного воздуха в воздухоподающую выработку через неплотности в стенах, оконных и дверных проемах и т.п.

Основные транспортные ворота надшахтного здания должны иметь тамбур-шлюз с механизмом блокировки, исключающим одновременное открывание ворот. Для подогрева воздуха, поступающего через неплотности в воротах, необходимо предусматривать воздушные тепловые завесы, устанавливаемые у внутренних ворот шлюза.

При наличии в блоке надшахтного здания копра 5 – 10% подогретого воздуха с помощью регулирующих клапанов подается для его (копра) обогрева через обводной канал. Конструкция блока надшахтного здания и калориферной установки может предусматривать вход нагретого воздуха непосредственно в здание, обогрев его и последующий выход воздуха в ствол шахты. В этом случае следует проектировать подогрев воздуха до  $+10^\circ\text{C}$ , а подачу его в надшахтное здание осуществлять плоскими горизонтальными струями на высоте 2,0 м от пола.

*Вентиляторные калориферные установки* размещаются чаще всего в одном здании с главным вентилятором или примыкают к нему. Калориферная

установка находится на всасывающей части сети вентилятора, к вентилятору подводится весь шахтный воздух в подогретом состоянии.

*Основными параметрами калориферной установки являются ее теплопроизводительность и депрессия.*

Величину теплопроизводительности калориферной установки определяют исходя из необходимости подогрева до установленной ПБ температуры максимального расхода воздуха, подаваемого по данной выработке (стволу, штольне), при температуре наружного воздуха наиболее холодных суток в году для данной местности.

Падение давления по воздушной струе на калориферах и каналах безвентиляторной установки от входа в установку до входа в подающую выработку должно быть минимальным и не превышать 200-350 Па. Получить такую депрессию можно путем упрощения конструкций каналов, регулирующих устройств и варьированием соответствующих размеров площадей сечений.

*Конструктивные особенности калориферных установок шахт состоят в следующем:*

- установка должна иметь не менее двух секций калориферов, работающих совместно или самостоятельно;
- группы в установке должны комплектоваться только одинаковыми калориферами;
- конструкция надшахтного здания и калориферной установки (безвентиляторной) должна предусматривать возможность перекрытия выходного канала установки и открывания главных ворот при режиме реверсирования шахтной струи за промежуток времени, предусмотренный ПБ;
- в установках шахт, расположенных в снежных северных районах, предусматриваются конструктивные элементы, препятствующие образованию снежных заносов жалюзийных решеток заборных проемов;
- проемы для прохода наружного воздуха в системе калориферной установки должны располагаться в стенах здания на высоте 2 м и более от уровня земли;
- конструкция здания и системы калориферной установки должна обеспечивать одинаковые расходы воздуха через отдельные секции и через отдельные группы калориферов в секциях. Неравномерность расходов по группам и секциям должна быть не более 15%;
- в установках, работающих по принципу регулирования температуры подаваемого в шахту воздуха путем смешивания холодного и горячего воздуха, регулировочные клапаны должны иметь привод во взрывобезопасном исполнении (РВ) на газовых шахтах и в нормальном исполнении (РН) на остальных шахтах.

*Требования к параметрам теплоносителя:*

– проектирование новых калориферных установок должно быть ориентировано на применение в качестве теплоносителя высокотемпературной воды. При реконструкции существующих установок, в которых теплоносителем является насыщенный пар, разрешается дальнейшее применение этого теплоносителя, но это должно быть подтверждено технико-экономическим расчетом;

– в установках следует применять только стандартные калориферы. Если теплоносителем является высокотемпературная вода, разрешается применять одноходовые и многоходовые калориферы. Одноходовые калориферы можно устанавливать как вертикально, так и горизонтально. Многоходовые следует устанавливать так, чтобы их трубки были в горизонтальной плоскости. Если в качестве теплоносителя выступает насыщенный пар, следует применять только одноходовые калориферы, которые можно устанавливать как вертикально, так и горизонтально. Соединение калориферов в группах в этом случае должно быть параллельным по теплоносителю, группы должны быть однорядными;

– скорость движения воды в трубках калориферов должна находиться в пределах 0,3 - 0,8 м/с;

– давление воды в любой точке гидравлической сети калориферной установки не должно превышать предельно допустимое по условиям механической прочности. В то же время оно должно быть не менее 0,3 – 0,5 МПа для предотвращения вскипания воды в сети этой установки. Давление на выходе гидравлической сети должно быть не менее 0,1 МПа;

– потери давления воды в калориферной установке не должны превышать 40% от величины давления на входе;

– при проектировании калориферной установки величина расчетной массовой скорости движения воздуха во фронтальном сечении приниматься в пределах 3,6 – 5,0 кг/м<sup>2</sup>с, скорость движения холодного воздуха во входных проемах – в пределах 3,0 - 4,0 м/с.

Калориферная установка при всех видах теплоносителя обеспечивается *приборами и системами контроля:*

– температуры наружного воздуха (с регистрацией); температуры воздуха, подаваемого в шахту (с регистрацией); расхода воздуха, поступающего в шахту (с регистрацией); температуры воздуха на выходе из каждой секции групп калориферной установки;

– расхода теплоносителя по всей калориферной установке; потери давления на калориферной установке.

*при использовании* в качестве теплоносителя *высокотемпературной воды*, дополнительно контролируется:

- температура воды на входе в калориферную установку и выходе из нее;
- температура воды на выходе из каждой группы калориферной установки;
- давление воды во входной и выходной магистральных линиях;
- циркуляция воды в гидравлической системе калориферной установки.

Если в качестве теплоносителя *используется пар*, дополнительно контролируется:

- давление пара на входе в калориферную установку; температура конденсата на выходе из каждой секции (с регистрацией).

В котельной установке шахты предусматривается аппаратура, сигнализирующая звуком и светом о снижении температуры и давления теплоносителя ниже допустимого уровня.

## **10.6. Проектирование калориферной установки**

Целью проекта калориферной установки является определение числа калориферов и оптимальное их расположение, обеспечивающее с наименьшими затратами необходимую температуру подогрева при любой температуре наружного воздуха.

Исходными данными для выполнения проекта калориферной установки являются:

- расход воздуха в подающей выработке (стволе, штольне);
- температура наружного воздуха для самых холодных суток в году для данной местности;
- температура подаваемого в шахту подогретого воздуха;
- вид теплоносителя и его параметры;
- тип и размер принимаемых к установке калориферов.

В зависимости от вида принятого теплоносителя, типа и размера принятых калориферов, принятой конструкции и размеров здания калориферной установки формируется схема основной единицы установки – группы. Намечается число калориферов в группе, их расположение по длине и высоте, число рядов по ходу воздушной струи и схема подключения калориферов по теплоносителю.

Методика расчета безвентиляторной и вентиляторной калориферных установок сводится к теплотехническому расчету группы калориферов при теплоносителе – воде в последовательности и по формулам, приведенным в «Руководстве по проектированию вентиляции угольных шахт».

**Литература к разделу [1,17,98-112].**

## Вопросы для самостоятельного контроля знаний

1. Что такое калориферная установка? Её назначение и условия применения.
2. Дайте количественную оценку потребления тепловой энергии в калориферных установках.
3. Из чего состоит традиционная технологическая схема обогрева воздухоподающих стволов, применяемая на большинстве угольных шахт Донбасса? Укажите её недостатки.
4. Опишите технологическую схему обогрева воздухоподающего ствола с использованием в качестве теплоносителя горячего воздуха.
5. Опишите технологическую схему обогрева ствола по принципу «горячий воздух».
6. Опишите технологическую схему обогрева ствола на основе газификации.
7. Опишите технологическую схему обогрева ствола с использованием низкопотенциального тепла.
8. Опишите технологическую схему обогрева ствола воздухонагревателями смешительного типа и укажите её основные недостатки.
9. Опишите принципиальную схему теплогенератора типа «АТОН».
10. Опишите современные средства и способы подогрева воздуха, подаваемого в шахту в зимний период года.
11. Опишите конструктивные особенности и требования к шахтным калориферным установкам.
12. Исходные данные для выполнения проекта калориферной установки.
13. По каким нормативно-правовым документам осуществляется проектирование калориферной установки угольной шахты?

## ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

*Дайте понятиям точное толкование  
и вы освободите мир  
от половины заблуждений.*

*Р.Декарт*

**Абсолютная шкала температур** введена английским ученым Кельвином. В этой шкале тройная точка воды (термодинамическое состояние, при котором имеются все три фазы вещества: газ, жидкость, твердое состояние) равно 273,16 К. По шкале Цельсия этому состоянию воды присвоено значение температуры 0°C. Таким образом, между шкалами абсолютной Кельвина (К) и Цельсия (°C) существует соотношение:  $K = ^\circ C + 273,16$ ;  $^\circ C = K - 273,16$ .

Кроме того, существуют шкалы Фаренгейта (°F), Реомюра (°R) и Ренкина (°Ren). Между ними и шкалой *Цельсия* следующие соотношения:

$$^\circ F = 9/5 ^\circ C + 32; \quad ^\circ C = 5/9 (^\circ F - 32); \quad ^\circ R = 5/4 ^\circ C; \quad ^\circ C = 4/5 ^\circ R;$$

$$^\circ Ren = 9/5 ^\circ C + 491,7; \quad ^\circ C = 5/9 (^\circ Ren - 491,7).$$

**Выемочный участок** – участок одного пласта, заключенного в пределах одного подэтажа и крыла выемочного поля. При обособленной (негрупповой) разработке пластов лавами – этажами понятие выемочного поля и выемочного участка совпадают. Как объект проветривания выемочный участок представляет собой сеть аэродинамических сопротивлений и систему источников выделения вредностей, распределенных во времени и пространстве

Специалисты в области кондиционирования воздуха и холодильной техники используют более 3000 специальных терминов. Приведем некоторые из них, которые позволяют изложить основы кондиционирования воздуха в шахтах и технологии получения холода.

Совокупность тел, которые энергетически взаимодействуют между собой, с другими телами и с окружающей их средой, составляют термодинамическую систему.

Величины, характеризующие состояние термодинамической системы, называют параметрами состояния системы.

Параметры состояния, не зависящие от массы термодинамической системы, называют интенсивными термодинамическими параметрами (например, давление и температура).

Параметры состояния, пропорциональные массе данной термодинамической системы, значение которых равно сумме значений таких же параметров

отдельных составляющих системы, называются экстенсивными термодинамическими параметрами (например, внутренняя энергия, работа).

**Воздухоохладитель** – теплообменный аппарат, который обеспечивает передачу теплоты от рудничного воздуха к холодоносителю или хладагенту.

**Водоохладитель** – теплообменный аппарат, который обеспечивает передачу теплоты от охлажденной воды в исходящий вентиляционный поток или в атмосферу.

**Время проветривания пункта выработки** – продолжительность существования этого пункта от момента прохождения до расчетного момента.

**Глубокая шахта** – с позиций управления тепловым режимом это предприятие, на котором выемку полезного ископаемого осуществляют на глубинах с естественной температурой горного массива  $30^{\circ}\text{C}$  и выше или при меньшей температуре массива температура воздуха в выработках превышает допустимые правилами безопасности нормы.

**Горнотехнические способы нормализации тепловых условий** – технические решения (вентиляционные, технологические, специальные), позволяющие уменьшить нагрев воздуха при движении его по горным выработкам к рабочим забоям без применения искусственного охлаждения воздуха.

**Градиент температуры** – вектор, направленный по нормали к изотермической поверхности в направлении возрастания температуры; численно равен первой производной температуры в направлении нормали.

Наличие градиента температуры является необходимым условием распространения теплоты.

**Давление** – величина, характеризующая интенсивность действия сил на какую-либо часть поверхности тела по направлениям, перпендикулярным к этой поверхности. Давление определяется отношением силы, равномерно распределенной к этой поверхности, к площади поверхности. Давление, создаваемое силой в один Ньютон ( $1\text{Н} = 0,102\text{ кг}$ ) на площадь один квадратный метр, равно одному Паскалю (Па). Более крупная единица  $1\text{ бар} = 10^5\text{ Па}$ .

Различают барометрическое (атмосферное) давление  $P_b$ , абсолютное  $P_a$  и разрежение. Атмосферное давление является результатом давления окружающей воздушной среды на поверхность Земли. Нормальное атмосферное давление на уровне моря уравнивается столбиком ртути 760 мм рт. ст., что соответствует  $101325\text{ Па} \approx 10^5\text{ Па} = 1\text{ бар}$ .

Разность между абсолютным давлением и барометрическим называется избыточным давлением. В закрытых сосудах измеряют избыточное давление, а абсолютное определяют путем сложения избыточного атмосферного. Например, если избыточное давление равно 4 бар, то абсолютное равно 5 бар.

**Закон Фурье.** Передача тепла теплопроводностью осуществляется в направлении нормали к изотермической поверхности из области с большей температурой в область с меньшей температурой. Количество теплоты, переносимое через элемент изотермической поверхности  $\Delta P$  в единицу времени, называется тепловым потоком и, согласно гипотезе Фурье, пропорционально градиенту температуры

Тепловой поток, отнесенный к единице изотермической поверхности, называется плотностью теплового потока.

**Зона теплового комфорта** – сочетание тепловых параметров окружающей среды, которое обеспечивает оптимальный уровень физиологических функций работающего, в том числе терморегулируемых, при субъективном ощущении комфорта.

**Кондиционирование рудничного воздуха** – комплекс мероприятий, позволяющий поддерживать в шахте (горных выработках) определенные состав и состояние воздуха независимо от внешних (погода, время года) и внутренних (наличие людей, источников тепла, влаги, различных газов, пыли и др.) факторов.

**Кондиционер** – комплекс оборудования для создания и автоматического поддержания в шахте (горных выработках), их отдельных зонах или технологическом аппарате определенных параметров воздушной среды вне зависимости от изменения атмосферных или внутренних условий.

