

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра энергетики

ТЕПЛОТЕХНОЛОГИИ

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением
по аграрному техническому образованию в качестве пособия
для студентов учреждений высшего образования,
обучающихся по специальности 1-74 06 05
Энергетическое обеспечение сельского хозяйства
(по направлениям)*

Минск
БГАТУ
2013

УДК 621.1.016(07)
ББК 31.3я7
Т34

Составители:

кандидат технических наук, доцент *В. А. Коротинский*,
кандидат технических наук, доцент *А. Г. Цубанов*,
инженер *И. А. Цубанов*

Рецензенты:

кафедра «Энергосбережение и возобновляемые источники энергии» БНТУ
(заведующий кафедрой, доктор физико-математических наук,
профессор *В. Г. Баитовой*);
доктор технических наук, профессор *П. И. Дячек*

Теплотехнологии : пособие / сост.: В. А. Коротинский, А. Г. Цубанов, И. А. Цубанов. – Минск : БГАТУ, 2013. – 400 с.
ISBN 978-985-519-587-1.

Рассматриваются способы и методы преобразования исходных материалов и сырья в заданный товарный продукт на основе изменения их теплового состояния, включая теплотехнологические процессы в АПК при создании и регулировании микроклимата, первичной обработке молока, приготовлении кормов, а также при сушке и хранении сельхозпродукции; представлены необходимые справочные данные.

Пособие по дисциплине «Теплотехнологии» предназначено для студентов очной и заочной форм обучения агроинженерных специальностей.

УДК 621.1.016(07)
ББК 31.3я7

ISBN 978-985-519-587-1

© БГАТУ, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	4
1. ВВЕДЕНИЕ В ДИСЦИПЛИНУ	5
2. ТЕПЛОПЕРЕДАЧА. ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА	8
3. ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ В АПК	44
4. ОТОПИТЕЛЬНО-ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ	161
5. СУШИЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ	290
6. ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ОБОГРЕВАЕМЫХ ПОЛОВ И ПОЧВЫ	370
ЛИТЕРАТУРА	397

ПРЕДИСЛОВИЕ

В книге рассмотрены теплоиспользующие установки и теплотехнологические процессы в сельском хозяйстве Республики Беларусь с позиций их общности, без акцента на отрасли агропромышленного комплекса, в которых они нашли применение. Это позволяет сделать полезные обобщения, произвести необходимую классификацию и применить единые методы тепловых расчетов.

Основная задача пособия, учитывающего программу курса «Теплотехнологии» для технических вузов агроинженерных специальностей, – в определенной степени облегчить и сделать более целенаправленной подготовку к практическим занятиям по применению теплоты в агропромышленном комплексе. Пособие в первую очередь предназначено для студентов вузов, в которых изучаются вопросы использования и рационального применения тепловой энергии в технологических процессах сельского хозяйства. Оно может быть использовано также при выполнении курсовых проектов и дипломном проектировании, так как содержит большое количество вспомогательных таблиц, методических материалов, технических сведений о теплотехническом оборудовании. Приведенный материал может быть полезен преподавателям, аспирантам и инженерам, специализирующимся в этой области.

Многие теоретические и практические вопросы сопровождаются примерами методик расчета, облегчающими их понимание и усвоение. В первой части особое внимание отводится вопросам теплоснабжения производственных объектов сельского хозяйства, включая процессы сохранности полученной продукции, т. е. вопросам сушки и хранения с учетом применения современного энергоэффективного оборудования, обеспечивающего рациональное использование энергоресурсов. Вторая часть посвящена источникам децентрализованного теплоснабжения и регулированию тепловых нагрузок.

Составители стремились, не отступая от существа программы, излагать материал в соответствии с современными тенденциями в учебной литературе.

1. ВВЕДЕНИЕ В ДИСЦИПЛИНУ

1.1. Что такое «технология»?

Технология (от греч. τέχνη («техно») – искусство, мастерство, умение; λόγος («логос») – мысль, причина, методика, способ производства) – совокупность методов обработки, изготовления, изменения состояния, свойств, формы сырья, материала или полуфабриката, применяемых в процессе производства для получения готовой продукции; наука о способах воздействия на сырье и полуфабрикаты соответствующими орудиями производства.

1.2. Что такое «теплотехнологии»?

Теплотехнологии (в сельском хозяйстве) – совокупность способов и средств использования тепловой энергии в технологических процессах с целью производства и обработки сельскохозяйственной продукции. Дисциплина включает способы и методы преобразования исходных материалов и сырья в заданный товарный продукт на основе изменения их теплового состояния.

Тепловые технологические процессы сопровождаются нагреванием, охлаждением и изменением агрегатного состояния обрабатываемого объекта.

Тепловые технологические процессы предусматриваются в агропромышленном комплексе при создании и регулировании микроклимата; при первичной обработке молока и приготовлении кормов, а также при мойке оборудования и посуды. В технологии производства и обработки растительной продукции следует выделить такие тепловые процессы как:

- сушка зерна, семян и другой продукции с целью сохранения посевного фонда и обеспечения продовольствием в течение года;
- охлаждение плодоовощной продукции при ее хранении;
- обогрев сооружений защищенного грунта для создания оптимального микроклимата при выращивании овощей и зеленых растений.

1.3. Задачи и цель дисциплины.

В сельском хозяйстве задача дисциплины «Теплотехнологии» состоит в изучении основных закономерностей тепловых процессов с целью определения и использования наиболее эффективных технологических процессов и оборудования.

Цель дисциплины состоит в формировании системы теоретических знаний и практических навыков по эффективному использованию теплотехнологического оборудования при производстве и хранении сельскохозяйственной продукции.

Студент должен знать назначение, устройство и область применения теплотехнологического оборудования, а также основы расчета тепло- и массообменных процессов.

Студент должен уметь рассчитывать и выбирать теплотехнологическое оборудование, определять энергетические показатели теплотехнологических процессов и устанавливать пути повышения экономичности.

1.4. Основные группы теплотехнологических процессов в сельскохозяйственном производстве.

Вышеприведенные сведения о теплотехнических процессах сельскохозяйственного производства позволяют разделить их на следующие группы:

1 группа – процессы, связанные с созданием и регулированием микроклимата в животноводческих зданиях и сооружениях защищенного грунта;

2 группа – процессы хранения сельскохозяйственной продукции: охлаждение, сушка, пастеризация и стерилизация;

3 группа – процессы тепловой обработки при кормоприготовлении.

1.5. В чем состоит метод дисциплины «Теплотехнологии» в сельском хозяйстве?

Теплотехнологии в сельском хозяйстве неразрывно связаны с повышением продуктивности животноводства и растениеводства, улучшением сохранности сельскохозяйственной продукции и совершенствовании заготовки и использования кормов. Знание

дисциплины «Теплотехнологии» необходимо для снижения энергоёмкости производства – затрат топлива и энергии на единицу производимой продукции.

Изучение дисциплины основано на знании высшей математики, физики, основ гидравлики и теплотехники, технологии производства сельскохозяйственной продукции и механизации технологических процессов. Знание дисциплины в дальнейшем используется при изучении других дисциплин: «Электротехнологии»; «Источники и системы теплоснабжения»; «Автоматизация технологических процессов»; «Проектирование систем энергообеспечения»; «Основы энергоресурсосбережения».

Метод дисциплины «Теплотехнологии» состоит в использовании закономерностей тепло- и массообмена при анализе эффективности теплотехнологических процессов и при расчете и проектировании теплотехнологического оборудования.

2. ТЕПЛОПЕРЕДАЧА. ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА

2.1. Задачи теплового расчета.

Задачи теплового расчета состоят в определении расходов теплоты, теплоносителей и топлива, тепловой мощности, площади поверхности теплообмена и основных размеров оборудования, продолжительности процессов тепловой обработки продукции и показателей энергоэффективности работы оборудования.

2.2. Показатели энергоэффективности работы оборудования.

К показателям энергоэффективности работы оборудования относятся КПД, а также удельные расходы теплоты, теплоносителя и топлива из расчета на единицу производимой или обрабатываемой продукции.

2.3. Какие методы расчета следует использовать при выполнении тепловых расчетов?

При выполнении тепловых расчетов следует использовать методы составления тепловых и материальных балансов и применения закономерностей теплообмена. Если уравнения тепловых и материальных балансов характеризуют статику тепловых процессов, то закономерности теплообмена – кинетику этих процессов.

С составления тепловых и материальных балансов начинается тепловой расчет установок и сооружений, в которых расходуется тепловая энергия.

2.4. Что такое статика и кинетика при изучении тепловых процессов?

Статика изучает равновесие систем под действием различных факторов (сил), а кинетика – закономерности процессов, протекающих

в системах при нарушении состояния равновесия (механического, теплового, электрического и др.).

Кинетика как раздел науки посвящена изучению механизма и скорости изменения характеристик процесса. В ее основе лежат закономерности, обуславливающие скорость (интенсивность) процессов. Знание этих кинетических закономерностей необходимо для расчета параметров технологических процессов и аппаратов, в которых происходят исследуемые процессы.

Предметом кинетики являются закономерности таких распространенных в технологии процессов, как нагрев, охлаждение, фильтрация, перемешивание, сушка и т. п. Для многих из них кинетические закономерности известны как классические законы физики, определяющие перенос количества движения, теплоты, вещества, электричества и т. п.

2.5. Что такое кинетические процессы?

Необратимые процессы пространственного переноса массы вещества, количества движения, импульса, теплоты, энергии, электрического заряда и др. в макроскопической системе, состоящей из большого числа микрочастиц (молекул, атомов, ионов и свободных электронов) называются кинетическими процессами. Они происходят в результате движения и взаимодействия частиц при нарушении термодинамического равновесия, что приводит в системе к появлению градиентов температуры, давления, концентрации, электрического потенциала и др.

2.6. Что такое материальный баланс?

Материальный баланс – это сопоставление прихода и расхода вещества в данном процессе. Материальный баланс основан на законе сохранения вещества и представляет равенство между массой веществ, поступающих в установки и сооружения, и массой веществ, выходящих из установок и сооружений.

2.7. Каким образом можно выразить массу горячей воды, получаемой в аппарате путем смешения холодной воды с водяным паром? При расчете учесть утечки воды и пара.

В аппарат подаются холодная вода массой m_v и водяной пар массой m_n , при их смешении происходит нагрев воды. Массу горячей

воды, получаемой при смешении холодной воды и водяного пара, обозначим как $m_{гв}$, а массу утечек воды и водяного пара при эксплуатации аппарата как $m_{ут}$.

Сопоставляя приход и расход вещества, запишем материальный баланс:

$$m_v + m_n = m_{гв} + m_{ут}.$$

Отсюда следует:

$$m_{гв} = m_v + m_n - m_{ут}.$$

Таким образом, масса горячей воды определяется суммой холодной воды и водяного пара за вычетом массы утечек воды и водяного пара.

2.8. Что такое тепловой баланс?

Тепловой баланс – это сопоставление прихода и расхода теплоты при анализе тепловых процессов в различных установках и оборудовании.

Тепловой баланс основан на законе сохранения энергии и представляет равенство между поступающей (располагаемой теплотой) и суммой полезно использованной теплоты и потерь теплоты при ее использовании. В одной части уравнения теплового баланса суммируются все приходы (поступления) теплоты, а в другой – все расходы теплоты.

2.9. Как определить расход пара в аппарате приготовления горячей воды за счет смешения холодной воды с водяным паром?

В аппарат подаются холодная вода массой m_v , кг, и температурой t'_v , °С, а также водяной пар массой m_n , кг, и удельной энтальпией h_n , кДж/кг. Массу горячей воды, получаемой при смешении холодной воды и водяного пара, обозначим как $m_{гв}$, кг, а ее температуру как t''_v . Тепловой режим аппарата характеризуется конденсацией водяного пара в объеме холодной воды в процессе ее нагрева.

Расход пара находят методом составления теплового баланса.

В аппарате имеют место:

а) поступления (приход) теплоты, кДж:

– с водяным паром:

$$Q_{\text{п}}' = h_{\text{п}} m_{\text{п}},$$

– с холодной водой:

$$Q_{\text{в}}' = c_{\text{в}} m_{\text{в}} t_{\text{в}}',$$

где $c_{\text{в}}$ – удельная изобарная теплоемкость воды, кДж/кг;

б) расходы теплоты, кДж:

– с образовавшимся конденсатом:

$$Q_{\text{к}} = m_{\text{п}} h_{\text{к}},$$

где $h_{\text{к}}$ – удельная энтальпия конденсата, кДж/кг;

– с горячей (нагретой) водой:

$$Q_{\text{в}}'' = c_{\text{в}} m_{\text{в}} t_{\text{в}}'',$$

– с теплотерями аппарата в размере $Q_{\text{тп}}$.

В состав теплотерь следует включить расходы теплоты в окружающую среду, с выпаром из аппарата, на нагрев самого аппарата.

Уравнение теплового баланса аппарата может быть записано после преобразований в следующем виде:

$$m_{\text{п}} (h_{\text{п}} - h_{\text{к}}) = c_{\text{в}} m_{\text{в}} (t_{\text{в}}'' - t_{\text{в}}') + Q_{\text{тп}}.$$

Тогда расход пара:

$$m_{\text{п}} = \frac{Q_{\text{в}} + Q_{\text{тп}}}{h_{\text{п}} - h_{\text{к}}},$$

где $Q_{\text{в}}$ – расход теплоты на нагрев воды, кДж.

Теплота водяного пара расходуется на нагрев воды и на компенсацию теплотерь.

2.10. Формулировка основного закона кинетики.

Закономерности различных процессов могут быть сформулированы в виде основного закона кинетики: скорость (интенсивность) процесса прямо пропорциональна движущей силе и обратно пропорциональна сопротивлению данного процесса.

Положенная в основу этого закона идея единых кинетических закономерностей базируется на сходстве дифференциальных уравнений, описывающих простейшие (линейные) процессы переноса количества движения, вещества, энергии теплоты, электричества и др.

2.11. Уравнение основного закона кинетики.

