

**СЕРИЯ
ЛЕКЦИЙ**

ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

В. Н. КЕФЕР

ШАХТНЫЕ ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

ГОСГОРТЕХИЗДАТ - 1960

В. Н. КЕФЕР

ШАХТНЫЕ
ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛЬНЫЕ
УСТАНОВКИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ
Москва 1960

*Рассмотрено и одобрено ученым советом
Макеевского научно-исследовательского института
по безопасности работ в горной промышленности.*

АННОТАЦИЯ

В брошюре изложены вопросы кондиционирования рудничного воздуха в глубоких угольных шахтах и производства искусственного холода. В ней приводятся основные сведения о машинах, аппаратах и схемах шахтных воздухоохладительных установок, принципе их расчета.

Брошюра предназначена для широкого круга работников горной промышленности.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в Донбассе в связи с увеличением добычи коксующихся углей вскрываются и разрабатываются более глубокие горизонты действующих шахт и вводятся в строй новые шахты большой глубины. При этом на глубоких горизонтах температура горных пород достигает $+34\text{--}38^\circ$, температура воздуха более $+28^\circ$, относительная влажность воздуха 80—90 % и даже выше.

Согласно действующим в нашей стране Правилам безопасности в угольных и сланцевых шахтах температура воздуха в подземных выработках не должна превышать $+26^\circ$ по сухому термометру.

В капиталистических странах допускаемые в шахтах температуры значительно выше. Например, в Бельгии, Франции, США и некоторых других странах разрешается производить горные работы, если эффективная температура воздуха не превышает $+31^\circ$. Это означает, что при относительной влажности 80 % допускаемая температура по сухому термометру составит $+34^\circ$.

Поддержание на глубоких горизонтах температуры воздуха в пределах $+26^\circ$ требует уже специальных мероприятий по его охлаждению с применением искусственного холода. Над разрешением этой сложной проблемы работает целый ряд научно-исследовательских институтов.

Проблемой кондиционирования рудничного воздуха впервые в СССР занялась Академия Наук УССР (акад. А. Н. Щербань, канд. техн. наук Д. А. Кремнев). Академия внесла большой вклад в теоретическую разработку и популяризацию этого вопроса и координирует общее направление научно-исследовательских работ в этой области.

Макеевский научно-исследовательский институт по безопасности работ в горной промышленности организовал специальную лабораторию с экспериментальными стендами для широкого изучения вопросов кондиционирования рудничного воздуха. Институтом проведены работы по изучению тепловых условий в глубоких шахтах и по изучению процесса охлаждения рудничного воздуха. В настоящее время МакНИИ продолжает исследование ряда узловых вопросов, решение которых необходимо для проектирования и практического внедрения в шахтах Донбасса установок кондиционирования воздуха, а также разработку типов основной аппаратуры для охлаждения воздуха и изучение работы холодильных машин и аппаратов в шахтных условиях.

МакНИИ осуществил впервые в СССР охлаждение рудничного воздуха на трех шахтах Донбасса — им. Мельникова, треста Лисичанскуголь, «Артем-2-Глубокая» треста Шахтантрацит и на строящейся шахте «Бутовская-Глубокая» треста Макеевуголь.

Цель брошюры — ознакомить инженерно-технический персонал угольных шахт и будущих машинистов шахтных воздухоохладительных установок с основами кондиционирования воздуха, с шахтными воздухоохладительными установками, с холодильными машинами и аппаратами.

При изложении материала автор использовал опыт, накопленный в Макеевском научно-исследовательском институте. Автор стремился к тому, чтобы изложение было доступно не только для инженеров и техников, впервые знакомящихся с холодильной техникой, но и для рабочих шахт, которые будут соприкасаться с работой воздухоохладительных установок.

Раздел V «Шахтные воздухоохладительные установки» написан совместно с инж. Т. А. Понизко, выполнившим также иллюстрации для этого раздела. Номограммы холодопроизводительности холодильных машин и некоторые рисунки выполнены инж. В. К. Черниченко.

Автор считает своим долгом выразить благодарность зав. кафедрой Рудничной вентиляции и техники безопасности Днепропетровского горного института проф. докт. техн. наук Ф. А. Абрамову и доц. кафедры канд. техн. наук Г. В. Дуганову за ценные замечания и рекомендации при рецензировании брошюры.

I. ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА

Смесь сухого воздуха с водяными парами называется влажным воздухом или паровоздушной смесью. Атмосферный воздух, так же как и рудничный воздух, всегда содержит определенное количество водяного пара в перегретом состоянии.

В зависимости от температуры и степени насыщения влагой воздух различно действует на самочувствие человека и его трудоспособность. Очень важно иметь представление об основных физических свойствах влажного воздуха и величинах, характеризующих его состояние. Эти величины называются параметрами паровоздушной смеси.

Давление влажного воздуха B , измеряемое барометром в *мм рт. ст.*, равно сумме давлений сухого воздуха P_v и находящихся в нем водяных паров P_n

$$B = P_v + P_n, \text{ мм рт. ст.}$$

Величины P_v и P_n называются парциальными давлениями.

Давление паровоздушной смеси при 0° на уровне моря, равное 760 *мм рт. ст.*, или 10,33 *м вод. ст.*, или 1,033 *кг/см²*, называется физической атмосферой.

В технике для удобства вычислений за единицу принимают техническую атмосферу (*ата*), равную 735,6 *мм рт. ст.*, или 10 *м вод. ст.* При этом 1 *мм рт. ст.* = 13,6 *мм вод. ст.* = 13,6 *кг/см²*.

С увеличением высоты над уровнем моря давление паровоздушной смеси уменьшается. Наоборот, в подземных выработках по мере углубления разработок давление паровоздушной смеси растет. В среднем можно

считать, что на каждые 100 м глубины давление увеличивается на 9 мм рт. ст.

Абсолютной влажностью называют весовое количество водяных паров, которое содержится в 1 м³ воздуха. Она измеряется в кг/м³.

При одних и тех же температуре и давлении в воздухе может содержаться разное количество водяного пара. Этим характеризуется степень влажности паровоздушной смеси.

Пар может быть насыщенным или перегретым.

Насыщенный пар — это пар, образующийся в процессе кипения жидкости. Температура его постоянна при данном давлении и называется температурой кипения. Насыщенный пар может иметь разную степень влажности.

Перегретый пар — это пар, нагретый выше температуры кипения. Температура его растет с увеличением степени перегрева при постоянном давлении.

Смесь, состоящую из сухого воздуха и перегретого водяного пара, называют ненасыщенным влажным воздухом, а состоящую из сухого воздуха и насыщенного водяного пара — насыщенным влажным воздухом.

Насыщенная паровоздушная смесь не может уже поглощать пар при данной температуре.

Предельное количество водяного пара, которое может быть поглощено 1 м³ воздуха, называется его влагоемкостью при данной температуре. С увеличением температуры влагоемкость воздуха увеличивается.

Относительной влажностью называют отношение абсолютной влажности воздуха к его влагоемкости. Иначе говоря, это отношение количества находящихся в воздухе водяных паров к такому их содержанию, которое насыщало бы воздух при данной температуре.

Относительная влажность обозначается греческой буквой ϕ и выражается в процентах. Относительная влажность насыщенного воздуха, следовательно, 100%.

Относительная влажность воздуха в глубоких шахтах Донбасса очень высока. Она колеблется в пределах от 80 до 90% и даже выше.

При охлаждении влажного воздуха его относитель-

ная влажность увеличивается до тех пор, пока воздух не станет насыщенным. При этом с увеличением относительной влажности воздуха степень перегрева паров уменьшается. В насыщенном воздухе ($\varphi=100\%$) температура воздуха будет соответствовать температуре кипения воды при данном парциальном давлении водяного пара в паровоздушной смеси, т. е. пары будут находиться в насыщенном состоянии.

При понижении температуры насыщенного воздуха начнется процесс конденсации паров воды. Они будут выпадать из насыщенного воздуха в виде капелек, образуя туман, а при температурах ниже 0° — иней.

Процессы охлаждения влажного воздуха сопровождаются, как упоминалось выше, выпадением влаги, т. е. осушением воздуха. При этом уменьшается абсолютная влажность воздуха, а относительная его влажность становится предельно высокой ($\varphi=100\%$).

Так как в процессе охлаждения влажного воздуха количество содержащихся в нем водяных паров уменьшается при неизменном количестве сухого воздуха, удобнее все параметры влажного воздуха относить не к 1 кг или 1 м³ паровоздушной смеси, а к 1 кг сухого воздуха.