**Конвекция теплоты** – процесс переноса теплоты в среде с не однородным распределением температуры, осуществляемый макроскопическими элементами среды при их перемещении. Конвекция возможна только в текучей среде (в жидкостях или газах), а процесс переноса теплоты неразрывно связан с переносом самой среды.

Различают два вида конвекции: естественную (свободную) и вынужденную. При естественной конвекции движущая сила обусловлена неоднородностью плотностей жидкой среды при наличии в ней разности температур, в результате чего возникают подъемные (архимедовы) силы в поле массовой силы любого происхождения. Вынужденная конвекция характерна тем, что жидкость перемещается под действием внешней движущей силы.

Наряду с конвекцией всегда сосуществует теплопроводность, однако конвективный теплоперенос в жидкостях обычно является определяющим благодаря значительной интенсивности.

Теплообмен, обусловленный совместным действием конвективного и молекулярного переноса теплоты (конвекцией и теплопроводностью), называется конвективным теплообменом.



Конвективный теплообмен между твердой поверхностью и омывающей ее жидкостью называется теплоотдачей.

Процесс передачи тепла от одной жидкости к другой через разделяющую твердую стенку называется теплопередачей.

Процессы передачи теплоты конвекцией и теплопроводностью возможны только при наличии вещественной среды.

**Конвективная диффузия** – процесс переноса массы за счет перемещения макроскопических объемов вещества.

**Конвективная массоотдача** – процесс переноса массы от поверхности жидкости в газообразную среду.

**Массообмен** – самопроизвольный необратимый процесс переноса массы данного компонента в пространстве с неоднородным полем химического потенциала этого компонента (в простейшем случае с неоднородным полем концентрации или парциального давления этого компонента). Массообмен может осуществляться молекулярной и конвективной диффузией. В общем случае перенос массы может также вызываться и неоднородностью полей других физических величин, например, разностью температур (термодиффузия).

**Молекулярная диффузия** – процесс переноса вещества в смеси, обусловленный тепловым движением микрочастиц вещества.

**Мощность** – это частное от деления произведенной работы или переданной энергии в течение определенного интервала времени на продолжительность этого интервала.

Физическое состояние однородного вещества однозначно определяется тремя основными параметрами: температурой, давлением и объемом. Совокупность этих параметров определяет агрегатное состояние вещества.

**Озонабезопасный холодильный агент** – химическое соединение, в составе которого отсутствуют атомы хлора и брома, которые нарушают озоновый слой Земли.

**Передача тепла излучением** происходит путем трансформации тепловой энергии тела в лучистую энергию – электромагнитные волны, которые, распространяясь в пространстве, достигают другого тела и преобразуются в тепловую энергию этого тела.

**Передача тепла теплопроводностью** осуществляется за счет передачи энергии молекул более нагретых частей тела молекулам с меньшей температурой. Молекулы с большей температурой сталкиваются с молекулами с меньшей температурой и передают им часть энергии. В жидкостях и газах наряду с теплопроводностью теплота может передаваться путем перемешивания сред с разной температурой.

При конвективном теплообмене перенос тепла осуществляется от жидкой или газообразной среды к твердому телу (например, в теплообменных аппаратах).

Как правило, эти три механизма передачи тепла присутствуют в тепловых машинах одновременно.

Соотношение между работой и полученным в результате выполнения этой работы теплом определил в 1845 году английский ученый Джоуль, который вычислил механический эквивалент теплоты.

Количественно работа может быть определена как

$$W = F \cdot l, \text{ (Н}\cdot\text{м)},$$

а теплота (тепловыделение), как результат этой работы равна:

$$Q = cm (t_k - t_n),$$

где  $c$  – удельная теплоемкость вещества;  $m$  – масса вещества;  $t_k, t_n$  – конечная и начальная температура вещества.

**Передвижная холодильная установка** – шахтная холодильная установка с периодически передвигаемыми холодильными машинами (кондиционерами) и воздухоохладителями.

**Работа** определяется как произведение силы на перемещение в направлении действия силы. Работа измеряется в Джоулях (Дж = Н·м). Если тело обладает энергией, то оно может совершать работу, которая в соответствии с принципом сохранения энергии может быть преобразована в другую форму энергии.

Закон сохранения энергии формулируется следующим образом: «Работа внешних сил плюс подведенная теплота расходуется на изменение механической и внутренней энергии рабочего тела».

К внешним силам относятся, например, **силы давления и силы трения**.

**Система кондиционирования рудничного воздуха (СКРВ)** – технологический комплекс холодильного, вспомогательного и электротехнического оборудования, обеспечивающий отбор теплоты от рудничного воздуха, поступающего по выработкам к рабочим местам, и отвод ее в исходящую вентиляционную струю или атмосферу.

**Стационарная холодильная установка** – шахтная холодильная установка со стационарным размещением холодильных машин, воздухоохладителей, теплообменника понижения давления и периодически передвигаемых воздухоохладителей.

**Тепловой режим шахты, горной выработки (микроклимат)** – сочетание температуры, относительной влажности и скорости воздуха, установившихся в

результате тепло- и массообменных процессов с различными источниками тепла и влаги при движении воздуха к рабочим забоям.

**Тепловое излучение** – процесс передачи теплоты посредством электромагнитных волн, обусловленный температурой и оптическими свойствами тел, участвующих в теплообмене. Тепловое излучение связано с двойным взаимным превращением энергии (тепловая - лучистая - тепловая). В отличие от конвекции и теплопроводности лучистый теплообмен может осуществляться и при отсутствии промежуточной вещественной среды, например, в вакууме, где это - единственно возможный способ переноса теплоты.

**Температура** характеризует интенсивность теплового движения молекул, атомов и других частиц, образующих термодинамическую систему. Энергия теплового движения прямо пропорциональна абсолютной температуре тела. С молекулярно-кинетической точки зрения температура не может быть отрицательной. Наименьшее значение температуры есть нуль. При этой температуре давление идеального газа равно нулю, движение молекул прекращается. Это есть начальная точка абсолютной шкалы температур.

**Температурное поле** – совокупность мгновенных значений температур для всех точек рассматриваемого пространства.

Точки температурного поля с одинаковой температурой образуют изотермическую поверхность, а на пересекающей их плоскости образуются линии одинаковой температуры - изотермы.

Изотермические поверхности и изотермы не пересекаются между собой, не обрываются внутри тела; они полностью замыкаются внутри тела или обрываются на его поверхности.

**Теплотой** называется часть энергии, которая непосредственно передается данному телу от более нагретого тела в результате теплового контакта между ними. Следует отметить, что этот способ передачи энергии не связан с совершением работы одним телом над другим.

За единицу теплоты принят 1 Джоуль ( $Дж = Н \cdot м$ ).

**Теплообмен** – энергетический обмен между взаимодействующими областями рассматриваемой системы, необходимой и достаточной причиной которого является неодинаковость температур этих областей. Энергия, перенесенная вследствие разности температур, называется теплом, а за единицу ее измерения приняты джоули (Дж).

В условиях повседневной деятельности наблюдается совершенно определенное направление переноса тепла - от тел более нагретых к телам менее нагретым. Конечный результат теплообмена между ограниченными телами или частями одного и того же тела заключается в выравнивании их температур, по-

сле чего система рассматриваемых тел приходит в состояние теплового равновесия. Именно к таким системам применимы классические законы термодинамики, позволяющие рассчитать количество энергии, необходимое для перехода системы из одного равновесного состояния в другое, и установившуюся конечную температуру. Скорость же переноса тепла и температура элементов системы по истечении заданного промежутка времени определяются методами теории теплообмена, дополняющей законы термодинамики.

Различают три элементарных вида передачи тепла: теплопроводность, конвекцию и излучение. Общими для них является необходимость в наличии разности температур и то, что тепло всегда передается в направлении снижения температуры. Различаются они исключительно физическим механизмом передачи тепла и законами, которые их описывают.

**Теплопроводность** – молекулярный перенос теплоты в сплошной среде, обусловленный неодинаковостью температур в рассматриваемом пространстве. Теплопроводность не включает перенос теплоты вследствие диффузии вещества или иначе: теплопроводность – молекулярный перенос теплоты между смежными элементами системы, обусловленный движением микрочастиц вещества вследствие неодинаковости температур этих элементов. Механизм передачи тепла теплопроводностью зависит от физических параметров среды и связан с движением микроструктурных элементов (электронов, атомов, молекул).

**Теплообменник высокого давления (ТВД)** – теплообменный аппарат, который обеспечивает передачу теплоты от холодоносителя или охлажденной воды системы низкого давления к холодоносителю или охлажденной воде системами высокого давления.

**Удельная теплоемкость вещества ( $c$ )** характеризует количество теплоты, необходимое для нагревания 1 кг вещества на 1 К.

Уравнение (2) является основной формулой калориметрии. Оно позволяет определить удельную теплоемкость тела (вещества), т.е. количество тепла, которое нужно сообщить (или изъять) телу единичной массы, чтобы повысить (или снизить) его температуру на 1 К.

Удельная теплоемкость зависит от природы тела и его физического состояния: так, теплоемкость воды (жидкое состояние) практически в два раза больше, чем теплоемкость льда (твердое состояние). Следует отметить, что вода – это жидкость с самым высоким значением удельной теплоемкости. Чтобы обеспечить заданное изменение температуры, вода должна поглотить или отдать тепла больше, чем любое другое тело такой же массы.

При изменении давления и температуры теплоемкость изменяется. Поэтому, исходя из начального состояния вещества, можно получить два различных конечных состояния и две удельные теплоемкости:

$c_p$  – удельная теплоемкость при постоянном давлении;  $c_v$  – удельная теплоемкость при постоянном объеме.

Для газов разность  $c_p - c_v = R$  является постоянной величиной и называется удельной газовой постоянной.

Обычно среднюю удельную теплоемкость воды принимают 1 ккал/(кг·К) или 4,18 кДж/(кг·К); среднюю удельную теплоемкость воздуха 1 кДж/(кг·К); фреона R22 – 0,7 кДж/(кг·К).

**Холодильное оборудование** – оборудование, которое используется в составе СКРВ для производства и передачи искусственного холода.

**Холодоноситель** – вещество (вода, водяные рассолы и др.), которое предназначено для переноса теплоты от воздухоохладителей к холодильной машине.

**Холодильный агент** (хладагент) – рабочее вещество холодильной машины.

**Шахтная холодильная установка** – шахтная холодильная установка со стационарным размещением холодильных машин, водоохладителей, теплообменника понижения давления и периодически передвигаемых воздухоохладителей.

**Энергия** является количественной мерой различных форм движения материи. Энергия прямо или косвенно может быть превращена в работу.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение А

**Средние значения температуры земной поверхности и величины геотермической ступени для шахт и шахтоуправлений геологопромышленных комплексов Донбасса**

Таблица А1

Номер геотермического	Название шахт, шахтоуправлений и геологопромышленных комплексов <sup>*)</sup>	$t_{з.п.},$ °С	$\Gamma_{ср},$ М/°С
1	2	3	4
<b>Красноармейский район</b>			
1	ш. «Украина», ш. «Селидовская-Южная», ш. им. Коротченко, ш. «Россия», ш/у «Кураховское», ш. им. Димитрова, ш. 1 «Новогородовка», ш.3-3-бис	9,5	35,6
2	ш. «Краснолиманская», ш. «Центральная», ш. «Родинская», ш. «Красноармейская-Капитальная», уч. Северо-Родинский Глубокий №2	10,0	34,2
3	ш. 1-2 «Доброполье», ш. им. XXI съезда КПСС, ш. «Водянская»	9,9	33,9
4	г/ш «Красноармейская», ш.17-18 РККА, ш. 3 «Доброполье»	9,9	34,7
5	г/ш «Пионер», Терешковская перспектива	10,3	36,5
6	ш. им. Т.Г. Шевченко, Добропольская западная перспектива	10,5	34,1
<b>Южно-Донбасский район</b>			
1	Южно-Донбасский №4, Южно-Донбасский №6 (без северной части)	9,8	34,9
2	Южно-Донбасский 2, 3, 5, 8-9	10,3	34,3
3	Кураховская перспектива, Западно-Кураховская перспектива, уч. Южно-Донбасский №6 – северная часть	10,5	32,8
<b>Донецко-Макеевский район</b>			
1	уч. Петровский Глубокий, уч. Георгиевский, Трудовской-Глубокий, Кураховский Глубокий, Черкашевский Глубокий	9,7	39,7
2	ш. им. Челюскинцев, ш. 4-21, ш.11, ш.12 ш/у «Трудовское», ш. им. Скочинского, уч. Александровский, уч. Курахово-Марьинский	8,1	31,2
3	ш. им. Абакумова, ш. «Октябрьская», ш. 10-бис, ш. «Октябрьский рудник»	9,1	35,9
4	ш. «Лидиевка», ш. им. Засядько, ш. №13, ш. «Кировская», ш. №29, ш. «Ново-Центральная», ш. им. газеты «Донбасс», ш. им. Калинина, ш. №31	9,3	32,8