Кинетические закономерности различных процессов могут быть представлены в форме уравнения основного закона кинетики:

$$j = \frac{\Delta X}{R},$$

где j – интенсивность процесса (плотность потока: теплоты, массы среды, электрического тока и пр.);

ΔX – движущая сила процесса (разность температур, давления, электрического потенциала и пр.);

R – сопротивление процессу (термическое, гидравлическое, электрическое и т. д.).

Движущей силой процессов теплообмена является разность температур более нагретого и менее нагретого тела. Согласно второму закону термодинамики самопроизвольный процесс переноса теплоты в пространстве возникает под действием разности температур и направлен в сторону уменьшения температуры.

2.12. Способы переноса теплоты, их отличительные особенности.

Перенос теплоты в пространстве осуществляется тремя способами: теплопроводностью, конвекцией и тепловым излучением.

Отличие между ними состоит в различии природы материальных посредников в переносе теплоты. В случае теплопроводности – это микрочастицы (молекулы, атомы, свободные электроны и др.), при конвекции – это «жидкие комки», под которыми подразумевают макроскопические конгломераты из множества молекул, а при тепловом излучении – фотоны, электромагнитные волны.

2.13. Что такое теплопроводность?

Теплопроводность – молекулярный перенос теплоты от более нагретых частей тела к менее нагретым его частям в результате теплового движения и взаимодействия составляющих тело микрочастиц.

2.14. Что такое конвекция?

Конвекция – перемещение макроскопических частей текучей среды (газа, жидкости или сыпучей среды) в пространстве, приводящее к переносу теплоты, массы и др.

2.15. Что такое тепловое излучение?

Тепловое излучение – это электромагнитное излучение, которое испускает вещество за счет своей внутренней энергии.

2.16. Что такое конвективный теплообмен?

Конвективный теплообмен – перенос теплоты в неравномерно нагретой жидкой, газообразной или сыпучей среде, обусловленный конвективным движением среды и ее теплопроводностью.

2.17. Что такое теплообмен излучением (лучистый теплообмен)?

Теплообмен излучением – перенос теплоты, обусловленный превращением части внутренней энергии вещества в энергию электромагнитных волн теплового излучения, переносом этого излучения в пространстве и его поглощением другим веществом.

2.18. В чем состоит различие между теплоотдачей и теплопередачей?

Различие между теплоотдачей и теплопередачей состоит в условиях и особенностях процесса теплообмена.

Если теплоотдача – конвективный и лучистый теплообмен между движущейся средой и поверхностью твердого тела (или поверхностью раздела с другой средой), то теплопередача – теплообмен между двумя средами (теплоносителями) через разделяющую их стенку.

2.19. Уравнение Фурье.

Уравнение Фурье является математическим выражением основного закона теплопроводности – закона Фурье, согласно которому плотность теплового потока при теплопроводности прямо пропорциональна температурному градиенту.

$$q = -\lambda \operatorname{grad} T,$$

где q – плотность теплового потока, Вт/м²;
 λ – коэффициент теплопроводности вещества, Вт/(м·К);
 $\operatorname{grad} T$ – температурный градиент, К/м.

2.20. Что такое коэффициент теплопроводности, от каких факторов он зависит?

Коэффициент теплопроводности является теплофизическим параметром вещества и характеризует способность вещества проводить теплоту. Он определяет интенсивность переноса теплоты теплопроводностью в веществе.

Коэффициент теплопроводности как теплофизический параметр вещества зависит от рода вещества и его агрегатного состояния, от температуры и давления, а также от плотности, пористости и влажности строительных и теплоизоляционных материалов. Коэффициент теплопроводности определяется опытным путем, его значение для теплотехнических расчетов принимается из справочных таблиц.

2.21. Что такое теплоизоляционные материалы?

Теплоизоляционными материалами называют материалы, обладающие низкими коэффициентами теплопроводности (менее 0,25 Вт/(м·К)). Они обычно применяются для тепловой изоляции оборудования, сооружений и трубопроводов с целью уменьшения теплотерь и поддержания необходимого температурного режима в теплоизолируемых объектах.

Теплоизоляционные материалы могут быть органического и неорганического происхождения. К материалам органического происхождения относятся пенопласты (пенополистирол, пенополиуретан), торфяные и фибролитовые плиты, а к материалам неорганического происхождения – асбест, минеральная и стеклянная вата, ячеистые бетоны и пеностекло, керамзитовый гравий.

2.22. Цели применения теплоизоляционных материалов.

Теплоизоляционные материалы применяются с целью:

- уменьшения теплотерь оборудования, сооружений и трубопроводов, решая при этом задачи энергосбережения;
- поддержания необходимого температурного режима в теплоизолируемых объектах;
- предотвращения конденсации водяных паров из состава воздуха на поверхности холодных объектов;
- обеспечения допустимой температуры на наружной поверхности теплоизолируемой конструкции;
- обеспечения подачи теплоносителя с необходимой температурой к тепловым потребителям.

Таким образом, с помощью теплоизоляционных материалов решаются технологические, санитарно-гигиенические и энергосберегающие задачи.

2.23. Форма записи уравнения теплопроводности многослойной плоской стенки?

Уравнение теплопроводности плоской стенки получено, исходя из уравнения Фурье.

$$q = \frac{t_{c1} - t_{c(n+1)}}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}},$$

где q – плотность теплового потока, Вт/м²;

t_{c1} и $t_{c(n+1)}$ – температуры на наружных поверхностях стенки, °С;

δ_i и λ_i – толщина, м, и коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К), i -го слоя стенки.

2.24. Вид температурного графика при теплопроводности трехслойной плоской стенки.

Рассмотрим температурный график в толще многослойной плоской стенки (рис. 2.1).

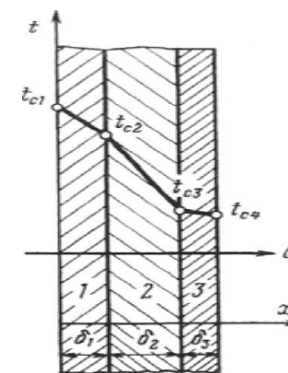


Рис. 2.1. Распределение температур в плоской стенке

Будем считать, что температурное поле является одномерным стационарным, а коэффициенты теплопроводности имеют постоянные значения.

Распределение температур графически характеризуется ломаной линией, составленной из отрезков прямых линий.

Угол наклона отрезков определяется коэффициентом теплопроводности материала. Чем больше теплопроводность, тем меньше угол наклона и тем ближе отрезок прямой к горизонтالي.

В приведенном примере (рис. 2.1) наибольшей теплопроводностью обладает материал 3-го слоя, а наименьшей – материал 2-го слоя.

2.25. Какое уравнение используется для расчета теплоотдачи?

При расчете теплоотдачи используется уравнение Ньютона–Рихмана, которое выражает закон охлаждения тел:

$$q = \alpha |t_C - t_{Ж}|,$$

где q – плотность теплового потока, Вт/м²;
 α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К);
 t_C и $t_{Ж}$ – температуры поверхности твердого тела и движущейся среды, °С.

2.26. Что такое коэффициент теплоотдачи, от каких параметров он зависит?

Коэффициент теплоотдачи представляет собой величину, характеризующую интенсивность теплообмена на поверхности твердого тела и равную отношению плотности теплового потока к температурному напору между поверхностью и средой. Он не является теплофизическим параметром тела, а представляет как бы «функцию процесса теплообмена».

Коэффициент теплоотдачи зависит от особенностей и условий теплообмена на поверхности твердого тела:

- режима движения и скорости жидкости (газа);
- физических свойств жидкости (газа): теплопроводности, вязкости, теплоемкости, плотности и др.;
- формы, размеров и пространственного расположения тела;
- направления теплового потока.

2.27. Определение и характеристика теплового пограничного слоя.

Тепловой пограничный слой – это тонкий слой жидкости (газа) у стенки, в пределах которого температура изменяется от значения, равного температуре стенки, до значения, равного температуре жидкости вдали от стенки. Пограничный слой образуется при течении вязкой жидкости (газа) у поверхности обтекаемого тела в результате воздействия сил вязкости (внутреннего трения).

Все изменение температуры и скорости жидкости (газа) сосредоточивается в сравнительно тонком пограничном слое, непосредственно прилегающем к поверхности тела.

Перенос теплоты между поверхностью тела и средой происходит в основном теплопроводностью в пограничном слое. Для интенсификации теплообмена на поверхности необходимо разрушать ламинарный пограничный слой (ламинарный подслой), используя методы его турбулизации.

2.28. Что такое числа подобия, каковы их особенности?

Числа подобия – безразмерные комплексы, составленные из размерных физических величин, существенных для данного физического явления.

Равенство всех однотипных критериев подобия для физических явлений или систем, имеющих одинаковую физическую природу и общее математическое описание, – необходимое и достаточное условие физического подобия этих явлений или систем.

Числа подобия получены, исходя из дифференциальных уравнений, описывающих данный процесс, их количество определяется структурой данных уравнений, каждое из них имеет физический смысл в виде соотношений между интенсивностями или характеристиками отдельных физических эффектов. Числа подобия названы фамилиями ученых, внесших значительный вклад в развитие данной отрасли науки и техники.

2.29. Число Нуссельта.

Число Нуссельта представляет собой безразмерный коэффициент теплоотдачи и определяет интенсивность конвективного теплообмена между поверхностью твердого тела и потоком среды:

$$Nu = \frac{\alpha l_0}{\lambda},$$

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К);
 l_0 – характерный определяющий размер, м;
 λ – коэффициент теплопроводности среды, Вт/(м·К).

Число Нуссельта является одним из основных критериев подобия процессов теплообмена, характеризующим соотношение между интенсивностью теплообмена за счет конвекции в движущейся среде и теплопроводности в неподвижной среде.

2.30. Число Рейнольдса.

Число Рейнольдса – безразмерный критерий, который определяет, каким является режим движения среды: ламинарным, переходным или турбулентным:

$$Re = \frac{wl_0}{\nu}$$

где w – скорость среды, м/с;

l_0 – характерный определяющий размер, м;

ν – кинематический коэффициент вязкости, м/с².

Число Рейнольдса характеризует соотношение между инерционными и вязкостными силами в потоке жидкости или газа.

2.31. Число Прандтля.

Число Прандтля составлено из физических параметров среды и поэтому само является физическим параметром среды:

$$Pr = \frac{\nu}{a}$$

где ν – кинематический коэффициент вязкости, м/с²;

a – коэффициент температуропроводности, м/с².

Число Прандтля – один из критериев подобия тепловых процессов в жидкостях и газах, учитывает влияние физических свойств теплоносителя на теплоотдачу.

2.32. Число Грасгофа.

Число Грасгофа – критерий подобия, определяющий процесс теплообмена при свободном движении среды в поле гравитации

и являющийся мерой соотношения архимедовой (подъемной) силы, вызванной неравномерным распределением плотности в неоднородном поле температур и силами вязкости:

$$Gr = \frac{gl_0^3}{\nu^2} \beta |t_C - t_J|,$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²;

l_0 – характерный определяющий размер, м;

β – температурный коэффициент объемного расширения жидкостей или газов, К⁻¹;

t_C и t_J – температуры поверхности твердого тела и движущейся среды, °С;

ν – кинематический коэффициент вязкости, м/с².

Число Грасгофа (подобно числу Рейнольдса при вынужденной конвекции) определяет режим движения среды при свободной конвекции в прилегающем к поверхности слое.

2.33. Уравнение подобия в общем виде для конвективного теплообмена при свободной конвекции.

При свободной конвекции используется степенная зависимость между числами подобия Нуссельта Nu , Грасгофа Gr и Прандтля Pr :

$$Nu = C(GrPr)^m \left(\frac{Pr}{Pr_C} \right)^{0,25},$$

где C и m – коэффициент и показатель степени, определяемые опытным путем в определенном интервале чисел Грасгофа и Прандтля;

Pr_C – число Прандтля при температуре поверхности твердого тела.

2.34. Обычная запись уравнения подобия в общем виде для конвективного теплообмена при вынужденной конвекции.

При вынужденной конвекции используется степенная зависимость между числами подобия Нуссельта Nu , Рейнольдса Re и Прандтля Pr :

$$Nu = C Re^n Pr^m \left(\frac{Pr}{Pr_C} \right)^{0,25},$$

где C , n и m – коэффициент и показатели степени, определяемые опытным путем в определенном интервале чисел Рейнольдса и Прандтля;
 Pr_C – число Прандтля при температуре поверхности твердого тела.

2.35. Что входит в состав исходных данных при расчете коэффициента теплоотдачи?

В состав исходных данных входят:

- вид и температура среды;
- скорость среды при вынужденной конвекции;
- форма, размеры, пространственное расположение твердого тела, а также температура его поверхности.

2.36. Алгоритм расчета коэффициента теплоотдачи.

Последовательность расчета коэффициента теплоотдачи:

- определить условия теплообмена: вид конвекции, особенности обтекания средой поверхности твердого тела;
- записать в общем виде уравнение подобия для заданных условий теплообмена;
- выбрать определяющую температуру и характерный определяющий размер согласно рекомендациям к используемому уравнению подобия;
- выписать по справочным данным при определяющей температуре число Прандтля, теплофизические параметры среды, входящие в числа подобия, и рассчитать определяющие числа подобия Рейнольдса или Грасгофа;
- проверить возможность применения принятого уравнения подобия путем сравнения расчетных значений определяющих чисел подобия с допускаемым интервалом их значений;
- принять по справочным данным значения коэффициентов и показателей степени в уравнении подобия и рассчитать число Нуссельта по этому уравнению;
- рассчитать коэффициент теплоотдачи по значению числа Нуссельта.

2.37. Как рассчитать коэффициент теплоотдачи α , Вт/(м²·К), при вынужденном движении среды внутри трубы, используя известное число Нуссельта?

Исходя из уравнения, характеризующего число Нуссельта, следует:

$$\alpha = Nu \frac{\lambda}{d_0},$$

где λ – коэффициент теплопроводности среды, Вт/(м·К);
 d_0 – внутренний диаметр трубы, м.