Объемный или удельный вес влажного воздуха складывается из удельных весов сухого воздуха и водяного пара при их данных парциальных давлениях, обозначается греческой буквой γ и измеряется в кг/м³. С увеличением относительной влажности воздуха при тех же температуре и давлении удельный вес его уменьшается, так как водяной пар легче сухого воздуха. Влажный воздух всегда легче сухого.

С увеличением температуры при неизменных относительной влажности и давлении удельный вес воздуха уменьшается.

С увеличением давления при остальных неизменных показателях удельный вес воздуха пропорционально увеличивается.

В приложении 1 приведены значения удельного веса сухой части влажного воздуха при давлении 760 мм рт. ст. в зависимости от температуры и относительной влажности.

Влагосодержанием называется вес водяных

паров во влажном воздухе, отнесенный к 1 кг сухого воздуха.

Влагосодержание ($г/кг$) обозначается через d .

Температура воздуха характеризует степень его нагрева или охлаждения.

Температура измеряется ртутным или спиртовым термометром обычно в градусах Цельсия и обозначается буквой t .

Относительная влажность воздуха определяется измерением его температуры психрометром, состоящим из сухого и влажного термометров; в последнем ртутный резервуар покрыт смоченным в воде лоскутом батиста. Температура по сухому термометру показывает степень нагрева ненасыщенного воздуха; температура по влажному термометру — степень нагрева воздуха, насыщенного водяными парами.

В ненасыщенном воздухе температура по влажному термометру вследствие испарения с него влаги всегда ниже, чем по сухому термометру. Когда воздух насыщен, т. е. его относительная влажность достигает 100 %, показания обоих термометров одинаковы.

Теплосодержанием воздуха называется количество тепла в больших калориях, приходящееся на 1 кг сухого воздуха. Теплосодержание обозначается буквой i и измеряется в $ккал/кг$.

Величина теплосодержания воздуха зависит от его температуры и относительной влажности: чем выше температура или относительная влажность воздуха, тем больше его теплосодержание.

В приложении 2 представлены значения теплосодержания влажного воздуха в зависимости от температуры и относительной влажности в пределах, необходимых для расчета шахтного воздухоохладителя. Давление воздуха влияет на величину некоторых из его параметров, а именно: на объемный или удельный вес, на влагосодержание и на теплосодержание. Давление на глубоких горизонтах шахт значительно выше давления атмосферного воздуха на поверхности. Это обязательно следует учитывать при расчетах шахтных воздухоохладительных установок.

Все таблицы числовых значений параметров влажного воздуха приводятся в справочниках для давления 760 мм рт. ст. При расчете параметров шахтного воз-

духа такие значения непосредственно принимать нельзя. Табличные величины необходимо пересчитывать, приводя их к фактическому давлению на рассматриваемом горизонте.

Удельный вес воздуха изменяется прямо пропорционально давлению. Например, если давление в шахте 820 мм рт. ст. и температура воздуха 30° при относительной его влажности 90%, то удельный вес сухой части влажного воздуха на этой глубине будет равен

$$\gamma_{\text{в}} = 1,21 \frac{820}{760} = 1,307 \text{ кг/м}^3,$$

где 1,21 — табличное значение удельного веса воздуха при давлении 760 мм рт. ст.

Влагосодержание воздуха изменяется обратно пропорционально давлению. Например, если влагосодержание насыщенного воздуха при давлении 760 мм рт. ст. и температуре 35° ($\phi = 100\%$) составляет 36,6 г/кг, то в шахте на глубине примерно 900 м, где давление равно 820 мм рт. ст., влагосодержание воздуха будет меньше, а именно:

$$d = 36,6 \frac{760}{820} = 33,9 \text{ г/кг.}$$

Теплосодержание воздуха уменьшается с увеличением давления, но не в прямой зависимости.

Нагрев или охлаждение влажного воздуха сопровождается как изменением его температуры — так называемый теплообмен, или «явная» теплота, так и изменением его влагосодержания — так называемый массообмен, или «скрытая» теплота. Таким образом, теплосодержание влажного воздуха равно

$$i = 0,24t + 0,001rd, \text{ ккал/кг сухого воздуха,}$$

где r — теплота испарения или конденсации водяных паров, ккал/кг;

0,24 — средняя теплоемкость воздуха, ккал/кг·град;
0,001 — коэффициент пересчета из г в кг.