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4
5	уч. Октябрьский Глубокий, ш. «Октябрьский рудник»	8,8	42,2
6	ш. им. Засядько, ш. «Бутовка-Донецкая», уч. Октябрьский Глубокий южный	8,0	34,5
7	ш. «Чайкино», ш. им. Орджоникидзе, ш/у «Ново-Мушкетовское», ш. «Мушкетовская-Заперевальная», ш. №9, ш. «Ганзовская», ш. «Мушкетовская-Вертикальная»	9,9	33,1
8	ш. им. Бажанова, Макеевско-Ханжонковская площадь – северная часть, уч. Бутовский Глубокий	8,4	34,1
9	ш/у «Октябрьское», ш. «Пролетарская-Крутая» и ш. «Колосниковская-Восточная», ш/у им. Ленина, ш. им. Батова, ш. «Грузская-Наклонная», ш. «Пролетарская-Глубокая», ш. им. Ленина, ш. «Колосниковская №1», ш/у им. Кирова, ш/у «Ясиновское», Макеевско-Ханжонковская площадь – южная часть	9,8	40,6
10	ш/у «Холодная Балка», ш. «Колосниковская №2» ш/у им. Ленина, Харцызско-Иловайская площадь, уч. Ханжонковско-Каменский	10,1	36,3
11	ш. «Ясиновская-Глубокая» ш/у «Ясиновское», ш/у 3-й пятилетки	9,6	37,6
12	Пролетарская перспектива, ш. «Ново-Моспино», Н-Крынка Глубокая, Иловайская перспектива	10,7	38,6
<b>Чистяково-Снежнянский район</b>			
1	ш/у «Тернопольское», ш/у «Рассвет», ш/у «Ждановское», ш/у «Зуевское»	9,5	41,4
2	ш. «Волынская», ш/у «Торезское», ш. «Шахтерская» ш/у им. 1 Мая, ш. «Киевская», ш/у «Постниковское», ш. «Фоминская», ш. «Контарная», ш. «Виктория», ш/у им. Чапаева, ш. 14-14-бис, ш. 2-2-бис, ш. «Шахтерская-Глубокая», Зуево-Ореховская площадь, ш. им. Лутугина, ш. «Донецкая», ш/у им. Кисилева, ш. «Объединенная», ш. №17, ш. «Снежнянская», ш. «Прогресс» - южное крыло, уч. Донецкий-Капитальный	9,0	39,8
3	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	8,0	44,1
<b>Центральный район</b>			
1	ш. им. Дзержинского, ш/у «Торезское», уч. Дзержинский Глубокий	11,9	33,7
2	ш. им. Ворошилова, ш. им. Изотова, ш. им. Артема, ш. «Южная», ш. им. Гагарина, ш. «Комсомолец», ш. им. Ленина, уч. Румянцевский Глубокий – западное крыло	11,2	44,0

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4
3	ш. «Кочегарка», ш. им. Румянцева, ш. им. Гаевого, ш. им. Калинина, ш. «Александровская-Западная», ш. им. К.Маркса, уч. Румянцевский Глубокий – восточное крыло	9,8	42,8
4	ш. «Красный профинтерн», ш. «Красный Октябрь», ш. «Юнком», ш/у «Александровское», ш/у «Углегорская-Западная»	10,5	47,1
5	ш. «Енакиевская», ш. «Полтавская Комсомольская», уч. Миуссинский Северный, уч. Миуссинский №1 и №2 (северная часть), Юнкомовская перспектива	9,5	48,4
6	уч. Угледарский, Северо-Миусская перспектива, уч. Миусский, уч. Миусский №1 и №2 (южная часть)	8,9	42,7
<b>Старобельский район</b>			
1	уч. Рубежанский, пл. Варваровская, пл. Боровская, уч. Пугачев-Айдарский, пл. Муратовская, пл. Грачиш-кинская	12,0	40,9
2	пл. Краснодеркульская, пл. Лобочевская	12,5	43,2
3	уч. Богдановский, уч. Богдановский №6, уч. Богдановский 5-7	11,1	43,7
<b>Лисичанский район</b>			
1	ш. «Кременная», ш. им. Капустина, ш. «Привольнянская», ш. «Новодружеская», уч. ш. «Привольнянской», уч. Северо-Лисичанский	11,6	38,3
2	ш. им. Мельникова, уч. ш. им. Мельникова, ш. «Черноморка», ш. «Матросская», ш. «Войкова», уч. Горский Глубокий	10,2	37,8
<b>Алмазно-Марьевский район</b>			
1	ш. «Горская», ш. «Карбонит», ш. «Радуга», уч. Горский Глубокий, уч. Светлановский	10,8	38,6
2	ш. «Родина», ш. «Золотое», ш. «Михайловская», ш. им Менжинского, ш. «Сокологоровка», ш. им. Кирова, ш. «Голубовская», ш. №100, ш. №77, ш. XXII съезда КПСС, ш. «Максимовская», ш. им. Чеснокова, ш. 3-3-бис, ш. «Криничанская», ш. «Бежановская», ш. «Гошковская», ш. «Пролетарская», ш. «Луганская», уч. Светлановский – южная часть	10,2	37,9
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-бис, уч. Мироновский Глубокий, Сануаровская перспектива, уч. Ломоватский, уч. Анненский Вертикальный	8,8	35,9



Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4
<b>Луганский район</b>			
1	ш. «Черкасская», ш/у «Черкаское», ш. «Славяносербская», ш. им Лютикова, ш/у «Черкаское», уч. Тельмановский (западное крыло)	11,4	46,2
2	ш/у XIX съезда КПСС, ш. «Белореченская», ш/у им. Ленина, уч. Сутаган Пологий	11,4	46,5
3	уч. Климовский, уч. Тельмановский (вост. крыло), уч. Новосветловский	12,4	50,9
4	уч. Чапаевского рудника	11,8	63,7
5	уч. Менчекуровский	11,1	48,5
<b>Краснодонский район</b>			
1	уч. Краснодонский Северный, Краснодонская Южная перспектива	12,5	52,3
2	уч. Краснодонский Северный 1	11,7	44,9
3	ш. Молодогвардейская, ш. 50 лет СССР, ш. «Самсоновская-Западная»	11,5	47,9
4	ш. «Северная», ш. «Победа», ш/у «Суходольское», ш. им. Лютикова, ш. «Дуванная», ш. им. Баракова, ш. «Суходольская-Восточная»	11,9	47,5
5	ш. «Энгельсовская», ш. «Ореховская», ш. «Галовская», ш. «Краснодонская», Ореховская восточная перспектива, уч. Краснодонский Глубокий – западное крыло	11,7	53,9
6	ш. «Краснодарская», уч. Краснодонский Глубокий - восточное крыло, уч. Краснодонский Южный	11,0	53,8
<b>Селезневский район</b>			
1	ш/у «Зоринское», ш/у им. Косиора, ш/у им. Артема, ш/у «Украина», ш/у «Перевальское», уч. Селезневский, уч. Анненский Вертикальный – южное крыло	7,4	33,2
<b>Ореховский район</b>			
1	уч. Первозвановский, уч. Лутугинский южный 1, Лутугинская южная перспектива	10,9	49,6
<b>Боково-Хрустальский район</b>			
1	ш/у «Запорожское», ш. 152, ш/у «Краснокутское», уч. Краснокутский 1, уч. Фащевский Нижний	9,2	40,7
2	ш.4 ш/у «Хрустальское», ш. 7-8, ш. «Знамя коммунизма», ш. «Миуссинская», ш/у «Алмазное», уч. Фащевский рудник, уч. Грабовский рудник	9,9	44,6
3	ш. 21 «ш/у Краснокутское», ш. «Известия» и 10-10-бис ш/у им. газеты «Известия», ш. 32 ш/у им. газеты «Ворошилов-градская Правда», ш. им. Вахрушева, ш. «Центральная», ш.30 ш/у им. газеты «Ворошиловградская Правда», ш. «Новопавловская», ш. «Краснолучская», ш. 4-бис ш/у «Знамя коммунизма», ш. им. XXIV съезда КПСС, уч. Нагольчанский западный	10,4	46,7

Конец таблицы А.1

1	2	3	4
4	ш/у «Нагольчанское», ш. «Партизанская», ш. «Дружба», ш/у им. 50 лет Советской Украины, ш/у им. Фрунзе, уч. ш. им. Фрунзе – западное крыло	10,2	53,9
<b>Должанский район</b>			
1	ш/у «Ровеньковское», ш. им. XXIII съезда КПСС, ш/у им. Дзержинского, Свердловская перспектива, уч. ш. им. Фрунзе – восточная часть	11,4	52,5
2	ш/у «Ленинское», ш/у им. Космонавтов	9,9	49,9
3	ш. им. Володарского, ш. «Центросоюз», ш/у Свердлова, ш. 67 ш/у «Одесское», ш. «Харьковская», ш/у Наклонное, ш. 66 ш/у «Маяк», уч. Володарский рудник	8,7	45,4
4	ш. «Красный Партизан», ш. «Майская», ш. «Богучаровская», уч. Должанский Каменский	10,1	44,5
5	ш.25 ш/у «Наклонное», ш.71 ш/у «Маяк», уч. Должанский – южный, уч. Должанский – южный №1	11,2	50,6
* Приведены названия шахт, шахтоуправлений и геологопромышленных комплексов, в пределах которых выполнялись геотермические исследования			

## Приложение Б

### Парциальное давление насыщенного водяного пара при различных температурах

Таблица Б.1

$t, ^\circ\text{C}$	$p_{\text{н}}, \text{Па}$	$t, ^\circ\text{C}$	$p_{\text{н}}, \text{Па}$	$t, ^\circ\text{C}$	$p_{\text{н}}, \text{Па}$
1	2	1	2	1	2
-20,0	125,0	-12,6	232,6	-5,2	415,2
-19,8	127,1	-12,4	236,5	-5,0	422,6
-19,6	129,4	-12,2	240,3	-4,8	429,1
-19,4	131,6	-12,0	244,2	-4,6	435,6
-19,2	133,9	-11,8	248,2	-4,4	442,3
-19,0	136,2	-11,6	252,2	-4,2	449,0
-18,8	138,6	-11,4	256,3	-4,0	455,8
-18,6	141,0	-11,2	260,5	-3,8	462,7
-18,4	143,4	-11,0	264,7	-3,6	469,7
-18,2	145,9	-10,8	269,0	-3,4	476,8
-18,0	148,4	-10,6	273,3	-3,2	484,0
-17,8	151,0	-10,4	277,7	-3,0	491,3
-17,6	153,6	-10,2	282,1	-2,8	498,7
-17,4	156,2	-10,0	286,6	-2,6	506,2
-17,2	158,9	-9,8	291,2	-2,4	513,8
-17,0	161,6	-9,6	295,9	-2,2	521,4
-16,8	164,3	-9,4	300,6	-2,0	529,2
-16,6	167,1	-9,2	305,4	-1,8	537,1
-16,4	170,0	-9,0	310,2	-1,6	545,1
-16,2	172,8	-8,8	315,1	-1,4	553,2
-16,0	175,8	-8,6	320,1	-1,2	561,4
-15,8	178,7	-8,4	325,2	-1,0	569,7
-15,6	181,7	-8,2	330,3	-0,8	578,1
-15,4	184,8	-8,0	335,5	-0,6	586,6
-15,2	187,9	-7,8	340,8	-0,4	595,3
-15,0	191,0	-7,6	346,1	-0,2	604,0
-14,8	194,2	-7,4	351,5	$\pm 0,0$	612,9
-14,6	197,5	-7,2	357,0	0,2	621,9
-14,4	200,8	-7,0	362,6	0,4	631,0
-14,2	204,1	-6,8	368,2	0,6	640,2
-14,0	207,5	-6,6	373,9	0,8	649,5
-13,8	210,9	-6,4	379,7	1,0	659,0
-13,6	214,4	-6,2	385,6	1,2	668,5
-13,4	218,0	-6,0	391,6	1,4	678,2
-13,2	221,6	-5,8	397,6	1,6	688,0
-13,0	225,2	-5,6	403,7	1,8	698,0
-12,8	228,9	-5,4	409,9	2,0	705,3

Продолжение таблицы Б.1

1	2	1	2	1	2
2,2	715,9	10,2	1243,9	18,2	2089,2
2,4	726,6	10,4	1259,9	18,4	2115,8
2,6	735,9	10,6	1277,2	18,6	2142,5
2,8	746,6	10,8	1293,2	18,8	2169,1
3,0	757,3	11,0	1311,9	19,0	2197,1
3,2	767,9	11,2	1329,2	19,2	2223,8
3,4	778,6	11,4	1347,9	19,4	2251,8
3,6	790,6	11,6	1365,2	19,6	2279,8
3,8	801,3	11,8	1383,9	19,8	2309,1
4,0	813,3	12,0	1402,5	20,0	2338,5
4,2	823,9	12,2	1421,2	20,2	2367,8
4,4	835,9	12,4	1439,9	20,4	2397,1
4,6	847,9	12,6	1458,5	20,6	2426,5
4,8	858,6	12,8	1477,2	20,8	2455,8
5,0	871,9	13,0	1497,2	21,0	2487,8
5,2	883,9	13,2	1515,9	21,2	2517,1
5,4	897,3	13,4	1537,2	21,4	2549,1
5,6	909,3	13,6	1557,2	21,6	2579,8
5,8	921,3	13,8	1577,2	21,8	2611,8
6,0	934,6	14,0	1598,5	22,0	2643,8
6,2	947,9	14,2	1618,5	22,2	2675,8
6,4	961,3	14,4	1639,9	22,4	2707,8
6,6	974,6	14,6	1661,2	22,6	2741,1
6,8	987,9	14,8	1682,5	22,8	2774,4
7,0	1001,2	15,0	1705,2	23,0	2809,1
7,2	1014,6	15,2	1726,5	23,2	2843,8
7,4	1029,2	15,4	1749,2	23,4	2878,4
7,6	1043,9	15,6	1771,8	23,6	2913,1
7,8	1057,2	15,8	1794,5	23,8	2947,7
8,0	1073,2	16,0	1818,5	24,0	2983,7
8,2	1086,6	16,2	1841,2	24,2	3018,4
8,4	1101,2	16,4	1865,2	24,4	3055,7
8,6	1115,9	16,6	1889,2	24,6	3093,1
8,8	1331,9	16,8	1913,2	24,8	3130,4
9,0	1147,9	17,0	1937,2	25,0	3167,7
9,2	1163,9	17,2	1961,2	25,2	3206,1
9,4	1179,9	17,4	1986,5	25,4	3245,9
9,6	1195,9	17,6	2011,8	25,6	3283,5
9,8	1211,9	17,8	2037,2	25,8	3321,9
10,0	1227,9	18,0	2063,8	26,0	3362,4