2.38. Методы интенсификации теплообмена.

Для интенсификации процессов теплообмена применяют следующие методы и приемы:

- увеличение скорости сред в допустимых пределах гидравлических сопротивлений;
- уменьшение геометрических размеров каналов (например, диаметра трубок, внутри которых движется среда);
- замена свободной конвекции вынужденной конвекцией;
- искусственную турбулизацию потока в пристенной зоне путем создания на поверхности теплообмена искусственной шероховатости в виде периодически повторяющихся выступов и углублений;
- искусственную закрутку потоков;
- использование турбулизирующих вставок в каналах;
- увеличение площади поверхности теплообмена путем оребрения;
- добавление в газовую среду твердых частиц, например, графита;
- воздействие на поток теплоносителя электрическим, магнитным и ультразвуковым полями;
- механическое воздействие на поверхность теплообмена путем ее вибрации.

2.39. Что ограничивает возможности применения методов интенсификации теплообмена?

Методы интенсификации теплообмена требуют дополнительных материальных и энергетических затрат. Они, как правило, связаны с ростом затрат энергии на преодоление увеличивающихся гидравлических

сопротивлений. Поэтому возможность и целесообразность применения того или иного способа интенсификации теплообмена для конкретных условий определяются техническими возможностями и энергоэффективностью этого способа.

2.40. В каком виде следует записывать уравнение лучистого теплообмена между телами в прозрачной среде?

Прозрачной средой являются одноатомные и двухатомные газы. Они не излучают и не поглощают, пропуская через себя тепловое излучение других тел. В этих условиях уравнение лучистого теплообмена следует записывать как:

$$\Phi = \varepsilon C_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] A \varphi,$$

где Φ – тепловой поток, Вт;

ε – приведенный коэффициент теплового излучения;

C_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела, принимаемый равным $5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$;

T_1 и T_2 – термодинамические температуры тел, между которыми происходит лучистый теплообмен, К;

A – площадь поверхности теплообмена, м^2 ;

φ – угловой коэффициент облученности.

При расчете площади поверхности теплообмена излучения необходимо учитывать взаимное расположение тел и площади их наружных поверхностей, а при расчете приведенного коэффициента теплового излучения – кроме перечисленных факторов и коэффициенты теплового излучения этих тел.

2.41. Особенности расчета лучистого теплообмена между телами в прозрачной среде, когда одно тело расположено в полости другого.

Особенности расчета лучистого теплообмена связаны с определением площади поверхности теплообмена и приведенного коэффициента теплового излучения. Если одно тело расположено в полости другого тела и площадь его поверхности намного меньше площади

поверхности другого тела, то приведенный коэффициент теплового излучения и площадь поверхности теплообмена равны соответственно коэффициенту излучения и площади поверхности меньшего тела. Значение углового коэффициента облученности принимают равным единице.

2.42. Какой вид имеет температурный график при теплопередаче через однослойную плоскую стенку?

График распределения температур (рис. 2.2) при теплопередаче через плоскую стенку представлен в условиях одномерного стационарного температурного поля при постоянной теплопроводности разделяющей стенки. Изменение температуры сред происходит в пределах пограничного слоя.

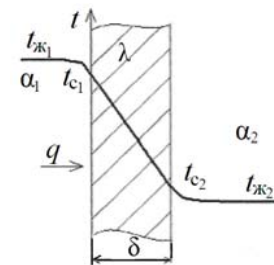


Рис. 2.2. Распределение температур при теплопередаче через плоскую стенку

На графике использованы обозначения: $t_{ж1}$ и $t_{ж2}$ – температуры сред, °С; α_1 и α_2 – коэффициенты теплоотдачи по обе стороны стенки, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Изменение температур сред происходит в пределах пограничного слоя и характеризуется кривой линией, а изменение температуры в толще стенки – прямой линией.

2.43. Уравнение теплопередачи через плоскую стенку с использованием коэффициента теплопередачи?

Интенсивность теплопередачи зависит от коэффициента теплопередачи и температурного напора между средами, участвующими в теплопередаче:

$$q = k(t_{ж1} - t_{ж2}),$$

где q – плотность теплового потока, передаваемого через стенку, Вт/м²;
 k – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К);
 $t_{ж1}$ и $t_{ж2}$ – температуры сред, °С.

2.44. Уравнение для расчета коэффициента теплопередачи через плоскую стенку.

Анализируя теплопередачу как сложный теплообмен, протекающий с участием теплопроводности и теплообмена на поверхностях разделяющей стенки, можно найти:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

где k – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К);
 α_1 и α_2 – коэффициенты теплоотдачи, Вт/(м²·К);
 δ_i и λ_i – толщина, м, и коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К), i -го слоя плоской стенки.

2.45. Что является исходными данными к расчету коэффициента теплопередачи?

Исходные данные к расчету коэффициента теплопередачи включают:
– виды, температуры и теплофизические параметры сред;
– форму, расположение и характерные размеры разделяющей стенки, в том числе и толщину отдельных ее слоев.

2.46. Как выполнить расчет коэффициента теплопередачи?

Чтобы рассчитать коэффициент теплопередачи следует:
– принять скорости сред из рекомендуемых интервалов их значений или рассчитать, используя расходы сред и проходные сечения по трактам теплоносителей (сред);

- сформулировать условия теплообмена на каждой стороне разделяющей стенки;
- выписать коэффициенты теплопроводности материалов слоев разделяющей стенки;
- принять предварительно температуры поверхностей разделяющей стенки:
- рассчитать коэффициенты теплоотдачи α_1 и α_2 ;
- найти коэффициент теплопередачи и плотность теплового потока;
- определить температуры поверхностей стенки;
- если расчетные значения температур поверхностей стенки заметно отличаются от ранее принятых значений, то уточнить теплофизические параметры сред и повторить расчет коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи.

2.47. Что такое термическое сопротивление?

Термическое сопротивление – это способность тела (его поверхности или какого-либо слоя) препятствовать распространению теплового потока. Термическое сопротивление представляет собой величину, обратную тепловой проводимости.

Термическая проводимость характеризуется коэффициентами теплоотдачи и теплопередачи, а также отношением теплопроводности материала к толщине его слоя.

2.48. Виды термических сопротивлений.

Различают:

- полное (общее) термическое сопротивление – величину, обратную коэффициенту теплопередачи;
- поверхностное термическое сопротивление – величину, обратную коэффициенту теплоотдачи;
- термическое сопротивление слоя, равное отношению толщины слоя к его коэффициенту теплопроводности.

Термическое сопротивление сложной системы (например, многослойной плоской стенки) равно сумме термических сопротивлений ее частей.

Термическое сопротивление численно равно отношению температурного напора к плотности теплового потока.

2.49. Уравнение полного термического сопротивления применительно к теплопередаче через плоскую стенку.

Полное термическое сопротивление R_0 , $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$, представляет собой величину, обратную коэффициенту теплопередачи:

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2},$$

где α_1 и α_2 – коэффициенты теплоотдачи, $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

δ_i и λ_i – толщина, м, и коэффициент теплопроводности, $\text{Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$, i -го слоя плоской стенки.

2.50. Уравнение теплопередачи через плоскую стенку с использованием термического сопротивления.

Уравнение подобного типа широко используется при расчете тепловых потоков через ограждения зданий и сооружений.

$$\Phi = \frac{A}{R_0} (t_{\text{ж}1} - t_{\text{ж}2}),$$

где Φ – тепловой поток через ограждение, Вт ;

A – площадь поверхности ограждения, м^2 ;

$t_{\text{ж}1}$ и $t_{\text{ж}2}$ – температуры сред, $^\circ\text{C}$;

R_0 – полное термическое сопротивление, $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$.

2.51. Методы интенсификации теплопередачи.

Анализ расчетных уравнений для определения коэффициента теплопередачи и термического сопротивления показывает, что для интенсификации теплопередачи необходимо:

– уменьшить частные составляющие термического сопротивления, начиная с наибольшего из них;

– уменьшить толщину разделяющей стенки и использовать материалы для стенки с большей теплопроводностью;

– принять меры для предотвращения отложений и загрязнений (накипи, пригара, шлама, солей и др.) на разделяющей стенке;

– увеличить коэффициенты теплоотдачи, причем в первую очередь наименьший из них, т. к. коэффициент теплопередачи всегда меньше меньшего коэффициента теплоотдачи;

– предусматривать оребрение той поверхности разделяющей стенки, со стороны которой мал коэффициент теплоотдачи.

2.52. Что такое теплообменник (теплообменный аппарат)?

Теплообменник – это аппарат для передачи теплоты от среды с более высокой температуры (горячего теплоносителя) к среде с более низкой температурой (холодному теплоносителю). В теплообменниках организуется нагрев или охлаждение сред в зависимости от назначения теплообменника.

2.53. Теплоносители в теплообменных аппаратах.

Наиболее распространенными и доступными теплоносителями являются вода, водяной пар, газообразные продукты сгорания топлива (дымовые газы) и воздух. При этом вода и воздух могут быть как горячим, так и холодным теплоносителем, а водяной пар и дымовые газы являются горячими теплоносителями.

В теплообменных аппаратах могут использоваться и другие теплоносители в зависимости от назначения аппаратов (молоко, закалочное или трансформаторное масло, хладоны, аммиак и др.).

2.54. Классификация теплообменников по принципу действия.

По принципу действия теплообменники подразделяются на поверхностные и смешительные аппараты.

В поверхностных теплообменниках теплоносители соприкасаются с поверхностью теплообмена разделяющей стенки (тел) в виде насадки.

В смешительных теплообменных аппаратах теплообмен происходит при непосредственном контакте теплоносителей (сред). В них организуется смешение, например, водяного пара и воды. Такие теплообменники нередко называют контактными.

2.55. Что такое рекуперативные теплообменники?

Рекуперативными теплообменниками принято называть поверхностные теплообменные аппараты, в которых горячая и холодная

среды одновременно и постоянно протекают через теплообменник, и теплота передается через разделяющую их стенку. Они получили наибольшее распространение при решении задач теплоснабжения и теплопотребления.

2.56. Что такое регенеративные теплообменники?

Регенеративными теплообменниками принято называть поверхностные теплообменные аппараты, в которых одна и та же поверхность нагрева, образованная твердыми элементами насадки, через определенные промежутки времени омывается то горячей, то холодной средой. В период контакта с горячей средой элементы насадки нагреваются, а в период подачи холодной среды охлаждаются, нагревая ее за счет аккумулированной в насадке теплоты. Регенеративные теплообменники обычно используют для высокотемпературного нагрева воздуха теплотой газообразных продуктов топлива в металлургии и в котельных установках.

2.57. На какие теплообменники подразделяют рекуперативные теплообменники по конструктивным признакам?

По конструктивным признакам рекуперативные теплообменники подразделяют на кожухотрубчатые, пластинчатые, труба в трубе, змеевиковые, спиральные, рубашечные и др.

2.58. Как выглядит простейшая принципиальная схема кожухотрубчатого теплообменника?

В конструктивной схеме кожухотрубчатого теплообменника (рис. 2.3) предусмотрено размещение трубного пучка из теплообменных трубок небольшого диаметра внутри кожуха (корпуса). Концы трубок развальцованы в трубных решетках. С торцов кожух закрыт распределительными камерами.

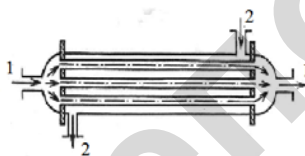


Рис. 2.3. Принципиальная схема кожухотрубчатого теплообменника:
1 – греющая среда; 2 – нагреваемая среда

Греющая среда (теплоноситель 1) движется в трубках пучка, а нагреваемая среда (теплоноситель 2) – в межтрубном пространстве между кожухом и наружной поверхностью трубок.

2.59. Схемы движения теплоносителей в теплообменнике.

Различают простые и сложные схемы движения теплоносителей.

К простым схемам относятся прямоток, противоток и перекрестный ток. Движение теплоносителей при прямотоке происходит параллельно друг другу в одном направлении, при противотоке – параллельно друг другу, но в противоположных направлениях, при перекрестном токе – во взаимно перпендикулярных направлениях.

Сложные схемы представляют собой комбинации из элементов простых схем, например, прямотока и противотока или многократно перекрестного тока. Выбор той или иной схемы движения производится в зависимости от назначения и конструктивного оформления теплообменника.

2.60. Какие виды расчета входят в состав расчета теплообменника?

Расчет теплообменников состоит из теплового, гидравлического (гидромеханического), компоновочного, механического и технико-экономического расчетов.

Основу расчета составляет тепловой расчет, т. к. он позволяет рассчитать требуемую площадь поверхности теплообмена и определить основные размеры теплообменника.

2.61. В чем заключаются задачи теплового расчета теплообменников в технологических линиях сельского хозяйства?

Задачи расчета теплообменников при производстве, хранении и обработке сельскохозяйственной продукции могут состоять в проектировании новых теплообменников или в проверке возможностей применения имеющегося теплообменника в заданных условиях его эксплуатации. Соответственно используют проектный (конструкторский) и поверочный тепловой расчет теплообменника.

2.62. Виды теплового расчета теплообменника.

При расчетах теплообменника используют проектный (конструкторский) и поверочный тепловой расчет теплообменника.

2.63. Задачи гидравлического расчета теплообменника.

Задачами гидравлического расчета является определение гидравлических сопротивлений и основных размеров теплообменника, а также затрат энергии на перемещение теплоносителей и сред через теплообменник.

2.64. Задачи компоновочного и механического тепловых расчетов теплообменников?

Задачей компоновочного расчета является определение основных конструктивных размеров теплообменника.

Цель механического расчета состоит в проверке деталей и соединений на прочность, плотность и жесткость. Здесь уточняется толщина и другие размеры основных конструктивных элементов (труб, кожуха, пластин, трубных решеток и др.).

2.65. Задачи технико-экономического расчета теплообменника.