Первое слагаемое (явная теплота) не зависит от давления воздуха. Второе слагаемое (скрытая теплота) за-

висит от давления воздуха и изменяется, как и влаго-содержание, обратно пропорционально изменению давления воздуха.

В приложении 2 приведены значения теплосодержания сухого воздуха, т. е. значения «явной» части (последняя вертикальная графа) при $\varphi=0\%$.

Нетрудно, пользуясь этими данными, найти величину скрытой части, как разность между табличным значением полного теплосодержания воздуха (при заданных температуре и относительной влажности) и табличным значением теплосодержания сухого воздуха той же температуры (при $\varphi=0\%$). Полученную разность надо изменить обратно пропорционально отношению давления в шахте к табличному значению давления (760 мм рт. ст.).

Например, требуется определить теплосодержание влажного шахтного воздуха при температуре 30° и относительной влажности $\varphi=90\%$. Давление на рассматриваемом горизонте 810 мм рт. ст.

Табличное значение теплосодержания воздуха i при $t=30^\circ$ и $\varphi=90\%$ составляет 22,0 ккал/кг. Величина «явной» части (при $\varphi=0\%$) по таблице равна 7,2 ккал/кг.

Тогда «скрытая» часть определится $22,0 - 7,2 = 14,8$ ккал/кг.

При пересчете на давление в шахте 810 мм рт. ст. значение «скрытой» части будет равно $14,8 \frac{760}{810} = 13,9$ ккал/кг. Теперь нетрудно определить полное теплосодержание шахтного воздуха на рассматриваемом горизонте, как сумму «явного» и «скрытого» тепла: $i = 7,2 + 13,9 = 21,1$ ккал/кг вместо 22,0 ккал/кг, полученных по табличным данным (см. приложение 2).

Точкой росы называется температура воздуха, при которой находящиеся в воздухе водяные пары полностью его насыщают.

В точке росы температуры, измеренные по сухому и влажному термометрам, имеют одинаковое значение.

Если охладить воздух ниже точки росы, из воздуха будет выпадать влага в виде капель, образуя туман, т. е. при этом будет происходить осушение воздуха.

II. КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА

Кондиционирование воздуха имеет своей целью создание заданных условий воздушной среды в закрытых помещениях. Иначе говоря, кондиционирование воздуха служит для создания искусственного климата.

Искусственный климат определяется температурой воздуха, его относительной влажностью, скоростью движения, давлением, его чистотой и осуществляется путем специальной обработки воздуха. Характер обработки зависит от условий в рассматриваемом помещении или в шахте.

В настоящей брошюре рассмотрены только способы тепловой обработки воздуха, т. е. способы создания заданной температуры и относительной влажности воздуха. Кондиционирование воздуха в зависимости от назначения может служить для создания комфортных, технологических или специальных нормативных условий.

Комфортные условия обычно создаются в зданиях общественного пользования (в театрах, кино, ресторанах, клубах, гостиницах, санаториях), а также в жилых домах. В южных странах установками кондиционирования воздуха оборудуются пассажирские вагоны в поездах дальнего следования, автобусы, на теплоходах дальнего плавания — каюты и кают-компания.

Комфортные условия различны для зимы и лета. Зимой комфортные температуры ниже, так как люди одеты теплее. Комфортные условия зависят также от назначения помещения. Так, например, в зрительных залах или аудиториях, плотно заполняемых людьми, температура должна быть ниже, чем в лабораториях

или гостиницах, где размещение людей менее плотное. В цехах с тяжелым физическим трудом температура должна быть ниже, чем в цехах с легким физическим трудом или в лабораториях.

В наземных установках кондиционирования воздуха, когда в кондиционируемых помещениях скорость воздуха очень мала, пределы комфортных температур, кроме цехов с тяжелым физическим трудом, принимаются для летнего времени от 18 до 26° в зависимости от назначения помещения. При очень высокой температуре наружного воздуха следует принимать более высокую комфортную температуру, так как большая разность температур снаружи и внутри может дать неприятные ощущения при входе в помещение.

Средняя зона комфортных температур составляет 19—24° в летнее время и 15—22° в зимнее время.

Высокая и низкая относительная влажность воздуха резко снижает ощущение комфорта. Ее желательно поддерживать в крайних границах 30—70 % при средней зоне комфорта 40—60 %.