Конец таблицы Б.1

1	2	1	2	1	2
26,2	3402,4	35,4	5751,8	43,4	8824,3
26,4	3442,4	35,6	5815,5	43,6	8916,6
26,6	3483,2	35,8	5879,5	43,8	9009,9
26,8	3524,8	36,0	5943,5	44,0	9103,2
27,0	3566,4	36,2	6009,1	44,2	9199,2
27,2	3608,5	36,4	6074,7	44,4	9295,2
27,4	3650,6	36,6	6141,3	44,6	9391,7
27,6	3693,6	36,8	6209,1	44,8	9488,8
27,8	3737,3	37,0	6276,8	45,0	9585,9
28,0	3781,0	37,2	6348,8	45,2	9682,9
28,2	3825,3	37,4	6420,8	45,4	9780,0
28,4	3869,5	37,6	6545,6	45,6	9888,8
28,6	3914,6	37,8	6616,5	45,8	9986,6
28,8	3960,5	38,0	6627,4	46,0	10088,5
29,0	4006,3	38,2	6700,0		
29,2	4053,3	38,4	6772,5		
29,4	4100,2	38,6	6845,8		
29,6	4147,6	38,8	6919,9		
31,0	4494,3	39,0	6994,1		
31,2	4546,0	39,2	7069,8		
31,4	4599,1	39,4	7145,5		
31,6	4650,0	39,6	7222,3		
31,8	4702,8	39,8	7300,2		
32,0	4755,6	40,0	7378,0		
32,2	4809,5	40,2	7457,5		
32,4	4863,3	40,4	7537,0		
32,6	4919,6	40,6	7617,5		
32,8	4975,6	40,8	7699,1		
33,0	5031,6	41,0	7780,7		
33,2	5088,6	41,2	7863,9		
33,4	5144,1	41,4	7947,1		
33,6	5203,6	41,6	8031,3		
33,8	5262,2	41,8	8116,6		
34,0	5320,9	42,0	8202,0		
34,2	5378,5	42,2	8288,9		
34,4	5436,1	42,4	8375,8		
34,6	5502,2	42,6	8463,8		
34,8	5563,5	42,8	8552,9		
35,0	5624,9	43,0	8641,9		
35,2	5688,3	43,2	8733,1		

## Приложение В

**Значения средних безразмерных температур  $\theta_{вн}$  и  $\theta_{вк}$  для ископаемого в вагонетках**

Таблица В.1

$F_o \cdot 10^4$	$B_i$										
	1	3	5	10	16	20	30	50	100	200	$\infty$
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

## Приложение Г

### Форма журнала для записи результатов измерений

#### Журнал

для записей результатов измерений и наблюдений при маршрутных тепловых съемках

ГП (ОАО, ГОАО, ...) \_\_\_\_\_, шахта \_\_\_\_\_, маршрут \_\_\_\_\_, дата \_\_\_\_\_, состав бригады \_\_\_\_\_

Номер пункта замера	Название выработки и место замера	Время суток, час-мин	Давление воздуха, МПа	Температура воздуха, °С		Форма сечения выработки	Размеры сечения, м				Способ замера скорости воздуха	Номер анемометра
				$t_c$	$t_m$		$a$	$b$	$H$	$h$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Число оборотов крыльчатки за 100 с				Параметры открытой поверхности воды			Параметры трубопровода		Примечание (тип и характеристика крепи; влажностное состояние; число, тип и мощность местных источников тепла, размеры загромождающих предметов)
$n_1$	$n_2$	$n_3$	$n_{cp}$	$L_B, м$	$b_B, м$	$t_B, °C$	$D_{тр}, м$	$t_{тр}, °C$	
14	15	16	17	18	19	20	21	22	
									23

Состав бригады замерщиков \_\_\_\_\_

## Приложение Д

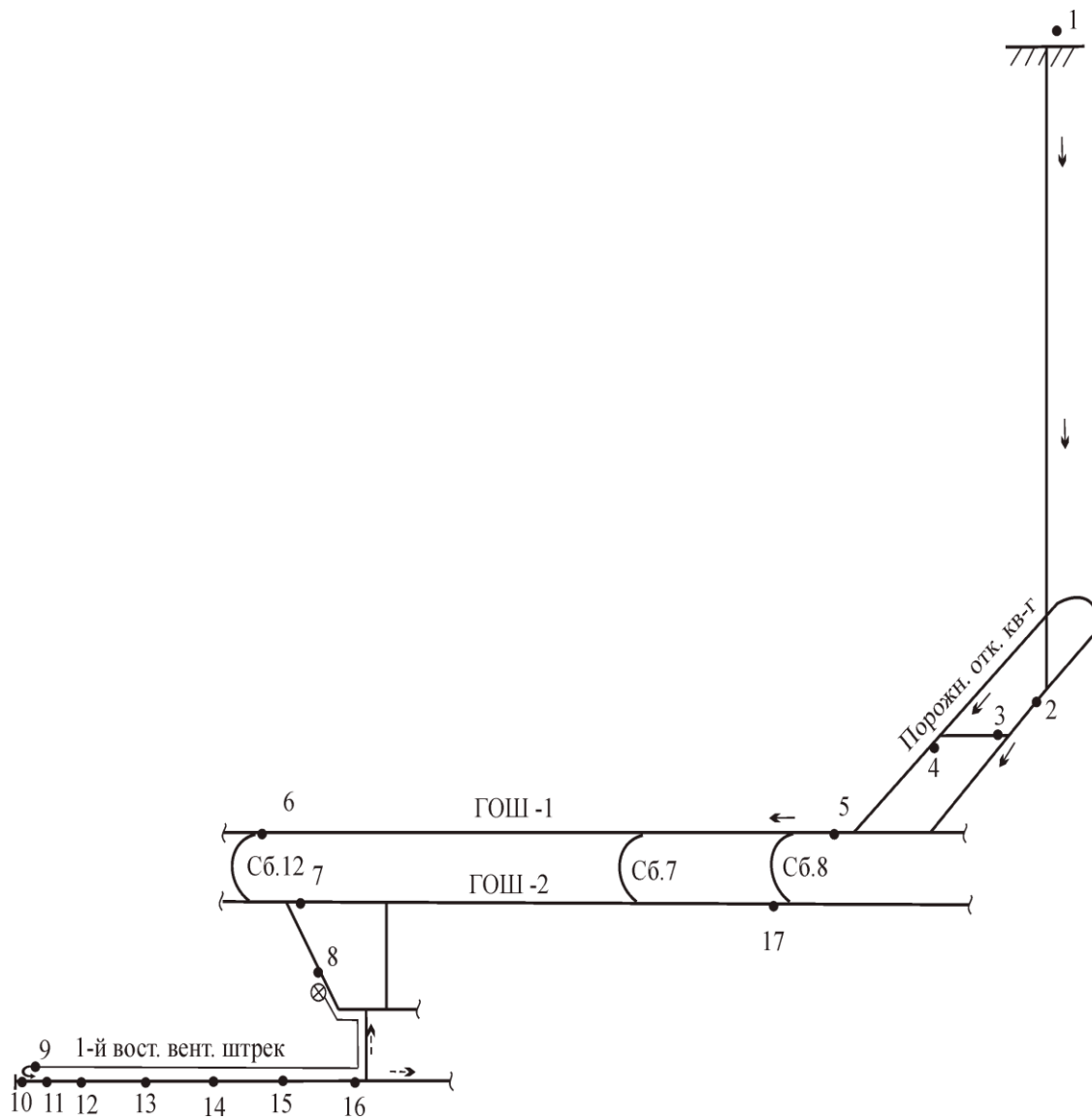


Рисунок Д.1. Схема горных выработок центрального блока шахты “Шахтерская-Глубокая” с расположением пунктов замера тепловлажностных параметров воздуха по маршруту тепловой съемки



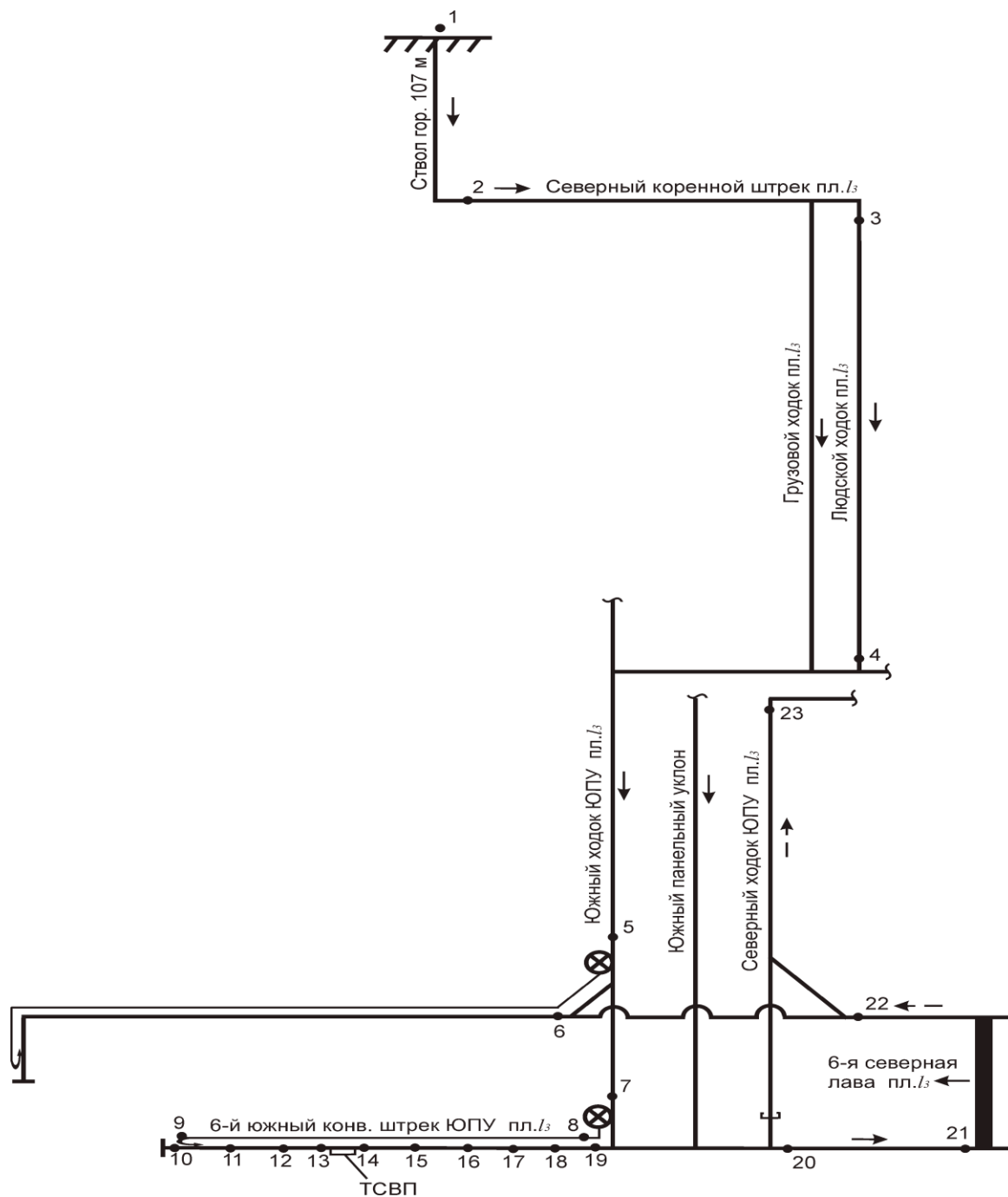


Рисунок Д.2. Схема замеров тепловлажностных параметров воздуха по маршруту 6-го южного конвейерного штрека пл.ІІІ ш. “Алмазная” ГП “Добропольеуголь”

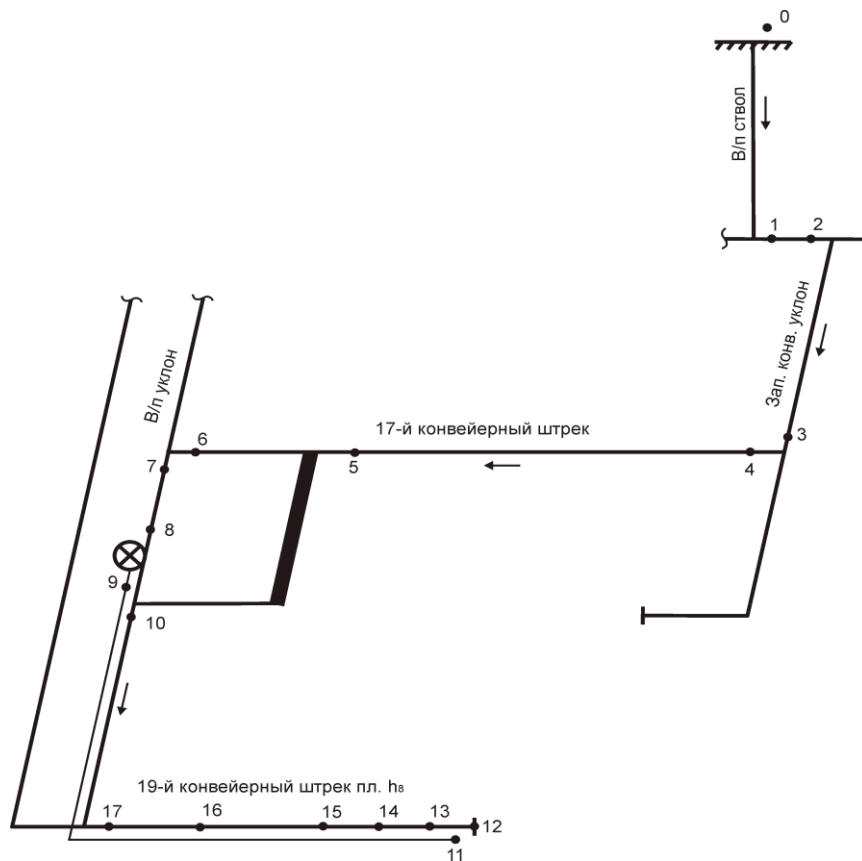


Рисунок Д.3. Схема расположения пунктов замеров тепловлажностных параметров воздуха 19-го конвейерного штрека пл.  $h_8$  шахты им. М.В.Фрунзе ГП “Ровенькиантрацит”