Задачи технико-экономического расчета теплообменников состоят в определении стоимостных показателей и экономической эффективности предлагаемого технического решения.

2.66. Задачи и особенности проектного теплового расчета теплообменника.

Проектный расчет выполняют, если требуется создать новый теплообменник или выбрать теплообменник из числа аппаратов, производимых промышленностью. Задача расчета состоит в нахождении требуемой площади поверхности теплообмена и основных конструктивных размеров.

2.67. Исходные данные к проектному тепловому расчету теплообменника.

Исходными данными к проектному тепловому расчету теплообменника являются:

- требуемая мощность теплообменника;
- расходы теплоносителей;
- начальные температуры теплоносителей, их природа;
- теплофизические свойства теплоносителей.

2.68. Задачи и особенности поверочного теплового расчета теплообменника.

Поверочный расчет проводят для выявления возможности использования имеющегося теплообменника в условиях, отличающихся от нормативных условий, приведенных в паспорте аппарата. Задача состоит в расчете тепловой мощности теплообменника и конечных температур теплоносителей на его выходе.

2.69. Исходные данные к поверочному тепловому расчету теплообменника.

Исходными данными к расчету являются:

- площадь поверхности теплообмена и другие конструктивные характеристики теплообменника,
- расходы и начальные температуры теплоносителей.

2.70. Что является основой теплового расчета теплообменников?

Выполнение теплового расчета, независимо от его вида, основывается на уравнениях теплового баланса и теплопередачи.

Исходя из уравнения теплового баланса, находят тепловую мощность теплообменника, а также неизвестную температуру теплоносителя на входе (выходе) теплообменника или массовый расход одного из теплоносителей.

Уравнение теплопередачи используют для нахождения требуемой площади теплообмена.

2.71. В какой форме записывают уравнение теплового баланса рекуперативного теплообменника при теплообмене без изменения агрегатного состояния теплоносителей?

Тепловую мощность Φ , кВт, при неизменном агрегатном состоянии теплоносителей определяют через разность температур для каждого из теплоносителей:

$$\Phi = c_{p1}m_{i1}(t_1' - t_1'')\eta = c_{p2}m_{i2}(t_2'' - t_2'),$$

где c_{p1} и c_{p2} – удельные изобарные теплоемкости горячего и холодного теплоносителя, кДж/(кг·К);

m_{i1} и m_{i2} – массовые расходы горячего и холодного теплоносителя, кг/с;

t_1' и t_2' – температуры горячего и холодного теплоносителя на входе в теплообменник, °С;

t_1'' и t_2'' – температуры горячего и холодного теплоносителя на выходе теплообменника, °С;

η – КПД теплообменного аппарата.

2.72. Особенность уравнения теплового баланса теплообменника при изменении агрегатного состояния горячего теплоносителя.

В этом случае расчет теплового потока, отдаваемого горячим теплоносителем, производят через разность энтальпий, т. к. в изобарном процессе конденсации горячего теплоносителя его температура остается постоянным.

Уравнение теплового баланса приобретает следующий вид:

$$\Phi = m_{i1}(h_1' - h_1'')\eta = c_{p2}m_{i2}(t_2'' - t_2'),$$

где Φ – тепловая мощность теплообменника, кВт;

m_{i1} и m_{i2} – массовые расходы горячего и холодного теплоносителя, кг/с;

h_1' и h_1'' – удельные энтальпии горячего теплоносителя на входе и выходе теплообменного аппарата, кДж/кг.

c_{p2} – удельная изобарная теплоемкость холодного теплоносителя, кДж/(кг·К);

η – КПД теплообменного аппарата.

2.73. Уравнение теплопередачи для расчета теплообменников.

Уравнение теплопередачи для расчета теплообменников записывают с учетом изменения температурного напора по поверхности теплообмена:

$$\Phi = k A \Delta t_{cp} \cdot 10^{-3};$$

где Φ – тепловая мощность теплообменника, кВт;

k – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К);

A – площадь поверхности теплообмена, м²;

Δt_{cp} – средний температурный напор, °С.

Уравнение теплопередачи позволяет определить необходимую площадь поверхности теплообмена при заданной тепловой мощности теплообменника.

2.74. Что такое средний температурный напор при расчете рекуперативного теплообменника, от каких факторов он зависит?

Средний температурный напор – это температурный напор, усредненный по поверхности теплообмена (по длине) теплообменного аппарата.

При этом температурным напором называют разность температур двух сред (теплоносителей), между которыми происходит теплообмен.

Средний температурный напор зависит от следующих факторов:

- температур теплоносителей на входе и выходе теплообменника;
- схемы движения теплоносителей в теплообменнике.

2.75. Какое уравнение используют при расчете среднелогарифмического температурного напора?

Среднелогарифмический температурный напор Δt_{cp} , °С, находят как:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_B - \Delta t_M}{\ln \frac{\Delta t_B}{\Delta t_M}},$$

где Δt_B и Δt_M – больший и меньший температурные напоры (разности температур между теплоносителями) на концах (входе и выходе) теплообменника, °С.

2.76. Как рассчитать среднеарифметический температурный напор, и при каких условиях им можно пользоваться?

При малом изменении температурного напора допустимо пользоваться среднеарифметическим температурным напором, Δt_{cp} , °С:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_B + \Delta t_M}{2}.$$

где Δt_B и Δt_M – больший и меньший температурные напоры (разности температур между теплоносителями) на концах (входе и выходе) теплообменника, °С.

Среднеарифметический температурный напор всегда больше среднелогарифмического.

Для обеспечения приемлемой погрешности расчета (не более 3 %) должно выполняться условие $(\Delta t_B / \Delta t_M) \leq 1,7$.

2.77. Температурные графики теплоносителей при прямотоке и противотоке.

Из рассмотрения температурных графиков можно заключить, что температурный напор в теплообменнике изменяется при прямотоке в больших размерах.

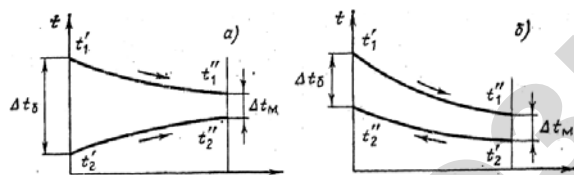


Рис. 2.4. Температурные графики теплоносителей при прямотоке (а) и противотоке (б)

Сравнение средних температурных напоров показывает, что при одинаковых температурах теплоносителей на входе и выходе теплообменника наибольший средний температурный напор характерен для противотока, наименьший – для прямотока.

2.78. Сравнение прямотока и противотока.

С теплотехнической точки зрения всегда следует отдавать предпочтение противотоку, если какие-либо другие причины (например, технологические или конструктивные) не заставляют применять другие схемы.

Благодаря большей величине среднего температурного напора требуемая поверхность теплообмена теплообменника при противотоке оказывается меньшей, чем при прямотоке. За счет только этого фактора теплообменник получается компактнее при противотоке.

При противотоке оказывается возможным нагреть холодный теплоноситель до температуры, превышающей температуру горячего теплоносителя на выходе теплообменника.

Недостатком противоточной схемы являются более тяжелые температурные условия для материала поверхности теплообмена при высоких температурах теплоносителей, так как отдельные ее участки со стороны входа горячего теплоносителя омываются с обеих сторон теплоносителями с максимальной температурой. Поэтому в этих условиях используют прямоток.

2.79. Как рассчитать средний температурный напор для перекрестноточных и сложных схем движения теплоносителей?

При расчете среднего температурного напора Δt_{cp} , °С, для перекрестноточных и сложных схем движения теплоносителей следует учитывать влияние схемы движения введением поправочного коэффициента к среднему температурному напору при противотоке.

$$\Delta t_{cp} = \epsilon_{\Delta t} \Delta t_{cp}^{пр},$$

где $\epsilon_{\Delta t}$ – поправочный коэффициент;

$\Delta t_{cp}^{пр}$ – среднелогарифмический температурный напор для противотока, °С.

Значение поправочного коэффициента определяется схемой движения и вспомогательными величинами, представленными в виде отношений:

$$P = \frac{t_2'' - t_2'}{t_1' - t_2'} \quad \text{и} \quad R = \frac{t_1' - t_1''}{t_2'' - t_2'}$$

где t_1' и t_2' – температуры горячего и холодного теплоносителя на входе в теплообменник, °С;

t_1'' и t_2'' – температуры горячего и холодного теплоносителя на выходе теплообменника, °С;

Для нахождения коэффициента $\epsilon_{\Delta t}$ разработаны номограммы и составлены программы применительно к распространенным схемам.

2.80. Какие этапы включает алгоритм проектного теплового расчета теплообменников?

Алгоритм проектного теплового расчета теплообменников включает следующие этапы:

- выбор конструктивной схемы теплообменника;
- выбор схемы движения теплоносителей и изображение температурного графика в теплообменнике;
- расчет коэффициента теплопередачи;
- расчет среднего температурного напора;
- расчет площади поверхности теплообмена по уравнению теплопередачи;
- определение других конструктивных параметров (длины труб, числа пластин, числа секций и т. д.), исходя из расчетной площади поверхности теплообмена и принятой конструктивной схемы теплообменника.

Для типовых конструкций теплообменников (калориферов, водоподогревателей и др.) предложены эмпирические зависимости для расчета коэффициента теплопередачи. Такие зависимости учитывают назначение и конструктивное оформление теплообменника, скорость теплоносителей в теплообменнике и влияние теплофизических свойств теплоносителя.

2.81. Безразмерные параметры работы теплообменников.

Безразмерными параметрами, характеризующими работу теплообменников, являются отношение водяных эквивалентов W , число единиц переноса (ЧЕП) N и коэффициент эффективности ϵ .

2.82. Что такое водяной эквивалент?

Водяным эквивалентом или полной теплоемкостью массового расхода теплоносителя принято называть произведение удельной теплоемкости на массовый расход.

2.83. Как рассчитать водяной эквивалент?

При расчете следует использовать выражения:

$$C_1 = c_{p1}m_{t1}10^3; \quad C_2 = c_{p2}m_{t2}10^3,$$

где C_1 и C_2 – водяные эквиваленты горячего и холодного теплоносителя, Вт/К;

c_{p1} и c_{p2} – удельные изобарные теплоемкости горячего и холодного теплоносителя, кДж/(кг·К);

m_{t1} и m_{t2} – массовые расходы горячего и холодного теплоносителя, кг/с.

2.84. Что такое отношение водяных эквивалентов?

Отношение водяных эквивалентов характеризуется соотношением:

$$W = \frac{C_M}{C_B},$$

где C_M и C_B – меньший (из двух) и больший (из двух) водяной эквивалент теплоносителя в теплообменнике, Вт/К.

Отношение водяных эквивалентов изменяется в пределах от 0 до 1. Значение «нуль» характерно при изменении агрегатного состояния одного из теплоносителей.

2.85. Что такое число единиц переноса?

Число единиц переноса является комплексной безразмерной характеристикой условий теплопередачи в теплообменнике:

$$N = \frac{kA}{C_M},$$

где k – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К);

A – площадь поверхности теплообмена, м²;

C_M – меньший (из двух) водяной эквивалент теплоносителя, Вт/К.

2.86. Коэффициент эффективности теплообменника.

Коэффициент эффективности теплообменника ε представляет собой отношение фактической тепловой мощности теплообменника к максимально возможной тепловой мощности при заданных условиях теплообмена:

$$\varepsilon = \frac{\Phi}{C_M(t_1' - t_2')} 10^3,$$

где Φ – тепловая мощность теплообменника, кВт;

C_M – меньший (из двух) водяной эквивалент теплоносителя, Вт/К.

t_1' и t_2' – температуры горячего и холодного теплоносителя на входе в теплообменник, °С.

2.87. При каких условиях могут быть достигнуты максимально возможные значения коэффициента эффективности и тепловой мощности теплообменника?

Максимально возможная тепловая мощность и максимальное значение коэффициента эффективности $\varepsilon \rightarrow 1$ могут быть достигнуты при противотоке и площади поверхности теплообмена $A \rightarrow \infty$.

2.88. Функциональная зависимость коэффициента эффективности теплообменника от других безразмерных параметров.

Безразмерные параметры, определяющие работу теплообменника, могут быть связаны в единое уравнение с использованием функциональной зависимости следующей структуры:

$$\varepsilon = f(N, W, k_\phi),$$

где ε – коэффициент эффективности;

N – число единиц переноса;

W – отношение водяных эквивалентов;

k_ϕ – характеристика схемы тока (схемы движения теплоносителей).

2.89. В каких пределах изменяется характеристика схемы тока и как ее найти?

Характеристика k_ϕ изменяется в пределах от 0 (для прямотока) до 1 (для противотока). Ее значение находят по справочным таблицам в зависимости от схемы движения теплоносителей.

2.90. Как влияет ЧЭП на коэффициент эффективности теплообменника?

Увеличение ЧЭП сопровождается ростом коэффициента эффективности, т. к. увеличение коэффициента теплопередачи и площади поверхности теплообмена приводит к увеличению тепловой мощности теплообменника.

При его увеличении коэффициент эффективности приближается к пределу, определяемому схемой движения теплоносителей.

2.91. Как влияет отношение водяных эквивалентов на коэффициент эффективности теплообменника?

Уменьшение отношения водяных эквивалентов приводит к росту коэффициента эффективности, однако при этом уменьшаются максимально возможная и реальная тепловая мощности теплообменника из-за уменьшения меньшего водяного эквивалента. Следует отметить, что обычно расходы и параметры теплоносителей задаются в исходных данных. Поэтому возможность изменения отношения водяных эквивалентов с целью влияния на коэффициент эффективности практически исключается.

2.92. Как влияет схема движения теплоносителей на коэффициент эффективности теплообменника?

Существенное влияние на коэффициент эффективности оказывает схема движения теплоносителей: наибольший коэффициент эффективности достигается при противотоке, а наименьший – при прямотоке. Остальные схемы занимают промежуточное положение в вопросе эффективности теплообменника.

2.93. Как рассчитать тепловую мощность теплообменника с использованием коэффициента эффективности?