Технологические условия предъявляются промышленными предприятиями или специальными научно-исследовательскими лабораториями, где технологический процесс требует специального температурного и влажностного режима воздуха внутри помещения. Например, в цехах сборки очень точных механизмов необходимо соблюдать постоянную невысокую температуру и относительную влажность. Аналогичные требования могут предъявляться для помещений, где изготавливаются или хранятся некоторые виды медикаментов. Технологические условия могут резко отличаться от комфортных.

Специальные нормативные условия устанавливаются там, где достижение комфортных условий трудно осуществимо. Они поэтому отличаются от комфортных условий и являются теми предельными условиями, при соблюдении которых трудовое законодательство разрешает производство работ для осуществления технологического процесса.

Для угольных шахт Правила безопасности предусматривают максимальную допустимую температуру воздуха в действующих выработках +26°, учитывая его высокую относительную влажность и скорость.

Тепловая обработка воздуха, в результате которой достигаются его заданные параметры, различна для зимы и лета.

В зимнее время воздух подогревается в калориферах, но так как в процессе нагрева резко уменьшается относительная влажность воздуха, необходимо его последующее увлажнение.

В летнее время воздух охлаждается в воздухоохладителе, для чего используется холодная вода из местного источника, а если такого нет, то холодильная машина.

В процессе охлаждения воздуха в воздухоохладителе резко увеличивается относительная влажность воздуха. Охлажденный воздух требует в связи с этим последующего осушения. Обычно осушение воздуха осуществляется небольшим его подогревом.

В угольных шахтах на глубоких горизонтах независимо от времени года применимо только так называемое летнее кондиционирование воздуха, т. е. обработка воздуха охлаждением.

В зимнее время наружный воздух, подаваемый в шахту, подогревается в стволе, а на глубоких горизонтах температура воздуха в конечном счете выравнивается независимо от времени года, поэтому в настоящей брошюре рассматриваются только вопросы, связанные с летним кондиционированием воздуха.

На рис. 1 приведена наиболее простая схема установки для кондиционирования воздуха. Она предусматривает охлаждение и осушение всего количества атмосферного воздуха, подаваемого в кондиционируемое помещение с последующим выбросом его в атмосферу. Такая прямоточная схема применяется только во вредных производственных цехах или лабораториях, где необходима непрерывная смена воздуха и не допускается его рециркуляция.

Наружный воздух всасывается вентилятором через приемный воздуховод (см. рис. 1) и поступает в воздухоохладитель. В последнем он входит в соприкосновение с холодной водой, разбрызгиваемой форсунками, и охлаждается. Взвешенные частички воды, уносимые воздухом, отделяются от него в каплеуловителе. Охлажденный воздух, имеющий высокую относительную влажность, проходит для подсушки через калорифер,

обогреваемый паром или горячей водой. В последнем несколько повышается температура охлажденного воздуха, в связи с чем уменьшается его относительная влажность.

Отработанный воздух, имеющий соответствующую поставленным условиям температуру и относительную влажность, нагнетается вентилятором по воздуховоду в кондиционируемое помещение¹.

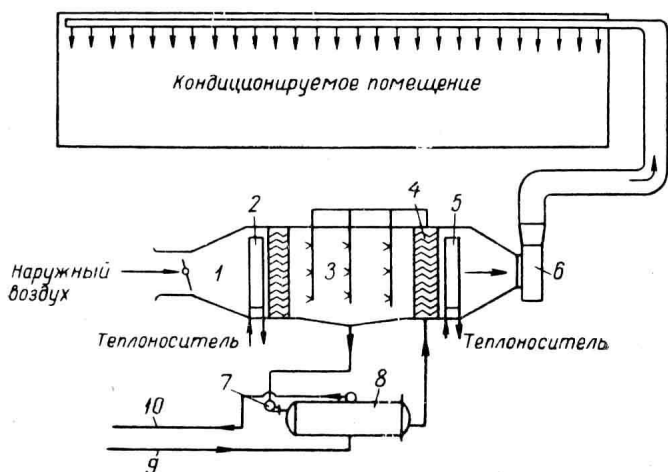


Рис. 1. Схема прямооточного кондиционера:

1 — приемный воздуховод, 2 — калорифер первого подогрева, 3 — оросительная камера, 4 — выходной каплеуловитель, 5 — калорифер второго подогрева, 6 — центробежный вентилятор, 7 — насос охлаждающей воды; 8 — испаритель холодильной машины, 9 — подача жидкого фреона, 10 — движение паров фреона

Распыленная в камере воздухоохладителя охлаждающая вода, которая после контакта с охлаждаемым воздухом стекает в водосборник, находящийся под орошаемым пространством (поддон), отсасывается циркуляционным насосом и нагнетается в испаритель холодильной установки. В последнем она снова охлаждается и нагнетается к форсункам воздухоохладителя. Охлажденный воздух поступает в кондиционируемое помеще- ние, чаще всего в нижнюю его зону. Его параметры

¹ Аппарат, в котором осуществляется одновременно охлаждение и осушение воздуха, называется кондиционером.