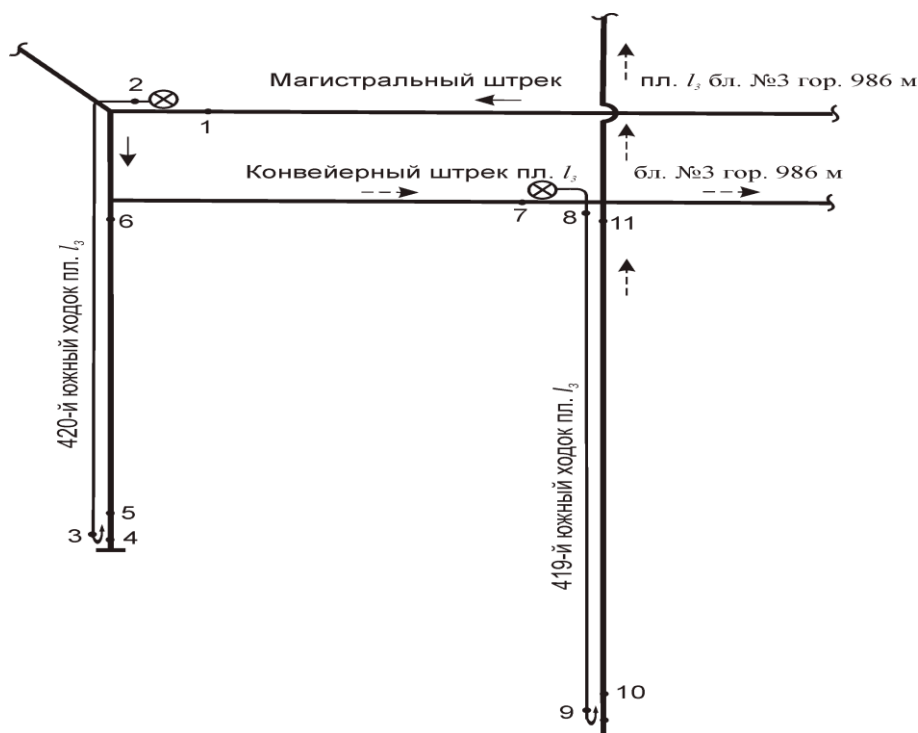


Рисунок Д.4. Схема замеров тепловлажностных параметров воздуха по маршруту 419 и 420 южных ходков пл.  $l_3$  гор. 986 м ш. им. А.Г.Стаханова ГП “Красноармейскуголь”

## Исходные данные для проверочных тепловых расчетов по тупиковым выработкам обследованных шахт

Таблица Д. 1.

Показатели	Ед. изм.	Наименование шахты			
		Ш. «Шахтерская-Глубокая», 1-й вост. вент. штрек	Ш. «Алмазная», 6-й южный конв. штрек ЮПУ пл. $l_3$	Ш. им. Фрунзе, 19-й конв. штрек пл. $h_8$	Ш. им. А. Стаханова, 420-й южный ходок пл. $l_3$ , блок № 3
1	2	3	4	5	6
Геотермическая ступень	м/°С	39,8	34,7	53,9	34,2
Температура земной поверхности	°С	9,0	9,9	10,2	10,0
Длина выработки	м	445	1215	500	435
Глубина начала выработки	м	1298	905	757,2	997,6
Глубина конца выработки	м	1298	880	756,8	1047,8
Сечение выработки	м <sup>2</sup>	9,8	11,2	12,8	5,7
Скорость проведения выработки	м/мес	80	60	90	160
Тип крепи выработки	-	Арочное	Арка+анк. кр.	Арочное	Арочное
Породы кровли	-	Гл. сланцы	Гл. сланцы	Песч. сланцы	Гл. сланцы
Породы почвы	-	Гл. сланцы	Гл. сланцы	Песч. сланцы	Гл. сланцы
Мощность пласта	м	1,22	1,3	1,55	1,3
Диаметр воздухопровода	м	0,8	0,8	1,0-0,8	1,0
Материал труб	-	Прорезинен.	Прорезинен.	Прорезинен.	Прорезинен.
Длина звена труб	м	20	20	20	20
Отставание труб от забоя	м	8	8	8	8
К-т утечек в трубопроводе	-	1,41	1,8	1,46	3,16
Вентилятор (тип, вид энергии)	-	ВМЦ-8 ВМЭ 2-8	ВМЭ 2-8	ВМЭ 2-10	ВМЭ 2-8
1	2	3	4	5	6
Напор вентилятора	дПа	410	510	600	440

Расход воздуха через вентилятор	м <sup>3</sup> /мин	523	460	243	653
Кол-во местных источников тепла в П.З.	шт.	1 (КСП-32)	1 (КСП-32)	2 П110, СП 202	1 (КСП-32)
Мощность двигателей источников (1й, 2й, 3й)	кВт	110	110	110;55	110
К-ты загрузки источников тепла	-	0,25	0	0,1	
Кол-во местных источников тепла в выработке	шт.	1 (1 ЛТП-800К)	ТСВП-400, 1 ЛТ 100	ГВАРЕК 1Л 1000	1ЛТ80
Мощность двигателей источников тепла	кВт	75	75×2	55;55	55
К-ты загрузки источников тепла	-		0	0	0
Конвейер (факт. производ.)	т/час	30	5	20	0
Состав бригады	чел.	5	10	5	6
Стенки выработки (мокрые/сухие)	-	Сухие	Сухие	Сухие	Сухие
Стенки забоя (мокрые/сухие)	-	Сухие	Сухие	Сухие	Сухие
Температура перед ВМП	°С	26,1	25,4	28,2	21,8
Влажность перед ВМП	%	90	87	70	91
Относит. влажность в П.З.	%	64	53	59	48
Относит. влажность на выходе из выработки	%	68	68	56	57

## Приложение Е

### Теплофизические характеристики крепежных и изоляционных материалов

Таблица Е.1

Наименование материалов	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплофизические свойства		
		$\alpha \cdot 10^7$ , м <sup>2</sup> /с	$c$ , Дж/кг·°С	$\lambda$ , Вт/м·°С
Бетон	1900-2270	5,55-6,34	883,4	0,93-1,28
Пенобетон	400-600	3,7-4,17	1046,6	0,17-0,23
Бетон сухой	2180	3,05	1130,4	0,76
Железобетон	2200-2400	7,5-7,6	837,4	1,39-1,51
Шлакоблок	2150	4,9	879,2	0,93
Бутовая кладка	1700-2200	6,5-7,6	837,4	0,93-1,39
Шлак гранулированный	500-600	3,08-3,86	753,6	0,12-0,17
Кирпич красный обожженный	1400-1300	4,5-5,6	921,1	0,58-0,93
Кирпичная кладка влажная	1960	5,41	921,1	0,98
Дерево	500-800	1,1-1,2	2512,1	0,14-0,23
Дуб, перпендикулярно волокнам	780-820	1,05-1,14	2512,1	0,21-0,23
То же, параллельно волокнам	780-820	1,78-1,97	2512,1	0,35-0,41
Сосна и ель, перпендикулярно волокнам	580-620	0,9-1,03	2721,4	0,14-0,17
То же, параллельно волокнам	580-620	2,05-2,28	2721,4	0,33-0,38
Стекловолокно	200	2,66-7,97	233,4	0,035-0,11
Шлаковата	200-300	2,61-3,61	759,6	0,04-0,08
Пенопласт (ФРП-1, резопен)	75-100	2,91-3,61	1590,9	0,043-0,046
Пенополистирол ПСБ-С	50	4,55	1674,7	0,038
Перлитопластбетон	230	1,56	1339,8	0,047
Пенополиуретан ППУ-6	60	4,19	1507,2	0,038
Минеральная вата	250-400	2,22	1046,6	0,058-0,093
Минеральный войлок	250-350	2,53-2,66	1046,6	0,07-0,093

## Приложение Ж.

### Технические характеристики калориферов Кременского завода «Ритм»

Калориферы пластинчатые оцинкованные (ТУ 29.7.02969099-001-2007)

Таблица Ж.1.

Обозначение	Размеры			Площадь поверх- ности тепло- обмена	Произво- дит. по теплу, кВт	Цена в гривнах с уче- том НДС		Аналог
	В	А	L			Калори- феры оцинко- ванные	Секции калори- ферные не оцин- кованные	
ВНВ311-412-01УХЛЗ	1703	1551	1774	160,49	497,4	14964	7452	
ВНВ311-410-01УХЛЗ	1703	1051	1774	107,08	323,6	9984	5004	КВБ-11 БП
ВНВ311-406-01УХЛЗ	1203	551	1276	37,48	115,7	3834	1836	КВБ-10 БП
ВНВ311-405-01УХЛЗ	953	551	1026	29,34	88,0	3108	1632	КВБ-9 БП
ВНВ311-404-01УХЛЗ	828	551	901	25,29	74,6	2676	1416	КВБ-8 БП
ВНВ311-403-01УХЛЗ	703	551	776	21,22	61,8	2364	1260	КВБ-7 БП
ВНВ311-402-01УХЛЗ	578	551	651	17,22	48,5	2046	1104	КВБ-6 БП
ВНВ311-312-01УХЛЗ	1703	1551	1774	120,36	412,0	11256	5754	КВС-12 БП
ВНВ311-310-01УХЛЗ	1703	1051	1774	80,3	274,9	7506	3846	КВС-11 БП
ВНВ311-306-01УХЛЗ	1203	551	1276	28,11	96,8	2754	1536	КВС-10 БП
ВНВ311-305-01УХЛЗ	953	551	1026	22,02	73,6	2220	1216	КВС-9 БП
ВНВ311-304-01УХЛЗ	828	551	901	18,96	62,2	2028	1098	КВС-8 БП
ВНВ311-303-01УХЛЗ	703	551	776	15,92	51,2	1818	984	КВС-7 БП
ВНВ311-302-01УХЛЗ	578	551	651	12,92	40,57	1578	864	КВС-6 БП

Калориферы с биметаллическим спирально-накатным алюминиевым  
оремением (ТУ 29.7.02969099-001-2007)

Таблица Ж.2.

Обозначение	Размеры			Производительность по воздуху, м.куб.	Производ. по теплу, кВт	Поверхность теплообмена, м.кв.	Цена, с НДС грн.	Аналог
	В	А	Л					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ВНВ113-201-06УХЛЗ	578	425	650	2000	27,6	6,7	798	КСК 2-5
ВНВ113-202-06УХЛЗ	703	425	775	2500	35,9	8,4	984	
ВНВ113-202-06МУХЛЗ	578	551	650	2700	38,3	9,1	1008	КСК 2-6
ВНВ113-203-06УХЛЗ	703	551	775	3150	49,7	11,3	1278	КСК 2-7
ВНВ113-204-06УХЛЗ	828	551	900	4000	63,2	13,5	1368	КСК 2-8
ВНВ113-205-06УХЛЗ	1078	551	1150	5000	84,6	17,9	2418	
ВНВ113-205М-06УХЛЗ	997	551	1045	4400	77,0	15,4	1830	КСК 2-9
ВНВ113-206-06УХЛЗ	1203	551	1275	6300	103,4	20,1	2004	КСК 2-10
ВНВ113-210-06УХЛЗ	1703	1051	1775	16000	285,1	59,2	4926	КСК 2-11
ВНВ113-211-06УХЛЗ	1703	1301	1775	20000	373,8	74,3	6084	
ВНВ113-212-06УХЛЗ	1703	1551	1775	25000	460,7	89,4	7224	КСК 2-12
ВНВ113-301-06УХЛЗ	578	425	650	2000	35,7	10,3	996	КСК 3-5
ВНВ113-302-06УХЛЗ	703	425	775	2500	46,2	12,8	1224	
ВНВ113-302М-06УХЛЗ	578	551	650	2700	49,0	13,8	1278	КСК 3-6
ВНВ113-303-06УХЛЗ	703	551	775	3150	64,4	17,3	1788	КСК 3-7
ВНВ113-304-06УХЛЗ	828	551	900	4000	82,0	20,6	1938	КСК 3-8
ВНВ113-305-06УХЛЗ	1078	551	1150	5000	109,9	27,3	2640	
ВНВ113-305М-06УХЛЗ	997	551	1045	4400	100,0	23,4	2544	КСК 3-9
ВНВ113-306-06УХЛЗ	1203	551	1275	6300	135,2	30,7	2868	КСК 3-10
ВНВ113-310-06УХЛЗ	1703	1051	1775	16000	366,8	89,4	7248	КСК 3-11

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ВНВ113-311-06УХЛЗ	1703	1301	1775	20000	483,6	112,1	8904	
ВНВ113-312-06УХЛЗ	1703	1551	1775	25000	596,2	134,8	10788	КСК 3-12
ВНВ113-401-06УХЛЗ	578	425	650	2000	44,2	13,5	1278	КСК 4-5
ВНВ113-402-06УХЛЗ	703	425	775	2500	57,3	16,8	1584	
ВНВ113-402М-06УХЛЗ	578	551	650	2700	60,6	18,1	1716	КСК 4-6
ВНВ113-403-06УХЛЗ	703	551	775	3150	79,5	22,7	2376	КСК 4-7
ВНВ113-404-06УХЛЗ	828	551	900	4000	101,8	27,1	2550	КСК 4-8
ВНВ113-405-06УХЛЗ	1078	551	1150	5000	135,7	35,9	3396	
ВНВ113-405М-06УХЛЗ	997	551	1045	4400	124,7	30,8	3276	КСК 4-9
ВНВ113-406-06УХЛЗ	1203	551	1275	6300	167,5	40,3	3990	КСК 4-10
ВНВ113-410-06УХЛЗ	1703	1051	1775	16000	453,7	118,4	9426	КСК 4-11
ВНВ113-411-06УХЛЗ	1703	1301	1775	20000	496,4	148,6	11550	
ВНВ113-412-06УХЛЗ	1703	1551	1775	25000	737,5	178,9	14154	КСК 4-12

(Цены на калориферы приведены по состоянию на 02.01.2013 года).



## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. НПАОП 10.0-1.01-10. Правила безпеки у вугільних шахтах. – К.: Держнаглядохоронпраці України, 2010. – 400 с.
2. СОУ-Н 10.1.00174088.027:2011. Прогнозування та нормалізація теплових умов у вугільних шахтах. – [Чинний від 12.08.2011].– К.: Міненерговугілля України, 2011. – 184 с.
3. Щербань А.Н. Руководство по регулированию теплового режима шахт / А.Н. Щербань, О.А. Кремнёв, В.Н. Журавленко; - Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Недра, 1977. – 359 с.
4. Единая методика прогнозирования температурных условий в угольных шахтах/ под ред. В.А. Кузина, Н.Н. Хохотвы. – [Чинний від 29.12.1978].– Макеевка –Донбасс, МакНИИ.: Минуглепромом СССР, 1979. – 196 с.
5. Карслоу Г. Теплопроводность твёрдых тел. Перевод со второго англ. Издания / Г. Карслоу, Д. Егер. – М.: Наука, 1964. – 315с.
6. Лыков А.В. Теплопроводность нестационарных процессов / А.В. Лыков. – М.: Госэнергоиздат, 1948. – 477 с.
7. Воропаев А.Ф. Тепловое кондиционирование рудничного воздуха в глубоких шахтах / А.Ф. Воропаев. – М.: Недра, 1977. – 192 с.
8. Щербань А.Н. Научные основы расчёта и регулирования теплового режима глубоких шахт/ А.Н. Щербань, О.А. Кремнёв. - К.: изд. АН Украины, том 1 - 1959. – 430 с.; том 2 – 1960. -347 с.
9. Кремнёв О.А. Нестационарная теплопроводность полых тел, ограниченных круговой цилиндрической поверхностью, при заданном законе её теплообмена с охлаждающей или нагревающей средой / О.А. Кремнёв. – М.: Доклады АН СССР, нов. серия. – 1952. – Том 85, № 5.
10. Кириллин В.А. Техническая термодинамика / В.А. Кириллин, В.В. Сычев, А.Е. Шейдлин. – М.: Наука, 1979. – 512 с.
11. Щербань А.Н. Свойства влажного воздуха при давлении 500-1000 мм рт.ст. Таблицы и диаграммы. / А.Н. Щербань, О.А. Кремнев, Н.М. Титова. – 2-е изд., М.: Госгортехиздат, 1963. – 132 с.
12. Шайхлисламова И.А. Основы кондиционирования рудничного воздуха: учеб. пособие / И.А. Шайхлисламова. – Д.: Национальный горный университет, 2011. – 144 с.
13. Кузин В.А. Метод расчета тепловых условий в горных выработках глубоких шахт / В.А. Кузин, Н.Н. Хохотва, Л.В. Николаенко // Сб. охлаждение воздуха в угольных шахтах. Вып 15. - Макеевка-Донбасс: изд. МакНИИ, 1977. – С. 35-39.

14. Руководство по проведению тепловых съемок в угольных шахтах. Утв. Минуглепромом СССР 11.10.1981. – Макеевка-Донбасс: изд. МакНИИ, 1982. – 68с.
15. Кузин В.А. Уточнение методики прогнозирования температуры воздуха в лавах при разработке крутых пластов / В.А. Кузин, В.Р. Алабьев// Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах. Сб. науч. тр. – Макеевка: изд. МакНИИ, 1995. – С.151-158.
16. Ушаков К.З. Справочник по рудничной вентиляции /К.З. Ушаков. – М.: Недра, 1977. – 204с.
17. ДНАОТ 1.1.30-6.09.93. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. Утв. Государственным комитетом Украины по надзору за охраной труда. К.: Основа, 1994. – 312с.
18. Инструкция по расчету количества воздуха, необходимого для проветривания действующих угольных шахт. М.: Недра, 1975. – 80с.
19. Методика прогнозирования температурных условий в выработках вентиляционных горизонтов глубоких шахт/ Утв. Минуглепромом СССР 10.04.1984. –Макеевка-Донбасс: изд. МакНИИ, 1984. – 59 с.
20. Николаев Ю.Н. Исследование нестационарного теплообмена в слое кусков руды./ Ю.Н. Николаев // Сб. Проблемы разработки месторождений полезных ископаемых Севера. – Л.: ЛГИ, 1970. – С. 38-39.
21. Кузин В.А. Исследование процессов нестационарного теплообмена в выработанном пространстве выемочных участков /Кузин В.А. Физико-технические проблемы горного производства: сб. научн. трудов. Выпуск 11.- Донецк: Институт физики горных процессов НАН Украины, 2008. С.58-68.
22. Бусыгин В.К. Закономерности изменения концентрации метана в выработанном пространстве вблизи очистной выработки /К.К. Бусыгин, И.Н. Зинченко, И.Н. Попов // В кн. Вентиляция шахт и рудников. Межвузовский сб., вып.5. – Л.: ЛГИ, 1978. – С.42-47.
23. Гухман А.А. Применение теории подобия к исследованию процессов тепло- и массообмена/А.А. Гухман. – М.: Высшая школа, 1974. – 328с.
24. Тихонов А.Н. Уравнения математической физики / А.Н. Тихонов, А.А. Самарский. – М.: Наука, 1972. – 736с.
25. Лыков А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков. – М.: Высшая школа, 1967. – 600с.
26. Исследовать тепломассообменные процессы на вентиляционных горизонтах с исходящей струей шахт, разрабатывающих крутые пласты: Отчет о НИР (заключ.) / МакНИИ; рук. В.А. Кузин. – Макеевка: МакНИИ, 1984. Том 1. – 114с., Том 2. – 102с. – № ГР 81082998.

27. Милетич А.Ф. Утечки воздуха и их расчет при проветривании шахт/ А.Ф. Милетич. – М.: Недра, 1968. – 109с.
28. Шербань А.Н. Методы расчета температуры вентиляционной струи при переменном расходе воздуха по длине выработки/ А.Н. Шербань, В.П. Черняк, Н.А. Брайчева// Доклады АН УССР, сер.А, 1975. – №11. – С.1047-1051.
29. Кузин В.А. Прогноз температуры вентиляционной струи с учетом теплопритоков из выработанного пространства / В.А. Кузин, М.М. Пучков// сб. Разработка месторождений полезных ископаемых. – Вып.59. – К.: Техника, 1981. – С.29-33.
30. Ягельский А.Н. Тепловые расчеты вентиляционного воздуха выработок с тупиковым забоем в глубоких угольных шахтах. – М.: Госгортехиздат, 1960.- 144с.
31. Баратов Э.И. Способ прогноза тепловых условий в выработках с тупиковым забоем. – В кн. Теплообмен и гидродинамика./ Баратов Э.И., Малашенко Э.Н. – К.: Изд. АН УССР, 1964. – С. 49-58.
32. Дуганов Г.В. Проветривание тупиковых выработок большой длины./ Дуганов Г.В. и др. – М.: Недра, 1968. – 74 с.
33. Гербут К.К. Исследование процесса теплообмена в забое тупиковой горной выработки / К.К. Гербут, А.М. Гушин// Тр. ДонУГИ. – М.: Недра, 1969, №44. – С. 213-215.
34. Баратов Э.И. Тепловые расчеты и способы охлаждения рудничного воздуха при строительстве глубоких шахт /Э.И. Баратов, В.П. Черняк. – М.: Недра, 1968. – 122 с.
35. Щербань А.Н. Нестационарный теплообмен в тупиковых горных выработках / А.Н. Щербань, Л.Б. Зимин, Э.Н. Малашенко // В кн.: Борьба с высокими температурами в угольных шахтах и рудниках. Тез. докл. на Всесоюзн. научно-техн. совещ. – М.: Недра, 1973. – С.31-39.
36. Зимин Л.Б. Теплообмен и прогноз тепловых условий в тупиковых горных выработках / Л.Б. Зимин, Э.Н. Малашенко // В кн.: Физические процессы горного производства. Вып.1 – Л.: Изд. ЛГИ. – 1974. – С.87-91.
37. Краморов А.С. Значения относительной влажности воздуха в тупиковых выработках /А.С. Краморов, Н.С. Бодня// Охлаждение воздуха в шахтах: сб. научн.тр. – Вып.4 – Макеевка-Донбасс: МакНИИ, 1975. – С.54-56.
38. Зимин Л.Б. К вопросу теплообмена в призабойных зонах тупиковых горных выработок глубоких шахт.- Докл. АН УССР, сер.А, 1976, №5. –С.464-466.
39. Методика прогнозирования температурных условий в выработках, проветриваемых с помощью вентиляторов местного проветривания /Утв. Минуглепромом СССР 22.12.1982. – Макеевка-Донбасс: изд. МакНИИ, 1982. –33с.

40. Малашенко Э.Н. Методы тепловых расчетов тупиковых горных выработок / Э.Н. Малашенко, Л.Б. Зимин // В кн.: Тепловой режим глубоких угольных шахт и металлических рудников. – К.: Наук. Думка, 1977. – С.101-117.
41. Экспресс-методика прогнозирования температуры воздуха в выработках глубоких шахт Донбасса. Утв. Минуглепромом СССР 18.0901985. – Макеевка-Донбасс: МакНИИ, 1985. – 59с.
42. Кузин В.А. Тепловой расчет тупиковых выработок при нагнетательной схеме проветривания / В.А. Кузин // Сб. научн. трудов НГУ, №19, Том 3. – Днепропетровск: Наука и образование, 2004. – С.25-30.
43. Кузин В.А. Тепловой расчет тупиковых подготовительных выработок / В.А. Кузин, В.Р. Алабьев, А.М. Брюханов // 10-я сессия МБГТ: Польша, Гливице: изд. Инст. геотехнологии, геофизики и экологии, 2005. – С.339-346.
44. Стефанов Т.П., Вельчев Н.С. Расчет температуры воздуха при нагнетательном проветривании тупиковых горных выработок. / Т.П. Стефанов, Н.С. Вельчев // В кн. XIV Межд. конференция научно-исследовательских институтов по безопасности в угольной промышленности. Тез. докл. – Варна, 1971. – С.134-139.
45. Cifka I. Eine Methode zur Berechnung der Erwärmung der in einer mit Luffenstrang bevettem Strecke strömenden Luft / I.Cifka, F. Runkaj // – Publ. Hung. Mining Res.Inst., 1977, №20. – С. 211-219.
46. Кралев Д. Методика прогнозирования температуры воздуха при проходке горизонтальной выработки / Д. Кралев // – София: Рудодобив., 1980, №11. – С.13-17.
47. Shhnitters G. Ein neues EDV-Programm zur Klimavoransberechnung für Sonder-bewetterte Grubenbane / G.Shhnitters // Gluchauf-Forschungshefte, 1980, №5. – С.197-203.
48. Voss I. Neue Forschungsergebnisse auf dem Gebiet «Grubenlima» / Voss I. // – Gruchauf- Forschungshefte, 1981, 42, №6. – С. 241-249.
49. Аверин Г.В. Прогноз и нормализация теплового режима при комбайновом проведении тупиковых выработок угольных шахт/ Г.В. Аверин// автореф. дис. на соискание уч. степени к.т.н. – Макеевка: Макеевка-Донбасс, 1986. – 276с.
50. Воропаев А.Ф. Тепловое кондиционирование рудничного воздуха в глубоких шахтах /А.Ф. Воропаев // – М.: Недра, 1979. – 192с.
51. ДСП 3.3.1.095-02. Державні санітарні правила і норми. Підприємства вугільної промисловості. – Київ: МОЗ України, 2003.
52. Шувалов Ю.В. Опыт и совершенствование регулирования теплового режима шахт и рудников ФРГ/ Ю.В. Шувалов, В.А. Кузин, Н.Н. Худяков.- М.: Недра, 1990. – 47с.

53. Единые нормы выработки (времени) для шахт Донецкого и Львовско-Волынского угольных бассейнов. – М: Минуглепром СССР. – 1981. – 624с.
54. Програма «Українське вугілля»/ Уголь Украины, октябрь 2001. – С.7-38.
55. Выполнить дифференцированный прогноз тепловых условий шахт Донбасса на период до 1995 г.: отчёт по НИР/ Макеевка – Донбасс; рук. В.А. Кузин. – МакНИИ, 1988. – 163с. – №ГР 01850045747. – Инв.№ 4169.
56. Разработать руководство по выбору горнотехнических способов нормализации тепловых условий на выемочных участках глубоких шахт: отчёт по НИР/ Макеевка; рук. В.А. Кузин. – МакНИИ, 1994. – 152с. – №ГР UA 01003289P. – Инв.№4578.
57. Руководство по выбору горнотехнических способов нормализации климатических условий на выемочных участках глубоких шахт [Действует от 14.12.1994].– Утв. Минуглепромом Украины 14.12.1994. – Макеевка-Донбасс: МакНИИ, 1995. – 44с.
58. Проблемы разработки крутых и крутонаклонных пластов на больших глубинах: Учебн. пособие для вузов/ Под. ред. С.С. Гребёнкина, С.В. Янко. – Донецк: ОАО «УкрНТЭК», 2002. – 288с.
59. Иванов И.Ф. Средства выемки и крепления забоев тонких крутых пластов/ И.Ф. Иванов, А.Ф. Булат и др.//Справочное пособие. – К.: Техника, 1992.–133с.
60. Исследовать тепломассообменные процессы на вентиляционных горизонтах с исходящей струей воздуха шахт, разрабатывающих крутые пласты: отчёт по НИР. / Рук. В.А. Кузин. – Макеевка: МакНИИ, 1984. – 114с. – №ГР 81082998.
61. Кузин В.А. Влияние отбитого угля на формирование тепловых условий в лавах крутых пластов/ В.А.Кузин, В.Р.Алабьев // Безопасная эксплуатация оборудования и машин в угольных шахтах: Сб. научн. трудов.- Макеевка: изд. МакНИИ, 1982. – С.151-157.
62. Горная энциклопедия/ Гл.редактор Е.А.Козловский.- М.: Сов. Энциклопедия. Том 2. Геосферы – Кенай, 1985. – 575с.
63. Кузин В.А. Перспективы нормализации климатических условий на глубоких шахтах Центрального района Донбасса /В.А. Кузин, А.А. Мартынов, В.А. Александров // – Уголь Украины, 1991. – № 4. – С.19-25.
64. Технологические схемы разработки пластов на угольных шахтах. Часть 1. Технологические схемы. Часть 2. Набор модулей и пояснительная записка. – М.: ИГД им. Скочинского, 1991. ч.1– 201с.; ч.2 – 413с.
65. Стукало В.А. Учёт влияния тепловыделения от транспортируемого ископаемого на теплоприращение воздуха в выработках глубоких шахт/ В.А. Стукало, А.П.Тельной // Сб. Разработка месторождений полезных ископаемых. Вып. 18. – К.: изд. Техника, 1970. – С. 109-111.