При расчете следует пользоваться уравнением:

$$\Phi = \varepsilon C_M (t_1' - t_2') 10^{-3},$$

где Φ – тепловая мощность теплообменника, кВт;

ε – коэффициент эффективности;

C_M – меньший (из двух) водяной эквивалент теплоносителя, Вт/К.

t_1' и t_2' – температуры горячего и холодного теплоносителя на входе в теплообменник, °С.

2.94. Основные этапы поверочного расчета теплообменников.

При поверочном расчете оказывается невозможным применить уравнения теплового баланса и теплопередачи, которые при неизвестных значениях тепловой мощности и конечных температур теплоносителей не образуют систему уравнений, доступную для решения.

Основными этапами поверочного расчета являются:

- определение водяных эквивалентов теплоносителей и их отношения;
- выбор схемы движения теплоносителей;
- расчет коэффициента теплопередачи;
- определение числа единиц переноса;
- расчет коэффициента эффективности;
- определение тепловой мощности теплообменника;
- вычисление конечных температур теплоносителей (с помощью уравнения теплового баланса).

2.95. Как учитываются виды гидравлического сопротивления при гидравлическом расчете теплообменника?

При расчете учитываются два вида гидравлического сопротивления: сопротивление трения в каналах теплообменника и местные сопротивления при изменении скорости и направления движения

(при поворотах, при входе и выходе межтрубного пространства, при обтекании перегородок и др.).

При этом рассчитываются потери давления при сопротивлении трения и в местных сопротивлениях. Полные потери давления по тракту теплоносителя в теплообменнике можно найти, суммируя потери давления в результате трения и в местных сопротивлениях.

2.96. Как рассчитать потери давления при сопротивлении трения?

Потери давления при сопротивлении трения ΔP_T , Па:

$$\Delta P_T = \lambda_T \frac{L}{d} \rho \frac{w^2}{2},$$

где λ_T – коэффициент гидравлического трения;

L и d – длина и диаметр (эквивалентный диаметр) канала, м;

ρ – плотность теплоносителя (среды), кг/м³;

w – скорость среды, м/с.

Коэффициенты гидравлического трения определяют в зависимости от числа Рейнольдса и шероховатости поверхности каналов.

2.97. Как рассчитать потери давления в местных сопротивлениях?

Потери давления в местных сопротивлениях ΔP_{MC} , Па:

$$\Delta P_{MC} = \zeta \rho \frac{w^2}{2},$$

где ζ – коэффициент местного сопротивления;

ρ – плотность теплоносителя (среды), кг/м³;

w – скорость среды, м/с.

Коэффициенты местных сопротивлений находят в зависимости от вида местного сопротивления. При этом используют рекомендуемые зависимости и справочные данные.

2.98. Как рассчитать мощность привода насоса (вентилятора), необходимую для перемещения теплоносителя через теплообменник?

Перемещение теплоносителей через теплообменный аппарат обычно осуществляется принудительно с помощью насосов и вентиляторов.

При этом мощность привода $N_{\text{пр}}$, кВт:

$$N_{\text{пр}} = \frac{\Delta P m_t}{1000 \rho \eta_{\text{н}}},$$

где ΔP – суммарные потери давления по тракту теплоносителя, Па;

m_t – массовый расход теплоносителя, кг/с;

ρ – плотность теплоносителя, кг/м³;

$\eta_{\text{н}}$ – КПД насоса (вентилятора).

2.99. Что такое энергетический коэффициент теплообменника?

Чтобы найти тепловую мощность аппарата, отнесенную к единице затрачиваемой мощности привода, следует охарактеризовать энергоэффективность теплообменного аппарата.

При этом следует ввести энергетический коэффициент E , который определяет энергоэффективность эксплуатации теплообменного аппарата:

$$E = \frac{\Phi}{N_{\text{пр}}},$$

где Φ – тепловая мощность теплообменника, кВт;

$N_{\text{пр}}$ – мощность привода, кВт.

Чем больше этот коэффициент, тем меньше расход потребляемой электрической или механической энергии на привод насоса (вентилятора).

3. ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ В АПК

3.1. Деление теплотехнологического оборудования по производственным признакам.

Теплотехнологическое оборудование разделяют по производственным признакам:

по его назначению:

– оборудование для создания и регулирования микроклимата в производственных помещениях (калориферы и отопительные приборы, вентиляторы и насосы, фильтры и воздухораспределители, устройства для обогрева полов и почвы, увлажнители воздуха и другое);

– оборудование для тепловой обработки продукции (пастеризаторы, стерилизаторы, автоклавы, кормозапарники, картофелезапарочные агрегаты, запарники-смесители, водоподогреватели, варочные котлы и т. д.);

– оборудование систем охлаждения продукции (охладители молока, резервуары-охладители, испарители и конденсаторы, воздухоохладиатели и охлаждающие батареи, холодильные машины и водоохлаждающие установки);

– оборудование для сушки продукции (сушильные установки).

в зависимости от характера технологических процессов:

– оборудование для организации теплообменных процессов (теплообменные аппараты);

– оборудование для организации массообменных процессов (сушильные установки, увлажнительные устройства и другое).

3.2. В каких технологических линиях животноводческих ферм предусмотрено использование теплотехнологического оборудования?

Теплотехнологическое оборудование предусмотрено в следующих технологических линиях животноводческих ферм:

– кормоприготовления;

– создания и регулирования микроклимата;

- первичной обработки молока;
- мойки оборудования и посуды;
- по уходу за животными.

3.3. *Теплотехнологическое оборудование на животноводческих фермах.*

На животноводческих фермах используют калориферы и теплогенераторы, кормозапарники и автоклавы, пастеризаторы и охладители молока, пастеризационно-охладительные установки, резервуары (танки) для охлаждения и хранения молока, водоподогреватели и холодильные машины.

3.4. *Цель применения теплотехнологического оборудования в растениеводстве.*

Теплотехнологическое оборудование в растениеводстве применяют при обогреве теплиц и при сушке продукции растительного происхождения: зерна и семян, зеленых кормов, овощей и плодов.

3.5. *В чем состоит отличие машин и аппаратов периодического и непрерывного действия?*

Рабочий цикл машин и аппаратов состоит из трех операций; загрузка (поступление), обработка и выгрузка (удаление) продукта (среды).

По структуре рабочего цикла машины и аппараты могут быть периодического и непрерывного действия.

При периодическом действии рабочая среда или обрабатываемая продукция загружаются в оборудование, затем подвергаются воздействию в течение определенного времени, после которого они выгружаются (удаляются) из оборудования.

Если в машинах и аппаратах периодического действия основные операции рабочего цикла происходят с разрывом по времени, то в машинах и аппаратах непрерывного действия совершаются одновременно.

3.6. *В чем состоит задача тепловых расчетов теплотехнологического оборудования?*

Тепловая обработка продукции и рабочих сред, используемых при выполнении тех или иных технологических операций, состоит

в их нагревании (охлаждении) в оборудовании периодического и непрерывного действия. В первом случае загрузка (подача) и разгрузка (расходование) разделены во времени, а во втором они проходят одновременно (при этом обработка продукции и рабочих сред предусматривается в поточных аппаратах).

Задача тепловых расчетов состоит в определении требуемых размеров поверхности теплообмена и оборудования в целом, в установлении температурных режимов работы и продолжительности нагрева (охлаждения).

3.7. *В чем заключается особенность теплообмена при тепловой обработке продукции?*

Особенность состоит в том, что тепловая обработка продукции сопровождается различными видами теплообмена: теплопроводностью внутри обрабатываемой продукции или среды и конструкционных материалов оборудования, конвективным и лучистым теплообменом на поверхности продукции и оборудования, теплопередачей через теплообменные поверхности. Кроме того, особое значение имеет интенсификация тепловых процессов и применение энергосберегающих теплотехнологий и оборудования.

Подготавливается продукция к тепловой обработке с учетом того, что размеры обрабатываемого продукта влияют на продолжительность обработки и расход теплоты.

Особое значение для снижения расходов энергии имеет использование вторичных энергетических ресурсов (ВЭР), к которым относят теплоту нагретых жидкостей и газов после использования в технологических процессах. Таким вторичным энергоресурсом является пастеризованное молоко на выходе из пастеризатора, дымовые газы после нагревательных печей, вытяжной воздух, удаляемый из помещения, вода и воздух после конденсаторов холодильных машин и т. д.

Использование ВЭР принято называть утилизацией (регенерацией) теплоты, которую характеризует коэффициент регенерации.

3.8. *Что такое коэффициент регенерации?*

Коэффициент регенерации (коэффициент эффективности) определяет отношение количества полезно используемой теплоты вторичного энергоресурса к наибольшему количеству теплоты.

Рассмотрим, как его определить, на примере утилизации теплоты пастеризованного молока (рис. 3.1).

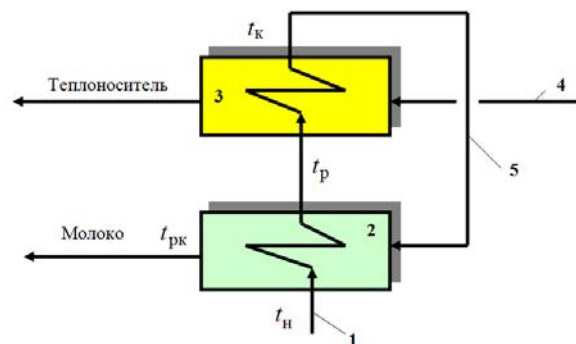


Рис. 3.1. Использование секции рекуперации в пастеризационной установке: 1 – трубопровод «сырого» молока; 2 – рекуператор (теплообменник, в котором утилизируется теплота пастеризованного молока); 3 – секция пастеризации; 4 – трубопровод теплоносителя (горячая вода или пар); 5 – трубопровод пастеризованного молока

Теоретически доступное для утилизации количество теплоты:

$$Q_{\Gamma} = c_p m (t_k - t_n),$$

где c_p – средняя удельная изобарная теплоемкость молока в интервале температур от t_n до t_k , кДж/(кг·К);

m – масса пастеризованного молока, кг.

Количество теплоты, используемое в рекуператоре:

$$Q_p = c_p^* m (t_p - t_n),$$

где c_p^* – средняя удельная изобарная теплоемкость молока в интервале температур от t_n до t_p , кДж/(кг·К).

Коэффициент регенерации можно определить по формуле:

$$E = \frac{Q_p}{Q_{\Gamma}} = \frac{c_p^* m (t_p - t_n)}{c_p m (t_k - t_n)}.$$

47

Если принять, что используемые в уравнениях удельные теплоемкости молока (в указанных температурных интервалах) практически равны, то получим окончательно:

$$E = \frac{t_p - t_n}{t_k - t_n}.$$

Эту величину можно выразить в относительных единицах и процентах.

3.9. По каким принципам эффективней проводить регенерацию теплоты?

Регенерацию можно производить по принципам прямотока и противотока. Значение коэффициента регенерации в обоих случаях различны. Теоретически возможное значение коэффициента регенерации при прямотоке составляет 50 %, при противотоке – 100 %. Отсюда можно сделать вывод, что значительно эффективней применять противоточную регенерацию.

На практике в пищевых отраслях АПК широко применяются регенераторы, в которых коэффициент регенерации составляет 80–95 %. Коэффициент регенерации при утилизации теплоты пастеризованного молока составляет 80–90 %, что обеспечивает экономию теплоты до 90 % от необходимого количества теплоты для пастеризации (при этом расход теплоты на пастеризацию снижается в 5–10 раз).

3.10. Каким способом можно увеличить коэффициент регенерации?

Увеличение коэффициента регенерации достигается увеличением поверхности нагрева. Исходя из уравнения теплового баланса и теплопередачи, имеем:

$$A = \frac{c_p M_t}{k} \cdot \frac{E}{1 - E},$$

где M_t – массовый расход обрабатываемого продукта, кг/с;
 k – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К).

48

Проанализировав это уравнение, можно определить, что для увеличения коэффициента регенерации с 0,5 до 0,75, необходимо увеличить площадь теплообмена в 3 раза; а для увеличения E до 0,9 – в 9 раз, что говорит о том, что сначала площадь растет медленно, а потом резко.

3.11. Какова цель интенсификации тепловых процессов?

Цель интенсификации тепловых процессов состоит в повышении эффективности работы оборудования и снижении расходов тепловой энергии. Интенсификация тепловых процессов предусматривает использование энергосберегающих процессов и оборудования. Она способствует уменьшению габаритов оборудования, снижению его материалоемкости и теплопотерь; достигается путем повышения коэффициента теплоотдачи, применения оребрения поверхности теплообмена, снижения термического сопротивления теплопроводности разделяющей стенки и повышения температурного напора.

Однако следует учитывать, что возможности повышения температурного напора ограничены технологическими режимами работы оборудования (температурами используемых теплоносителей и допустимыми температурами обрабатываемой продукции).

3.12. В чем заключаются методы интенсификации тепловых процессов?

Методы интенсификации тепловых процессов состоят в интенсификации теплообмена (повышения коэффициентов теплоотдачи на теплоотдающих поверхностях), в рациональном выборе оборудования и технологических режимов, в использовании вторичных энергоресурсов и аккумуляции теплоты.

При использовании в качестве теплоносителя водяного пара необходимо своевременно отводить конденсат и не допускать появления воздуха в составе конденсирующегося пара.

3.13. Способы повышения коэффициентов теплоотдачи на теплоотдающих поверхностях.

Для повышения коэффициента теплоотдачи необходимо обеспечить турбулизацию потоков за счет увеличения скорости и применения специальных элементов (например, гофрированных пластин,

оребрённых поверхностей). Важное значение имеет замена свободной конвекции на вынужденную за счет применения побуждающих устройств (мешалок, вентиляторов и других устройств) и улучшение циркуляции среды, которое может быть обеспечено рациональным размещением греющих поверхностей (в днищах, внизу боковых стенок).

3.14. Какие схемы движения теплоносителей используются в теплообменном оборудовании технологических линий АПК?