(температура и относительная влажность) ниже, чем заданные для помещения (чтобы воздух мог поглотить в помещении избыточное тепло и влагу и обеспечить таким образом климатические условия, необходимые по условиям комфорта или технологии производственного процесса).

Отработанный воздух удаляется из помещения в атмосферу специальным отсасывающим вентилятором либо путем создания небольшого избыточного давления воздуха в помещении, поддерживаемого искусственным притоком. Такая схема кондиционирования воздуха по сравнению с другими схемами требует большого расхода холода. Это объясняется необходимостью охлаждать весь подаваемый в помещение наружный воздух, который в летнее время имеет высокую температуру.

Обычно наземные установки строятся по более экономичным схемам, предусматривающим рециркуляцию воздуха из кондиционируемого помещения с подсосом только небольшого количества свежего воздуха, необходимого для восстановления в помещении израсходованного кислорода воздуха и удаления избыточной углекислоты.

В шахтных условиях применима только схема прямооточного кондиционера. Шахтный воздухоохладитель рекомендуется устанавливать в откаточном штреке перед лавой. Воздух, прошедший по лаве, практически не может быть возвращен из вентиляционного штрека к воздухоохладителю.

Кондиционирование воздуха в глубоких угольных шахтах имеет ряд особенностей по сравнению с кондиционированием на поверхности. Отметим следующие четыре положения:

1. Применение принципа рециркуляции исключено. Необходимо охлаждать весь воздух, поступающий в очистной забой. Воздух на глубоких горизонтах имеет высокую температуру (30° и выше). Применение наименее выгодной схемы прямооточного воздухоохладителя требует значительно более высокой холодопроизводительности холодильных машин.

2. По мере продвижения фронта очистных работ расстояние между очистным забоем и воздухоохладителем увеличивается. Перенос воздухоохладителя, связанный с расширением штрека, удлинением циркуляцион-

ного водопровода и другими работами, возможен только периодически через большие отрезки времени.

На пути от воздухоохладителя к очистному забою и при движении по нему охлажденный воздух будет нагреваться, и увеличение его температуры будет значительным. Это увеличение температуры будет неизбежно происходить в результате тепловых и химических процессов.

Основные из них:

а) соприкосновение с горными породами, имеющими более высокую температуру;

б) соприкосновение с отбитым углем в очистном забое и во время его транспортировки по штреку, также имеющим более высокую температуру;

в) окислительные процессы (окисление угля, горных пород крепи), в результате которых выделяется тепло;

г) поглощение воздухом тепла, выделяемого работающими механизмами, людьми, светильниками.

При определении температуры, которую должен иметь охлажденный воздух на выходе из воздухоохладителя, необходимо выяснить, насколько может повыситься его температура по пути к очистному забою и в самом забое. Температура охлажденного воздуха должна обеспечить в конце очистного забоя температуру воздуха, не превышающую $+26^{\circ}\text{C}$.

В длинных очистных забоях (лавах) на глубоких горизонтах, где температура горных пород высока, вследствие чего теплообмен между ними и воздухом более интенсивный, повышение температуры воздуха может быть значительным. Правилами безопасности установлена только предельно высокая температура, допускаемая в рабочих местах шахты. Нормативная низшая температура Правилами безопасности не предусматривается. Этот вопрос в настоящее время изучается в научно-исследовательских институтах охраны и гигиены труда. Некоторые предварительные результаты позволяют считать, что предельная низшая температура при скорости воздуха до 4 м/сек и высокой относительной влажности его будет составлять примерно $+18^{\circ}\text{C} \div +20^{\circ}\text{C}$.

В длинных лавах на глубоких горизонтах повышение температуры охлажденного воздуха на его пути от воздухоохладителя до конца лавы может быть настолько