66. Щербань А.Н. Кондиционирование рудничного воздуха / А.Н. Щербань, А.Н. Ягельский. – М.: Углетехиздат, 1956. – 352 с.

67. Шайхлисламова И.А. Рациональные технические решения по улучшению тепловых условий на рабочих местах глубоких шахт / И.А. Шайхлисламова, С.А. Алексеенко, В.И. Муравейник // Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників – 2010». – Д.: Національний гірничий університет, 2010. – С.239-246.

68. Шайхлисламова И.А. Классификация способов и средств нормализации микроклимата глубоких шахт / И.А. Шайхлисламова, С.А. Алексеенко / Сталій розвиток і штучний холод: Збірник наукових праць VIII Міжнародної науково-технічної конференції 8-10 жовтня 2012 р; Одеса: Одеська державна академія холоду. – Херсон: Гринь Д.С., 2012. – С. 501-505.

69. Лапшин А. А. Снижение температуры воздуха в тупиковых выработках шахт путем охлаждения вентиляционной струи в забоях /А. А. Лапшин // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут. Зб. наук. праць. – К.: КТТУ «КП», 2008 – Вип. 16. – С.124-130.

70. Лапшин А.Е. Кондиционирование воздуха на глубоких горизонтах шахты «Эксплуатационная» ЗЖРК /А.Е. Лапшин, А.А. Немченко, И.Б. Ошмянский, В.А. Коновалюк, А.А. Лапшин // Вісник КТУ. – Кривий Ріг. 2010. – Вип. 25.

71. А.с. 1170160 СССР, МКИ E21F1/00. Способ кондиционирования воздуха в выработках выемочного участка глубокой шахты /В.А. Кузин, М.М. Пучков, Б.В. Балинский, Г.М. Цурпал (СССР). – № 3624715/22-03. заявл. 27.04.1983; опубл. 30.07.1985, Бюл. №28.

72. А.с. 1469177 СССР, МКИ E21F3/00. Способ кондиционирования воздуха в выработках выемочного участка глубокой шахты / В.А. Кузин, А.А. Мартынов, Г.М. Цурпал, А.С. Розенберг (СССР). – № 4262785/22-03; заявл. 16.06.1987; опубл. 30.03.1989, Бюл. №12.

73. Железный В.П. Рабочие тела парокomppressorных холодильных машин: свойства, анализ, применение: моногр. В.П. Железный, Ю.В. Семенюк. – Одеса: Фенікс. – 2012. – 420с.

74. Алабьев В.Р. Прогноз и разработка мер по регулированию теплового режима глубоких шахт на персональных ЭВМ /В.Р. Алабьев, В.А. Кузин // Уголь Украины, 2001. – №6. – С.30-31.

75. Алексеенко С.А. Альтернативная энергосберегающая система кондиционирования воздуха глубоких шахт / С.А. Алексеенко, В.А. Долинский, В. И. Муравейник А. Г. Бутырин // Сб. науч. тр. НГУ. – Днепропетровск: НГУ, 2004. – №19, Т.3. – С.56-65.

76. Алексеенко С.А. Альтернативный способ и подземная система кондиционирования воздуха для глубоких шахт /С.А. Алексеенко, И.А. Шайхлисламова //

Холодильная техника и технология, ОАХУ. – Одесса. – №5, 2005. – С.15-19.

77. Муравейник В.И. Способ улучшения теплового режима глубоких шахт /В.И. Муравейник, Т.Н. Стрижка, Т.А. Буйденко// Техника безопасности, охрана труда и горноспасательное дело. – 1972. – № 9. – С.6-8.

78. Пат. 53467 Україна, МПК 7 E21F 3/00. Спосіб кондиціонування рудникового повітря і установка для його здійснення/ В.І. Муравейник, С.О. Алексеєнко, І.А. Шайхлісламова та ін. (Україна). – №2002064680; заявл. 07.06.2002; опубл. 15.12.2006, Бюл. №12.

79. Алабьев В.Р. Результаты внедрения комплекса холодильного оборудования мощностью 1 МВт на шахте «Щегловская – Глубокая»/ В.Р. Алабьев, В.А.Кузин, К.В.Скрыль, А.И.Кухно. Уголь Украины. – 2010. №6. – С.39-43.

80. Проект привязки и эксплуатации установки кондиционирования воздуха шахтной автоматизированной машиной МХРВ-1 для охлаждения воздуха в очистных забоях пласта m<sub>3</sub> шахты «Щегловская-Глубокая» ГОАО «Шахтоуправление Донбасс». – Донецк: Шахтоуправление «Донбасс», 2006. – 158с.

81. Методика определения потерь, связанных с неблагоприятными тепловыми условиями в угольных шахтах. – Донецк: ИЭП АН УССР, 1982. – 42с.

82. Інвестиційний проект з підвищення техніки безпеки на шахті «Щегловська-Глибока» ВАТ «Шахтоуправління «Донбас». – Донецк: Шахтоуправление «Донбасс», 2009.

83. Методика определения экономической эффективности использования в угольной промышленности новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. – М.: 1979. – 121с.

84. Методические рекомендации по физиологической рационализации труда горнорабочих глубоких шахт. – Донецк: Донецкий НИИ гигиены труда и профзаболеваний, 1976. – 35с.

85.Режим труда горнорабочих угольных шахт (методические рекомендации). – Донецк: Донецкий НИИ гигиены труда и профзаболеваний, 1980. – 19с.

86. Физиологическая характеристика труда горнорабочих глубоких шахт Донбасса (методические рекомендации). – Донецк: Донецкий НИИ гигиены труда и профзаболеваний, 1973. – 18с.

87. Пашковский П.С. Охлаждающие жилеты с соляными поглотителями теплоты /П.С. Пашковский, Т.А. Лазаренко //Уголь Украины, №2, 2011. – С.32-34.

88. Пашковский П.С. Методы и средства индивидуальной противотепловой защиты /П.С. Пашковский, В.Н. Попов, И.Ф. Марийчук // Чрезвычайные ситуации, предупреждение и ликвидация: сб. тез. докл. IV Междунар. научн.-практ. конф. – Минск, 2007. – С.91-93.

89. Попов В.Н. Параметры стационарного контейнера для хранения водоледяных аккумуляторов холода / В.Н. Попов, В.А. Кузин, А.А. Онасенко, П.С.

Воронов // Горноспасательное дело: Сб. научн. тр. НИИГД. – Донецк, 2006. – Вып. 43. – С.146-153.

90. СОУ 010-10.1.00174102-015-2010. Засоби індивідуального протитеплового захисту гірників. Загальні технічні вимоги і методи випробувань / – Київ: Міненерговугілля України. – 34с.

91. Воронов П.С. Средства обеспечения противотепловой одежды горноспасателей с использованием сжатого воздуха /П.С. Воронов, В.А.Кузин // – Уголь Украины, №2, 2007. – С.25-27.

92. Алексеенко С.А. Средства противотепловой защиты горнорабочих в глубоких шахтах /С.А. Алексеенко, И.А. Шайхлисламова, А.А. Гаврилко, И.Ф. Марийчук// Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць / Ін-т Геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип.103. – С.9-18.

93. А.с. 359416 СССР, МКИ Е 21 F 11/00. Устройство для защиты рабочих от перегрева / В.И. Муравейник, Г.В. Дуганов (СССР). - № 1295393/22-3; заявл. 07.01.69; опубл.1972. Бюл. №35.

94. А.с. 365477 СССР, МКИ Е 21 F 11/00. Устройство для защиты рабочих от перегрева /В.И. Муравейник, Г.В. Дуганов, И.П. Олейник, П.Н. Стрижка (СССР). – № 1295872; заявл. 07.01.1969; опубл. 1973. Бюл. №6.

95. Пат. 70653 Україна, МПК6 E21F3/00, E21F11/00. Установа для захисту робітників від перегрівання /В.І. Муравейник, С.О. Алексеенко, І.А. Шайхлісламова, В.І. Король, Національний гірничий ун-т. – №20031211992; заявл. 22.12.03; опубл. 25.06.2007, Бюл. №9.

96. Алексеенко С.А. Передвижная установка для тепловой релаксации и временного укрытия горняков при чрезвычайных ситуациях в шахтах/ С.А. Алексеенко, И.А. Шайхлисламова// Чрезвычайные ситуации: промышленная и экологическая безопасность. Краснодар, межд. науч.-прак. журнал, №1-2(13-14), 2013. – С.42-49.

97. Алексеенко С.А. Мобильная установка для спасения и защиты рабочих от перегрева при пожарах и взрывах в угольных шахтах / С.А. Алексеенко, В.И. Бондаренко, С.Н. Смоланов, В.И. Муравейник// Сб.науч.тр. МакНИИ Т.2, 2005. – С. 66-69.

98. Скрыпников В.Б. Энергосберегающая технология системы микроклимата промышленного объекта/ В.Б. Скрыпников// Днепропетровск. – РИО ПГАСА. – 2004. – 205с.

99. Алабьев В.Р. Повышение безопасности использования огневых калориферов для обогрева воздухоподающих стволов угольных шахт / В.Р. Алабьев // Сб. научн. тр. Национального горного университета №19, Т.3. – Днепропетровск, 2004. – С.100-105.



100. Алабьев В.Р. Пути развития и совершенствования технологических схем обогрева воздухоподающих стволов угольных шахт /В.Р.Алабьев // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. научн. тр. Вып.18. – Макеевка: МакНИИ, 2006. – С.104-114.

101. Пат. №147064, МКИ E21F3/00. Калорифер для нагрева воздуха, подаваемого в горные выработки шахты /Ф. Куц, Й. Лукас, В. Марек, Е. Заяц; шахта «Забже-Билховице» Польша, заявл. 07.05.85; опубл. 18.11.86.

102. Жмуровский Д.И. Технология теплоснабжения вентиляции шахт с теплоносителем «горячий воздух» /Д.И. Жмуровский, А.В. Кривошапко, Н.И. Тыдыков // – Уголь. – 2001. – № 10. – С. 19-20.

103. Пат. 52076А Україна, МКИ E21F3/00. Пристрій для підігріву повітря, що подається до шахти /О.Д. Кожушок, В.І. Полтавець, А.С. Язев; заявники і власники О.Д. Кожушок, В.І. Полтавець, А.С. Язев – №2002021046; заявл. 08.02.2002; опубл. 16.12.2002, Бюл №12.

104. Алабьев В.Р. Ресурсосберегающая технология обогрева воздухоподающих стволов угольных шахт /В.Р. Алабьев, В.И. Полтавец, А.С. Язев// Проблемы эксплуатации оборудования шахтных стационарных установок. Вып.97: Проблемы экологии и безопасности жизнедеятельности в условиях высокой техногенной нагрузки в Донбассе: сб. научн. тр. – Донецк: НИИГМ им. М.М.Федорова, 2003. – С. 51-52.

105. Пат. 63368 Україна, МКИ E21F3/00. Спосіб обігрівання повітроподавальних стовбурів / В.К. Черниченко, В.Р. Алаб'єв; заявник і власник МакНДІ. – №2003043095; заявл. 08.04.2003; опубл. 15.00.2004, Бюл. №1.

106. Скрипніков В.Б. Розробка методів раціонального використання низькопотенціальних енергоресурсів і атмосферного холоду для підвищення ефективності систем кондиціонування повітря шахт: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.15.11 «Фізичні процеси гірничого виробництва» /В.Б. Скрипніков. – Дніпропетровськ, 1998. – 32с.

107. Пат. 46503 Україна, МКИ E21F3/00. Спосіб обігріву повітроподавальних стовбурів шахт та пристрій для його здійснення /Ю.І. Баранов, Є.А. Колосов, П.К. Кудренко, В.Т. Черкун.; заявники і власники Ю.І.Баранов, Є.А.Колосов, П.К.Кудренко, В.Т.Черкун. – №2001075420; заявл. 30.07.2001; опубл. 15.05.2002, Бюл. №5. – 4 с.

108. Солдатов В.И. Обогрев воздухоподающих стволов с использованием огневых калориферов / В.И. Солдатов, С.А. Синявский // – Уголь Украины. – 2002. – №7. – С. 34-35.

109. Шемаханов М.М. Отопление шахтных стволов /М.М. Шемаханов. – М.: Госгортехиздат, 1960. – 203с.

110. Брюханов А.М. Энергосберегающая технология обогрева воздухоподающих стволов угольных шахт /А.М. Брюханов, В.Р. Алабьев, В.К. Черниченко // –Уголь Украины. – 2002. – №7. – С.20-21.

111. Ивановский И.Г. Проектирование проветривания и калориферных установок шахт: учеб. Пособие / И.Г. Ивановский. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2000. – 107с.

112. СОУ 10.1.00174088.004-2005. Системи обігріву повітроподавальних стволів вогневими калориферами з використанням метаноповітряної суміші: офіц. вид. – Макіївка: МакНДІ: М-во вугільної промисловості України, 2005. – 14с.

## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

### А

абсолютная температура, 50, 62  
абсолютная шкала температур, 326  
адиабатический процесс 21  
аэродинамические характеристики, 95

### Б

барометрическое давление, 21, 61, 68, 76, 129, 151  
бурение шпуров, 149

### В

вагонетки, 31, 32, 182  
вентилятор, 28, 39, 114, 119, 124, 131, 138, 141, 182, 190, 223, 242, 263, 273, 279, 300, 304, 310, 318, 320  
вентиляционный трубопровод, 119, 243  
влагоёмкость воздуха, 63  
влагосодержание 20, 23, 62, 76, 66, 69, 75  
влажный воздух, 60, 65  
вмещающие горные породы, 167  
водоохладитель, 237, 239, 240, 240-246, 249, 263, 274, 327  
возвратноточная схема проветривания, 161, 216  
воздухоподающий ствол 209, 236, 260-262, 264, 300  
воздухопровод, 28, 29, 49, 116-118, 123, 124, 128-130, 147, 184, 194, 210, 218, 219, 241, 242, 347  
воздухоохладитель, 124, 219, 248, 255, 263, 274, 327  
воздухораспределение, 87, 102  
время проветривания, 15, 58, 59, 78, 85, 87, 116, 167, 168, 188, 327  
выемочный участок, 82, 88, 107, 138, 326  
выработанное пространство, 83, 86, 87, 89, 90, 94, 97, 100, 102, 106, 107, 138, 139, 164, 165, 200, 203, 210, 211, 215, 216  
выработки различного назначения, 9, 11, 60, 166

### Г

газ, 21, 24, 39, 44-46, 51, 52, 60, 179, 199, 213, 225-227, 307, 308, 311, 326  
газификация, 304, 305

газовая смесь, 61, 64  
газовые шахты, 218  
газогенератор, 305  
газообразное топливо, 309, 314  
геотермический градиент 15, 18, 19  
геотермическая ступень 18, 210, 347  
геотермические измерения, 137, 149  
глубокая шахта, 38, 202, 327  
горно-геологические условия, 76, 165, 214, 216  
горное давление, 181, 199, 363, 107, 163, 175  
горнотехнические мероприятия, 155, 197, 202, 254  
горные выработки, 168, 209, 284, 320  
горный массив 22, 38, 39, 55, 76, 167, 189, 205  
горные выработки 20, 168, 209, 284, 320, 360  
горные породы, 44

### Д

давление водяного пара, 61, 63, 152  
давление насыщения, 61, 63  
дегазация, 179, 254, 314

### Е

естественная температура, 76, 109, 112, 149, 153, 173, 188, 214, 79, 82  
естественные условия, 121, 122, 125, 131, 364, 117

### З

забой:  
- очистной, 159, 181, 206, 213, 255, 270, 272, 277  
- подготовительный, 159, 297, 206, 249, 251, 253, 254, 260, 261, 269, 277, 278, 294, 295, 297, 315  
закон Дальтона, 60  
закон Клапейрона, 62  
закон Фурье, 43, 328  
зона теплового комфорта, 328

### И

*I-d* диаграмма, 66-68  
идеальный газ 21, 60  
изотермические линии, 40

излучение, 39, 49, 51, 52, 156, 221, 295, 329, 331, 332

испарение влаги, 22, 55, 60, 156

### **К**

калориферные установки, 321, 300, 301, 302, 314, 316-319

климатические условия, 82, 211, 224

конвекция, 17, 39, 45, 328

конвективная диффузия, 329

кондиционер, 289, 296, 297, 328, 330

коэффициент влаговываждения, 36

коэффициент нестационарного теплообмена, 29, 55, 57, 78, 81, 85, 92, 96, 101, 109, 117, 155

коэффициент теплоемкости, 44

коэффициент теплоотдачи, 33, 36, 47, 52, 54, 94

коэффициент теплопередачи, 34, 35, 37, 117, 121, 155

коэффициент теплопроводности, 34, 44, 45, 85

коэффициент температуропроводности, 44, 48, 85

### **Л**

лава, 26, 29, 81, 88, 106, 131, 139, 162, 171, 175, 181, 200, 211, 217, 255, 269, 278, 326

лучеиспускательная способность, 51

### **М**

маркшейдерский отдел, 151

массообмен, 18, 22, 55, 74, 78, 82, 85, 94, 95, 115, 116, 119-121, 133, 134, 154, 188, 190, 195, 196

механизация процессов добычи угля, 163

молекулярная диффузия, 329

мощность пласта, 13, 87, 89, 95, 162, 172-174, 176, 178, 180

мощность оборудования, 25, 27, 166, 189, 206, 212, 214, 217, 224, 237, 246, 247, 251-253, 261, 268, 273, 276, 306, 311, 315, 329, 343, 347

### **Н**

нестационарный теплообмен, 52

нормальные климатические условия, 155, 199

норма выработки, 157, 160

нормы шахтного микроклимата, 157-159

### **О**

окислительные процессы 18, 23, 24, 37, 83

окружающая среда, 225, 228

относительная влажность, 63, 64, 69, 75, 80, 100, 108, 120, 134, 166, 185, 195, 220, 257, 291

### **П**

парциальное давление 21, 108, 152, 260, 339

передвижная холодильная установка, 250, 330

плотность воздуха, 21, 34, 64, 152

пласты:

- крутопадающие, 176, 183, 184, 264

- наклонные, 162, 163, 268, 165, 264

- пологие, 163, 187, 268, 165, 264

поглощательная способность, 51

проветривание шахт, 161, 162, 276, 304, 321

прогнозирование, 108

протяженные выработки, 168

производственная мощность, 197

противотепловой жилет, 283

прямоточная схема проветривания, 88

### **Р**

работа, 253, 263, 269, 274, 292, 315, 320, 327, 330

рабочая смена, 156, 160

рабочее место, 157

расход воздуха 76, 88, 107, 109, 112, 117, 120, 151, 152, 162, 171, 173, 184, 211, 223, 255, 290, 296, 300, 314, 321, 348

рудничный воздух, 60, 62, 205

### **С**

сечение выработки, 151, 166-168, 171, 173, 182, 192, 214, 217, 291, 316, 347, 49, 76, 119, 138, 148

скорость воздуха, 144, 147, 151, 152, 158, 160, 167, 169, 170-173, 211,

стационарная холодильная установка, 246, 330

стенки выработки, 14, 24, 37, 47, 52, 147, 348

сухой воздух, 60

схемы маршрутов тепловой съемки, 165, 195

схема подготовки шахтного поля, 83, 161, 162  
схема проветривания, 83, 86, 182, 216, 240, 255

## Т

температура 17-24, 27-30, 34, 38, 40, 42, 47, 49, 52  
- по сухому термометру, 50, 60, 65, 158, 159, 220  
- по мокрому термометру, 60, 68, 69, 160  
температурное поле, 38, 40, 42, 331  
температурный градиент, 22, 39, 41  
температурный напор, 23, 167, 169, 170, 172, 173, 259  
тепловая съемка, 154  
тепловое излучение, 39, 49, 50, 221, 331  
тепловой режим, 133, 134, 154, 184, 196, 208, 214, 330  
тепловой баланс, 96, 154, 155, 188, 189, 234, 295  
тепловлагообмен, 22  
тепловлажностные параметры, 74, 106, 119, 120, 135, 190  
тепловыделение, 25, 27, 38, 53, 77, 133, 168, 193, 330  
тепловые условия, 166, 168, 171, 175, 176, 184, 190, 211, 220, 254, 297  
теплопритоки, 108, 168-170, 189  
теплопроводность, 39, 40, 41, 44, 45, 47, 156, 328, 329, 332  
теплообмен, 13, 17, 21, 23, 29, 30, 38-40, 46-49, 52-55, 57, 69, 75, 81, 85, 87-93, 101, 106, 109, 114, 117, 134, 154, 221, 228, 231, 263, 292, 328, 329-332, 350  
теплообменный аппарат, 249, 302-307, 309-311, 327, 330, 333  
теплота, 23, 65, 69, 79, 109, 228-230, 232-235, 307, 329, 330  
теплофизические характеристики, 54, 76, 94, 239, 45  
теплотехнические способы, 203  
термодинамические процессы, 66, 69  
термометр, 50, 60, 65, 68, 69, 71, 144, 147, 149  
техническая характеристика, 247, 249, 251,

280-282, 285, 286, 288, 289, 290, 297  
технологическая схема, 182, 183, 238, 302-306, 308  
технологические мероприятия, 203, 214  
точка росы, 68  
транспортируемое ископаемое, 31, 220, 142, 167  
транспортировка угля, 163, 167  
трубопровод, 18, 28, 35-37, 78, 109, 116-122, 140, 208, 217-219, 236, 238, 244, 246, 255, 263, 279, 291, 302  
тупиковая выработка, 141, 192, 115, 118, 119, 120, 129, 130

## У

удельная теплоемкость вещества 330, 332  
управление кровлей, 176  
уравнение теплового баланса, 95, 100, 103, 105, 109  
утечки воздуха, 84, 94-96, 100, 106, 108, 116, 118, 124, 133, 219

## Ф

фильтрация, 82, 85-87, 95, 96, 104

## Х

холодильная машина, 225, 235, 246, 249, 255, 256  
холодильный агент, 226, 252, 329, 333  
холодоноситель, 297, 333

## Ш

шахта, 8, 9, 19, 23, 24, 38, 48, 52, 60, 63, 115, 134, 145, 157, 205, 211, 216, 218, 224, 237, 246, 250, 254, 259, 264, 275, 278, 288, 294, 297, 300, 305, 308, 315, 322, 326  
шахтное поле, 14, 19, 153, 161  
шпур, 18, 133, 137, 149, 150, 193

## Э

экспериментальные исследования, 115, 165, 265, 297  
энтальпия, 65, 69, 121, 122, 125, 153, 185, 230, 232  
энергия, 28, 41, 225, 327, 331, 333, 49, 51  
этажная схема подготовки, 161, 162, 164  
эффективная температура, 159



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

*Дана общая аннотация содержания учебного пособия и требования к умениям студента по использованию его материала.*

### **В учебном пособии рассмотрены:**

- ✓ основные факторы, влияющие на тепловые параметры воздуха при его движении по горным выработкам;
- ✓ основы теории теплообмена между горным массивом и воздухом в выработках;
- ✓ термодинамические параметры рудничного воздуха;
- ✓ теоретические основы расчёта изменения параметров воздуха в выработках различного назначения, проветриваемых за счёт общешахтной депрессии и вентиляторами местного проветривания;
- ✓ приведены аналитические зависимости для расчёта температуры утечек воздуха из выработанного пространства при различных схемах проветривания выемочных участков;
- ✓ процессы нестационарного теплообмена между горным массивом и утечками воздуха в выработанном пространстве выемочных участков при различных способах управления горным давлением;
- ✓ методологические основы изучения теплового режима глубоких шахт, особенности его формирования в действующих глубоких шахтах при разработке пологих, наклонных и крутых пластов;
- ✓ способы и средства регулирования теплового режима в глубоких шахтах;
- ✓ порядок выбора способов нормализации климатических условий на выемочных участках;
- ✓ основные рабочие тела и принципы работы холодильных машин;
- ✓ модификации систем кондиционирования рудничного воздуха в проектах кондиционирования для глубоких шахт;
- ✓ средства индивидуальной и коллективной противотепловой защиты горнорабочих и средства обеспечения противотепловой одежды;
- ✓ средства и способы подогрева воздуха, подаваемого в шахту в зимний период года, конструктивные особенности и требования к шахтным калориферным установкам.

***На основе изучения материалов учебного пособия студент должен уметь:***

- ✓ объяснять процессы нагрева и увлажнения воздуха, которые происходят в горных выработках;
- ✓ различать способы передачи тепла между горным массивом и воздухом: теплопроводность, конвекция и излучение;
- ✓ анализировать основные теплофизические свойства горных пород и угля;
- ✓ иметь представление о нестационарном теплообмене между горным массивом и воздухом;
- ✓ с помощью I-d диаграммы определять параметры влажного воздуха;
- ✓ рассчитывать температуру воздуха в горных выработках, а также температуру утечек воздуха из выработанного пространства выемочных участков при различных способах обрушения кровли и схемах проветривания;
- ✓ прогнозировать тепловые условия в выработках различного назначения при естественных условиях формирования их теплового режима и при искусственном охлаждении воздуха;
- ✓ определять маршрут тепловой съемки и пункты замеров тепловлажностных параметров воздуха, владеть методикой выполнения измерений, а затем обобщить полученные данные с целью оценки теплового режима шахты;
- ✓ правильно выбирать способы нормализации тепловых условий в шахтах;
- ✓ оценивать эффективность мер по применению систем кондиционирования на шахтах Донбасса;
- ✓ объяснить целесообразность применения индивидуальных и коллективных средств противотепловой защиты горнорабочих, уметь пользоваться этими средствами;
- ✓ правильно выбирать технологическую схему и способ обогрева воздухоподающего ствола в холодный период года и рассчитывать параметры оборудования калориферной установки угольной шахты.

*Сформулированные выше учебные цели дают объективную возможность однозначно судить о степени достижения их как при самоконтроле, так и при внешнем контроле усвоения учебного материала.*



Навчальне видання

**Кузін Віктор Олексійович,  
Алексєнко Сергій Олександрович,  
Шайхлісламова Ірина Анатоліївна**

## **КОНДИЦІОНУВАННЯ РУДНИКОВОГО ПОВІТРЯ**

Навчальний посібник

(Російською мовою)

Під загальною редакцією професора Кузіна В.О.

Видано в редакції авторів

Підписано до друку 25.04.2014. Формат 30 × 42/4.  
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 18,4.  
Обл.-вид. арк. 18,4. Тираж 50 прим. Зам. № 463.

Підготовлено до друку та видруковано  
у Державному ВНЗ «Національний гірничий університет».  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842 від 11.06.2004.  
49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.