В конструкциях теплообменных аппаратов могут быть использованы различные схемы движения теплоносителей: прямоточная, противоточная, с перекрестным током и смешанного тока. При смешанном токе часто применяют сложные схемы (рис. 3.2).

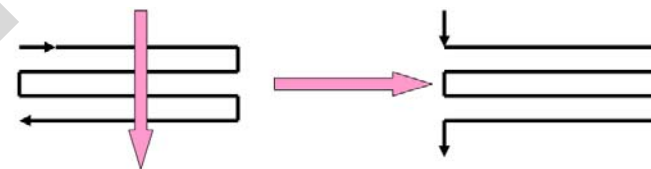


Рис. 3.2. Сложные схемы движения теплоносителей: 1 – многократно-перекрестная; 2 – прямоточно-противоточная

3.15. В чем заключаются основные задачи теплового расчета теплообменного оборудования в технологических линиях АПК?

Тепловой расчет подразделяется на проектный (конструктивный) и поверочный.

В ходе проектного расчета определяется требуемая площадь поверхности теплообмена и выбирается соответствующее оборудование по его техническим характеристикам или проектируется новое. При выполнении проектного расчета, как правило, предварительно следует выбрать тип теплообменного аппарата, задать скорость рабочих сред, используя рекомендованные значения. Затем определить требуемые площади живого сечения трубок, межтрубного пространства, каналов между пластинами, пространства между корпусом и рубашкой и т. п. Приняв площадь живого сечения по техническим характеристикам выбранного оборудования или по конструктивным

данным проектируемого, определить действительные скорости рабочих сред в элементах тепловых аппаратов. После этого выполнить расчет коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи. В конце проектного расчета, определив предварительно средний температурный напор, вычислить требуемую площадь поверхности теплообмена.

3.16. Как определить средний температурный напор при использовании сложных схем движения теплоносителя?

Расчет среднего температурного напора при использовании сложных схем движения теплоносителей производится по формуле:

$$\Delta t_{CP} = \varepsilon_{\Delta t} \frac{(\Delta t_6 - \Delta t_M)}{\ln \frac{\Delta t_6}{\Delta t_M}},$$

где $\varepsilon_{\Delta t}$ – поправочный коэффициент, определяемый по соответствующим графикам в справочной литературе, как функция $\varepsilon_{\Delta t} = f(P, R)$ [25];

$\Delta t_6, \Delta t_M$ – температурные напоры, определяемые по противоточной схеме движения теплоносителей, °С.

$$P = \frac{t_2'' - t_2'}{t_1' - t_2'} = \frac{\Delta t_2}{\Delta t_{max}};$$

$$R = \frac{t_1' - t_1''}{t_2'' - t_2'} = \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}.$$

3.17. Для чего проводить гидравлический расчет теплообменных аппаратов?

Увеличение скорости рабочих сред приводит к интенсификации теплообмена и, как следствие, увеличению потерь давления. При этом снижаются капитальные затраты за счет уменьшения габаритов оборудования и его материалоемкости, но увеличиваются эксплуатационные затраты в связи с увеличением расходов энергии на перемещение рабочих сред.

При расчетах используют рекомендуемый интервал оптимальных значений скорости теплоносителя или рабочей среды.

Задачей гидравлического расчета теплообменных аппаратов является определение потерь давления и основных размеров аппарата, исходя из условия обеспечения допустимых потерь давления. Различают два вида гидравлических сопротивлений: сопротивление трения, которое обусловлено вязкостью рабочих сред, и местные сопротивления, в которых наблюдается сужение или расширение потока, изменение направления потока, изменение направления движения, смешение или разделение потоков и т. п.

Потери давления в результате гидравлического трения (по длине каналов) определяются:

$$\Delta P_T = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho \omega^2}{2},$$

где λ – коэффициент гидравлического трения, зависит от режима движения и шероховатости стенок канала;

l, d – длина и диаметр канала, м;

ρ – плотность среды, кг/м³;

ω – скорость среды в канале, м/с.

Потери давления в местных сопротивлениях:

$$\Delta P_{MC} = \xi \frac{\rho \omega^2}{2},$$

где ξ – коэффициент местного сопротивления, определяется видом и особенностями местного сопротивления.

Суммарные потери давления:

$$\Delta P = \sum \Delta P_T + \sum \Delta P_{MC}.$$

Местные сопротивления, равномерно распределенные по длине канала (например, между гофрированными пластинами), нередко учитывают условным коэффициентом гидравлического сопротивления (ξ_y):

$$\Delta P = \xi_y \frac{l_P}{d} \cdot \frac{\rho \omega^2}{2},$$

где l_P – приведенная (расчетная) длина канала, м.

3.18. Зачем проводить гидравлический расчет теплообменных аппаратов?

Увеличение потерь давления приводит к увеличению затрат энергии. Мощность на валу насоса или вентилятора в этом случае:

$$N = \frac{Q_V \Delta P}{\eta} = \frac{Q_m \Delta P}{\eta \cdot \rho},$$

где Q_V – объемный расход теплоносителя, м³/с;
 Q_m – массовый расход теплоносителя, кг/с;
 ρ – плотность среды, кг/м³;
 η – КПД насоса или вентилятора.

Допустимые потери давления могут быть определены техническими характеристиками используемых насосов или вентиляторов, а также напором воды в водопроводе или в системе горячего водоснабжения.

3.19. В чем заключаются основные задачи поверочного расчета теплообменного оборудования в технологических линиях АПК?

В ходе поверочного расчета определяют конечные температуры рабочих сред и переданное количество теплоты при известных конструктивных характеристиках оборудования, используя известные уравнения теплового баланса и теплопередачи.

Конечные температуры можно рассчитать по формулам:

$$t_1'' = t_1' - (t_1' - t_2') \varepsilon_1 \frac{W_{\min}}{W_1};$$

$$t_2'' = t_2' + (t_1' - t_2') \varepsilon_2 \frac{W_{\min}}{W_2},$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – эффективность теплообменного аппарата, определяемая долей его действительной тепловой мощности от максимально возможной;

W_{\min} – наименьшее значение из W_1 и $W_2 \rightarrow W_{\min} = A_{\min}(W_1, W_2)$;

W_1, W_2 – полные теплоемкости, равные произведению средней удельной изобарной теплоемкости на массовый расход теплоносителя.

3.20. В чем заключается метод ϕ -тока при расчете теплообменного оборудования в технологических линиях АПК?

Необходимость использовать для каждой конкретной схемы движения теплоносителей свою, отличную от других, формулу эффективности затрудняет проведение расчетов. Для устранения указанного недостатка используют метод ϕ -тока. В соответствии с этим методом зависимость эффективности (ε_2) от числа единиц переноса ($N_2 = KA / W_2$) и относительной полной теплоемкости ($\omega = W_2 / W_1$) для всех без исключения схем движения теплоносителей описывается единой формулой:

$$\varepsilon_2 = \frac{1 - \exp[-N_2(1 + \omega(1 - 2f_\phi))]}{1 + \omega(1 - f_\phi) - \omega f_\phi \exp[-N_2(1 + \omega(1 - 2f_\phi))]},$$

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 \frac{W_2}{W_1} = \varepsilon_2 \omega,$$

где f_ϕ – характеристика схемы тока (при $f_\phi = 0$ – прямоток; при $f_\phi = 1$ – противоток).

Идея метода ϕ -тока основана на том, что значения эффективности для подавляющего большинства сложных схем лежат между значениями эффективности для прямотока и противотока. Характеристики схемы тока и предельной эффективности аппаратов для различных схем движения теплоносителей приведены в специальной литературе [25, 26].

Пользуясь методом эффективности, удобно проводить не только поверочные, но и тепловые конструктивные расчеты теплообменных аппаратов с самыми различными схемами движения теплоносителей.

3.21. Как изменяется температурный напор при нагревании продукции в проточных аппаратах?

При расчете изменения температуры рабочих сред используют дифференциальное уравнение теплопередачи и теплового баланса. Их следует записывать с учетом того, что параметры процесса не зависят от его времени.

Рассмотрим простейший теплообменный аппарат, работающий по схеме прямотока (рис. 3.3). По ходу движения горячего теплоносителя (более горячей рабочей среды) его температура снижается, поэтому $dt_1 < 0$ (т. е. берется со знаком «-»), а $dt_2 > 0$ (увеличивается и берется со знаком «+»).

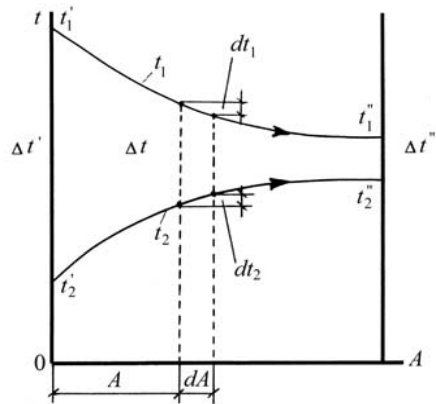


Рис. 3.3. Распределение температур в прямоточном теплообменном аппарате

Учитывая эти замечания, будем иметь следующие уравнения:

$$d\Phi = k\Delta t dA;$$

$$d\Phi = -c_1 m_1 dt_1;$$

$$d\Phi = c_2 m_2 dt_2.$$

Из последних уравнений получим:

$$dt_1 = -\frac{d\Phi}{W_1};$$

$$dt_2 = \frac{d\Phi}{W_2}.$$

Изменение температурного напора при этом:

$$d(\Delta t) = dt_1 - dt_2 = -\left(\frac{1}{W_1} + \frac{1}{W_2}\right)d\Phi$$

или

$$-\left(\frac{1}{W_1} + \frac{1}{W_2}\right)d\Phi = -md\Phi;$$

$$d(\Delta t) = dt_1 - dt_2 = -md\Phi.$$

Подставив полученные данные в уравнение теплопередачи (принимая $m = \text{const}$, $k = \text{const}$) и интегрируя, получаем окончательно:

$$\Delta t = \Delta t' \exp(-mkA).$$

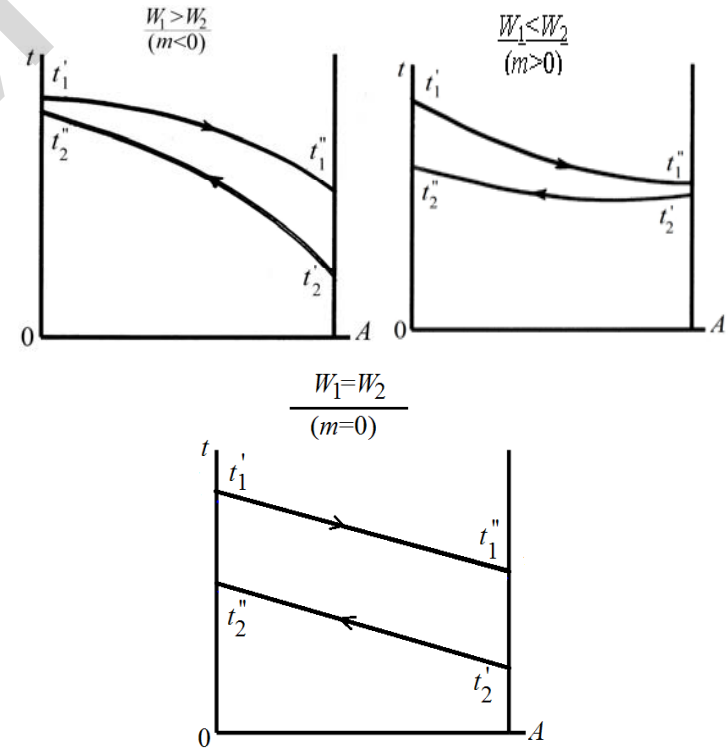


Рис. 3.4. Характеристики изменения температур теплоносителей в теплообменных аппаратах при противотоке

При противотоке температуры обоих теплоносителей вдоль поверхности теплообмена убывают, и уравнение теплового баланса примет вид:

$$d\Phi = -W_1 dt_1 = -W_2 dt_2.$$

Изменение температурного напора:

$$d(\Delta t) = \left(\frac{1}{W_1} - \frac{1}{W_2} \right) d\Phi = -m d\Phi.$$

Поэтому в аппаратах с противоточной схемой движения Δt по ходу первичной среды уменьшается лишь для случая: $W_1 < W_2$ или ($m > 0$), но при $W_1 > W_2$ или ($m < 0$) Δt увеличивается. После аналогичных решений получаем, что в общем случае:

$$\Delta t = \frac{\Delta t'' - \Delta t'}{\ln \frac{\Delta t''}{\Delta t'}} \quad \text{или} \quad \Delta t = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_M}{\ln \frac{\Delta t_6}{\Delta t_M}}.$$

Графически изменение среднего температурного напора при противотоке для различных соотношений значений полных теплоемкостей теплоносителей можно представить на рис. 3.4.

3.22. Особенности при нагревании продукции в аппаратах периодического действия.

При производстве и обработке сельскохозяйственной продукции используют рекуперативные поверхностные теплообменные аппараты периодического действия. К ним относятся резервуары охлаждения молока, автоклавы для стерилизации продукции, водоподогреватели. В таких аппаратах предусматривают нагревание (охлаждение) рабочих сред и продукции через поверхность теплообмена с последующим выдерживанием при заданном температурном режиме.

Аппарат периодического действия характеризуется переменным тепловым режимом: изменяется температура обрабатываемой рабочей среды в аппарате и температура теплоносителя (хладоносителя) на выходе из аппарата. Поверхность теплообмена может быть

выполнена внутри аппарата (например, в виде змеевиков) или вблизи совместной с корпусом аппарата рубашкой.

При работе аппарата обеспечиваются постоянными расход теплоносителя (хладоносителя) и его температура на входе в аппарат.

3.23. Температурные графики при нагревании продукции в аппаратах периодического действия.

Температурные графики при нагревании (охлаждении) обрабатываемой среды в аппарате периодического действия в зависимости от времени его работы представлены на рис. 3.5. Следует учитывать, что греющая (охлаждающая) среда при осуществлении теплопередачи с обрабатываемой средой не изменяет своего агрегатного состояния.

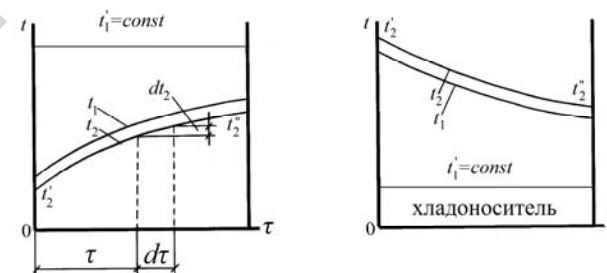


Рис. 3.5. Температурные графики обрабатываемой среды в аппаратах периодического действия:

t_1' – температура теплоносителя (хладоносителя) на входе в аппарат;
 t_2 – переменная температура обрабатываемой среды, которая изменяется от начальной температуры t_2' до конечной (заданной) t_2''

3.24. Как определить продолжительность тепловой обработки продукции в аппаратах периодического действия?

Для момента времени τ дифференциальное уравнение теплопередачи и уравнение теплового баланса могут быть записаны в виде:

$$dQ = kA\Delta t d\tau = c_2 m_2 dt_2 = c_1 m_1 (t_1' - t_1) d\tau,$$

где k – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К);

Δt – средний температурный напор в момент времени τ , °С;

A – поверхность теплопередачи, м²;

c_1, c_2 – удельные теплоемкости рабочих сред, Дж/(кг·К);

t_1, t_2 – температуры обрабатываемой и греющей среды соответственно, °С;

m_2 – масса обрабатываемой среды, кг;

$m_{г1}$ – массовый расход греющей среды, кг/с.

Уравнение среднего температурного напора:

$$\Delta t = \frac{(t_1' - t_2) - (t_1 - t_2'')}{\ln \frac{t_1' - t_2}{t_1 - t_2'}} = \frac{t_1' - t_1}{\ln \frac{t_1' - t_2}{t_1 - t_2'}}$$

Исходя из этих выражений, продолжительность тепловой обработки продукции до заданной температуры t_2 :

$$\tau = \frac{\ln \frac{t_1' - t_2}{t_1 - t_2'}}{\frac{c_1 m_{г1}}{c_2 m_2} [1 - \exp(-\frac{kA}{c_1 m_{г1}})]}$$

3.25. Как уменьшить продолжительность тепловой обработки продукции в аппаратах периодического действия?

Для сокращения продолжительности тепловой обработки необходимо увеличить расход теплоносителя (хладоносителя), число единиц переноса N^1 путем увеличения площади поверхности теплообмена и коэффициента теплопередачи и увеличить температуру используемого теплоносителя (снизить температуру хладоносителя) на входе в аппарат.

При бесконечно развитой поверхности теплообмена, когда $kA \rightarrow \infty$, имеем:

$$\tau = \frac{c_2 m_2}{c_1 m_{г1}} \ln \frac{t_1' - t_2}{t_1' - t_2'}$$

¹ Число единиц переноса определяют по формуле $N = \frac{kA}{c_1 m_{г1}}$.

3.26. Как определить среднюю температуру тепловой обработки продукции в аппаратах периодического действия?

При расчете коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи необходимо определить средние температуры:

а) обрабатываемой в аппарате среды:

$$t_2 = t_1' - \frac{t_2'' - t_2'}{\ln \frac{t_1' - t_2''}{t_1' - t_2'}}$$

б) теплоносителя (хладоносителя):

$$t_1 = t_1' - \frac{c_2 m_2}{c_1 m_{г1}} (t_2'' - t_2')$$

3.27. Температурные графики при нагревании продукции в аппаратах периодического действия. Когда теплоноситель меняет свое агрегатное состояние?

При использовании в качестве теплоносителя (хладоносителя) среды, изменяющей свое агрегатное состояние (например, водяного пара или паров холодильного агента) температурные графики принимают вид см. рис. 3.6.

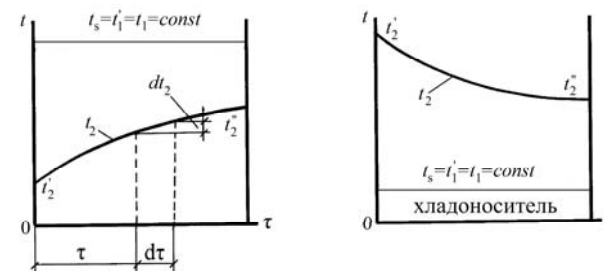


Рис. 3.6. Температурные графики обрабатываемой среды, меняющей свое агрегатное состояние в аппаратах периодического действия: t_1' – температура теплоносителя (хладоносителя) на входе в аппарат, равная температуре насыщения t_s ; t_2 – переменная температура обрабатываемой среды, которая изменяется от начальной температуры t_2' до конечной (заданной) t_2''

3.28. Как определить продолжительность тепловой обработки продукции в аппаратах периодического действия, если среда меняет свое агрегатное состояние?

Дифференциальное уравнение для рассматриваемого случая примет вид (распределение температур и основные обозначения см. рис. 3.6):

$$dQ = kA\Delta t d\tau = D(h_1 - h_2)d\tau = c_2 m_2 dt_2,$$

где k – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К);
 Δt – средний температурный напор в момент времени τ , °С;
 A – поверхность теплопередачи, м²;
 D – расход теплоносителя (хладоносителя), кг/с;
 h_1 – энтальпия пара, Дж/кг;
 h_2 – энтальпия конденсата, Дж/кг;
 c_2 – удельная теплоемкость нагреваемой среды, Дж/(кг·К);
 t_2 – температура обрабатываемой среды, °С;
 m_2 – масса обрабатываемой среды, кг.

Преобразовав и проинтегрировав представленное дифференциальное уравнение, получаем продолжительность нагрева до температуры t_2 :

$$\tau = \frac{c_2 m_2}{kA} \ln \frac{t_s - t_2'}{t_s - t_2}.$$

Для уменьшения продолжительности процесса тепловой обработки необходимо развить поверхность теплообмена и увеличить температуру насыщения водяного пара или уменьшить температуру насыщения паров холодильного агента.

3.29. Для чего проводится тепловая обработка кормов?

Тепловая обработка проводится с целью улучшения вкусовых и питательных свойств корма, а также уничтожения болезнетворных бактерий и микроорганизмов.

Аппараты для тепловой обработки кормов работают, как правило, по принципу смешения водяного пара с обрабатываемой средой (кормами). При этом необходимо выдерживать температурный и временный

режимы с тем, чтобы корм хорошо пропарился, размягчился и прошел гарантированную стерилизацию. После обработки корм охлаждают до температуры 40 °С. Обработанный корм должен быть сразу же скормлен животным, так как он не подлежит длительному хранению. Кроме того, остывший корм плохо поедается животными.

3.30. Какое оборудование применяется для тепловой обработки кормов?

Машины и оборудование для тепловой обработки кормов по способу обработки делятся на кормозапарники (запарные чаны), запарники-смесители, кормозапарочные агрегаты, варочные котлы (автоклавы) и сушильные установки, а по способу выполнения технологического процесса – на аппараты периодического и непрерывного действия.

Существенный недостаток кормозапарников – неравномерное запаривание корма. Для получения высококачественного и однородного корма, его необходимо запаривать одновременно со смешиванием. Поэтому наибольшее распространение получили запарники-смесители С-2, С-7, С-12, ЗС-6, ВК-1 (цифра характеризует рабочий объем в м³), используемые для приготовления кормовых смесей для КРС, свиней и птицы. Наиболее популярными являются также кормоприготовительные аппараты ЗПК-4 и АЗК-3, используемые для мойки и запаривания картофеля и приготовления кормосмесей. Автоклавы применяют для стерилизации пищевых отходов (при избыточном давлении и температуре до 145 °С).

Запарник-смеситель кормов С-12 (рис. 3.7) служит для приготовления кормовых смесей влажностью 65–80 % из запаренных или сырых кормов. Рабочий объем запарника-смесителя – 12 м³, что позволяет запаривать и смешивать как сочные корма, так и смеси из грубых стебельчатых кормов. Грубые корма перед запариванием измельчают до частиц размером 50 мм.

При работе смесителя лопасти одного вала перемешивают корм в сторону привода, а лопасти другого – к выгрузной горловине. Пар подводится к парораспределителю с двух сторон внизу корпуса.

Производительность при механизированной загрузке на приготовлении кормосмесей составляет: с запариванием – 5 т/ч, без запаривания – 10 т/ч. Производительность шнека при выгрузке кормосмесей – до 40 т/ч.

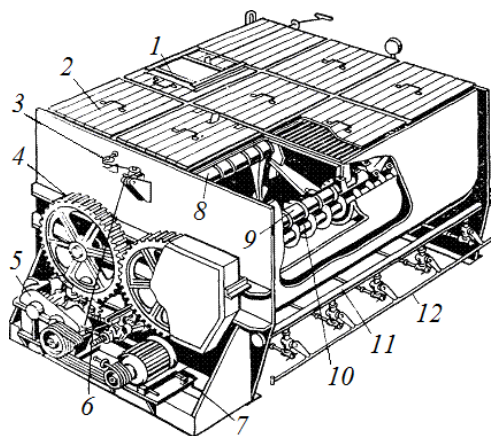


Рис. 3.7. Общий вид запарника-смесителя С-12:

1 – крышка смесителя; 2 – щит; 3 – система управления шнеком и задвижкой; 4 – зубчатые колеса; 5 – редуктор привода; 6 – натяжное устройство цепной передачи; 7 – натяжное устройство; 8, 9 – левый и правый лопастные валы; 10 – парораспределитель; 11, 12 – система управления парораспределителя

Остальные запарники-смесители (С-2, С-7, ЗС-6, ВК-1) устроены аналогично аппарату С-12.

Картофелезапарочный агрегат АЗК-3 служит для мойки, измельчения и запаривания картофеля, а также для отделения примесей. Он может использоваться самостоятельно при закладке на силос запарного картофеля или в составе комплектов оборудования кормоцехов для приготовления кормовых смесей на свиноводческих фермах. Производительность при запаривании картофеля составляет 3 т/ч.

Кормоприготовительный агрегат ЗПК-4 используют для мойки, запаривания и разминания картофеля на свиноводческих фермах.

Для получения пара с целью использования его для тепловой обработки кормов, нагрева воды, обогрева животноводческих помещений, стерилизации молочного оборудования используют котлы-парообразователи КВ-300М, КВ-300МТ, КТ-500, Д-721А, КЖ-1500 и др., работающие на жидком или твердом топливе.

Современные котлы-парообразователи комплектуют системами автоматизации и контроля их работы, противонакипными магнитными устройствами (для смягчения воды).

3.31. Какое оборудование применяется для тепловой обработки кормов в частных хозяйствах?

Технические средства для тепловой обработки кормов в приусадебных и фермерских хозяйствах выпускаются двух типов – работающие на твердом топливе и на электроэнергии. Твердое топливо (дрова, уголь, торф, брикеты) – традиционный и наиболее доступный вид топлива.

При варке и запаривании кормов термически обрабатываются разные кормовые материалы и их смеси, пищевые отходы. Такая обработка позволяет повысить питательную ценность кормов, уничтожить плесенную микрофлору. Варочные котлы и кормозапарники подбирают по емкости кормового бака из расчета одной дачи корма животным после термообработки. При тепловой обработке кормов используется горячая вода.

Корнеклубнеплоды, пищевые отходы и другие виды кормов после тепловой обработки необходимо, как правило, мять и смешивать с другими кормовыми компонентами или добавками.

Для термообработки кормов за счет энергии твердого топлива выпускаются предназначенные для использования в приусадебных и фермерских хозяйствах кормоварочный котел КВТ-60 (рис. 3.8), запарник корнеклубнеплодов ЗК-Ф-40 (рис. 3.9), их можно использовать и для подогрева воды.

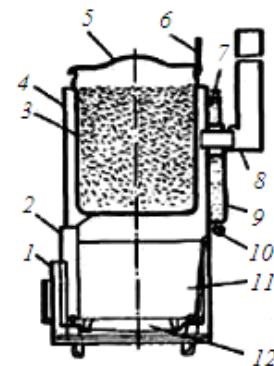


Рис. 3.8. Разрез варочного котла КВТ-60:

1 – дверца топки; 2 – основание котла; 3 – кормовой бак; 4 – кожух; 5 – крышка; 6 – ручка; 7 – пробка; 8 – труба; 9 – бачок для воды; 10 – спускной кран; 11 – топка; 12 – колосниковая решетка

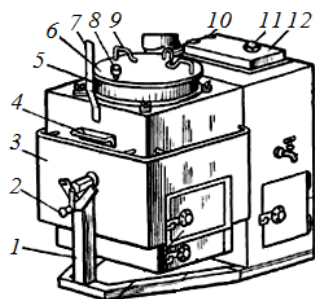


Рис. 3.9. Запарник корнеклубнеплодов ЗК-Ф-40:

1 – опорная стойка; 2 – рукоятка с фиксатором; 3 – котел; 4 – скоба; 5 – емкость котла; 6 – крышка котла; 7 – рукоятка; 8, 11 – прижимные винты; 9 – скоба; 10 – петля; 12 – крышка водонагревательного бака

В фермерских хозяйствах целесообразно использовать для получения острого пара котлы-парообразователи КВ-300У и КВ-300Л. Во-первых, они малопроизводительны, что соответствует рекомендациям по эксплуатации в фермерских хозяйствах запарников-смесителей и их потребности в паре, во-вторых, работают на доступном для фермерских хозяйств топливе (первый котел работает на печном бытовом и жидком топливе, второй – на печном бытовом топливе). У КВ-300У и КВ-300Л соответственно следующие технические характеристики: производительность 300 и 370 кг/ч, давление пара 0,05 и 0,07 МПа, температура пара 120 и 125 °С, установленная мощность электродвигателей 7 и 2,6 кВт, масса 1630 и 1650 кг.

3.32. Что является показателем энергоэффективности работы кормозапарника?

В качестве показателя энергоэффективности используют удельный расход пара как отношение расхода пара на запаривание кормов к массе обрабатываемых кормов. При запаривании картофеля и корнеплодов он составляет 0,18–0,2 кг/кг.

3.33. Приемы тепловой обработки пищевых продуктов.

При тепловой обработке в продуктах происходят физические и химические процессы, в результате которых изменяются их консистенция, цвет, запах и вкус. Под влиянием тепловой обработки обычно повышается перевариваемость белков, жиров и углеводов. Все приемы

тепловой обработки в зависимости от среды, в которой производится нагрев, делят на два основных вида: варка и жарка. Кроме них, различают комбинированные способы (тушение, запекание, обжаривание вареных продуктов) и вспомогательные приемы (бланширование, пассерование).

В зависимости от способа нагрева и греющей среды варку можно осуществлять: основным способом, при котором продукт полностью погружен в жидкость, и частичным погружением в нее (припускание), а также паром атмосферного, повышенного и пониженного давления. Основным способом варят супы, каши, макаронные изделия, мясо, рыбу, птицу, овощи. Этот процесс осуществляют в воде, бульоне, молоке или другой жидкости при температуре около 100 °С, в отдельных случаях при пониженной температуре (75–80 °С). Варку производят в кастрюлях, надплитных и стационарных варочных котлах. Для ускорения готовности применяют варку при повышенном давлении 98–176,4 кПа в варочных аппаратах с герметической крышкой (скороварки, автоклавы) при 115–130 °С. Проводят также варку при пониженном давлении в вакуум-аппарате (например, плодов и ягод) при 80–90 °С.

Припускание применяют для приготовления продуктов с большим содержанием влаги и нежной консистенцией: многие овощи, рыба, изделия из рубленой и кнельной массы. Припускание осуществляют в кастрюлях или сотейниках с закрытой крышкой в объеме жидкости, покрывающей продукты не более чем на 1/3. Сочные плоды припускают без добавления жидкости, в собственном соку, выделяющемся при их нагревании. Греющей средой являются жидкость и образующийся при кипении пар.

Греющей средой при жарке является жир или нагретый воздух. Температура жаренья значительно выше, чем варки, поэтому поверхностный слой обжариваемого продукта быстро обезвоживается и покрывается корочкой, а внутренние слои нагреваются не выше 100 °С и фактически припускаются в собственном соку. В зависимости от среды, в которой производится нагрев, различают несколько видов жарки.

На открытой жарочной поверхности жарят на сковородах или противнях с небольшим количеством жира (15–10 % от массы продуктов) или без него при 150–180 °С до кулинарной готовности картофель, овощи, натуральные мясные изделия, блинчики и др. Если к моменту образования корочки изделия не готовы, их дожаривают в жарочном шкафу.

При осуществлении жарки во фритюре продукт в жарочной ванне фритюрницы полностью погружен в нагретый до 130–190 °С жир. Применяют для изготовления жареного картофеля, мучных кондитерских изделий, рыбы, нерыбных морепродуктов, а также предварительно сваренных до готовности мяса и птицы. Продолжительность тепловой обработки 5–10 мин. Жарка в замкнутом объеме – в жарочных и пекарских шкафах, духовках; греющей средой служит горячий воздух. Жарят крупные куски мяса, птицы, кроликов или выпекают изделия из теста при различных температурных режимах.

Жарка в поле инфракрасных излучений. Осуществляют в специальных аппаратах: плиты для запекания, электрогрили и др. Инфракрасный нагрев считают промежуточным между поверхностным и объемным; время жарки сокращается в 2–6 раз.

Тушение – продукты обжаривают до образования корочки, а затем припускают в соусе (бульоне) с добавлением ароматических приправ.

Запекание – продукты, доведенные до готовности или полуготовности (вареные, припущенные, жареные), иногда сырые, с целью образования румяной корочки запекают при 200–300 °С с добавлением соусов, яиц, сметаны (блюд из мяса, рыбы, овощей) или без соусов (запеканки, пудинги, рулеты, макаронники).

К вспомогательным приемам относится пассерование и бланширование. Пассерование – кратковременное обжаривание с небольшим количеством жира. Обычно пассеруют морковь, петрушку, сельдерей, томаты, лук для придания им особого вкуса и фиксации переходящих в жир ароматических красящих веществ. Эти полуфабрикаты употребляют при изготовлении супов, соусов, вторых блюд. Для пассерования нарезанные овощи кладут в посуду слоем не более 4–5 см с разогретым до 130–140 °С жиром (15–20 % к массе продукта) и обжаривают при перемешивании в течение 20–25 мин при 110–120 °С. Бланширование – кратковременная (1–5 мин) обработка продуктов кипящей водой (ошпаривание) или паром. Применяют для сохранения цвета, вкуса и консистенции у очищенных овощей и фруктов в процессе их последующей обработки.

3.34. График изменения температур в аппарате периодического действия при нагревании теплоносителем без фазового перехода.

Нагревание осуществляется горячим теплоносителем (водой) с постоянной температурой t_1' на входе в аппарат. Среда (молоко),

находящаяся в аппарате, имеет вначале температуру t_2' , а в конце нагревания температуру t_2'' . Ее значение зависит от времени процесса τ при данных условиях нагревания.

В ходе процесса температуры среды в аппарате и теплоносителя на выходе аппараты сближаются и стремятся к начальной температуре греющего теплоносителя. Особенность процесса заключается в том, что с течением времени повышаются температуры, как нагреваемой среды t_2'' , так и теплоносителя t_1'' на выходе аппарата.

При тепловой обработке корма энергия расходуется на нагрев корма, аппарата и на тепловой эффект производственного процесса (растворение кристаллов, испарение, поджаривание и др.), а также на покрытие потерь теплоты в окружающую среду.

Температурный график режима работы кормозапарников в процессе обработки кормов представлен на рис. 3.10.

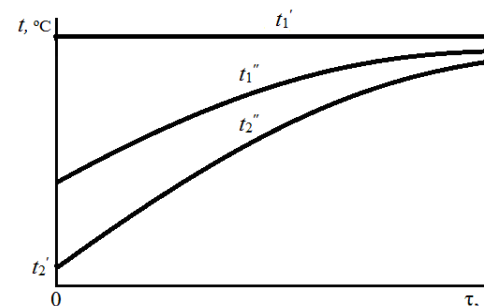


Рис. 3.10. Типовой температурный график в оборудовании периодического действия при нагревании теплоносителем без фазового перехода

В процессе разгрузки происходит снижение температуры в оборудовании из-за теплопотерь в окружающую среду и выгрузки запаренного продукта.

Производительность оборудования периодического действия зависит от времени загрузки и выгрузки, а также от продолжительности периода тепловой обработки.

3.35. Задача теплового расчета кормозапарников.

Задача теплового расчета состоит в определении расхода теплоты и водяного пара, а также времени обработки, необходимого для прогрева и разваривания кормов.

Общее количество теплоты, подведенное с водяным паром в кормозапарник, расходуется на прогревание продукта, нагрев самого кормозапарника и воды, подаваемой в кормозапарник, а также на компенсацию теплопотерь в окружающую среду. Расход пара (кг) определяют по формуле:

$$D = \frac{Q}{h_1 - h_2},$$

где Q – общее количество расходуемой теплоты, кДж;
 h_1, h_2 – удельные энтальпии водяного пара и конденсата (при температуре запаривания), кДж/кг.

Одним из технико-экономических показателей оборудования является удельный расход пара:

$$d = \frac{D}{m},$$

где m – масса обрабатываемых кормов, кг.

При запаривании корнеклубнеплодов этот показатель составляет 0,16–0,2 кг/кг, а при запаривании соломы – 0,3–0,5 кг/кг.

Производительность кормозапарников определяет продолжительность прогревания и разваривания кормов. Скорость прогревания зависит от теплофизических и геометрических характеристик кормов, а также от температуры пара и температуры кормов (начальной и готовности).

Время обработки можно определить по формуле:

$$\tau = \frac{R^2}{a\pi^2} \ln \frac{t_s - t_o}{t_s - t_k},$$

где t_s – температура конденсации пара (при атмосферном давлении составляет 100 °С);

t_o, t_k – начальная и конечная температура кормов, °С.

a – температуропроводность, м²/с;

R – средний радиус клубней, м.

Температура готовности корнеклубнеплодов принимается в пределах 93–95 °С. Продолжительность разваривания продукции принимают 20–30 мин., а продолжительность размягчения соломы 3–4 ч.

Для снижения расходов теплоты и водяного пара необходимо использовать оборудование непрерывного действия, а для сокращения времени тепловой обработки используют измельчение обрабатываемых кормов.

3.36. Уравнение регулярного режима нестационарной теплопроводности.

Уравнение регулярного режима записывают в полулогарифмической форме:

$$\ln \vartheta = -m\tau + C(x, y, z),$$

где ϑ – избыточная температура, °С;

m – темп охлаждения, с⁻¹;

τ – время процесса, с;

$C(x, y, z)$ – постоянная интегрирования, определяемая координатами расположения точки тела.

Избыточная температура:

$$\vartheta = |t - t_{ж}|,$$

где t – температура в данной точке тела, °С;

$t_{ж}$ – температура окружающей среды, °С.

3.37. Что такое темп охлаждения, от каких факторов он зависит?

Темп охлаждения остается постоянной величиной для всех точек тела и зависит от условий теплообмена на поверхности тела, его теплоемкости и неравномерности распределения температур по объему тела. Темп охлаждения не зависит ни от координат точки, ни от времени процесса.

3.38. Что такое пастеризация и зачем ее применяют?

При производстве молока и прочих пищевых продуктов первоочередное значение имеют проблемы сохранения их качества. Свежее выдоенное молоко имеет температуру 35–40 °С, при которой развитие микрофлоры идет наиболее интенсивно. Однако бурный рост микроорганизмов в нем происходит по истечении первых 2–4 ч после выдойки. С этого времени молоко надо либо охладить до 4–6 °С, либо пастеризовать.

Пастеризация – процесс нагревания молока от 65 до 95 °С. Данный процесс получил свое название в честь Луи Пастера – французского ученого, который впервые применил такой метод для уничтожения в пиве и вине микроорганизмов.

Пастеризация является наиболее простым и дешевым способом обеззараживания молока, при которой происходит уничтожение болезнетворных, молочнокислых и гнилостных микроорганизмов. Пастеризация происходит в зоне нейтральной, без изменения свойств молока (запах, консистенция и вкус). Также молоко пастеризуют при производстве всей молочной продукции, чтобы избежать нежелательных процессов, которые вызываются кишечной палочкой и другими бактериями.

Применяют пастеризацию на фермах в основном при инфекционных заболеваниях коров. При пастеризации предусматривают малый температурный напор (несколько градусов Цельсия) между горячей водой и молоком при температуре пастеризации.

3.39. Режимы пастеризации молока.

Практикуется три режима пастеризации молока:

- длительный с выдержкой молока 30 мин. при температуре 63 °С;
- кратковременный с выдержкой 20–30 с при температуре 73–75 °С;
- мгновенный с выдержкой 1,5 с при температуре 85–95 °С.

3.40. Какое оборудование используется при пастеризации молока?

При пастеризации молока используют пластинчатые и кожухотрубные пастеризаторы, а также ванны длительной пастеризации. Широкое распространение получили пластинчатые пастеризаторы (рис. 3.11).



Рис. 3.11. Современная пастеризационная установка с пластинчатым теплообменником

При этом поверхность теплообмена образуется из отдельных пластин, а каналы между пластинами имеют щелевидную форму. Рабочие среды движутся в каналах тонким слоем, что способствует интенсивности теплообмена. Минимальное число пластин – 3, но их может быть и больше, это зависит от производительности пастеризатора. Среда может распределяться по нескольким параллельным каналам. Совокупность пластин, образующих несколько параллельных каналов, по которым среда движется в одном направлении, называется пакетом. В компоновке каналов для рабочих сред возможны различные варианты.

Понятие «пакет» в пластинчатых теплообменных аппаратах соответствует понятию «ход» в кожухотрубчатых теплообменных аппаратах.

3.41. Какие схемы компоновки используются в пастеризационных установках?

При компоновке пластин в пластинчатом теплообменном аппарате особое значение имеет компоновка пакетов со стороны основной (обрабатываемой) рабочей среды, так как обычно расход этой среды через аппарат (производительность аппарата) строго задан и от числа параллельных каналов в пакете зависит скорость продукта, а, следовательно, и другие параметры процесса работы теплообменника.

Относительное направление движения обеих рабочих сред через пластинчатый теплообменник может быть различным в зависимости от сочетания общих и частных направлений движения рабочих сред через аппарат в целом и через межпластинные каналы.

Различают следующие общие случаи:

– чистый противоток (и в каналах пакетов и во всем аппарате в целом);

– чистый прямоток;

– смешанный ток;

– смешанный частный ток при общем противотоке;

– частный прямоток при общем противотоке;

– смешанный частный ток при общем прямотоке.

Схема компоновки, при которой все каналы для второй рабочей среды соединены в один пакет (особенность: начальная температура второй рабочей среды одинакова для всех пакетов на стороне первой рабочей среды) представлена на рис. 3.12.



Рис. 3.12. Типовая схема компоновки «чистый противоток»

3.42. Порядок выполнения проектного расчета в пастеризационных установках?

Последовательность выполнения последовательного расчета:

1. Составить уравнения теплового баланса и определить недостающие температуры и расходы. Кратность теплоносителя (горячей воды) составляет 3–8 по отношению к молоку.

2. Рассчитать средние температуры в соответствии с принятой схемой движения теплоносителей.

3. Определить (принять) скорость среды в каналах.

4. Выбрать типоразмер пластин и определить число каналов.

5. Используя зависимости между числами подобия, рассчитать коэффициенты теплоотдачи.

6. Определить коэффициент теплопередачи.

7. Рассчитать требуемую площадь поверхности теплообмена по уравнению теплопередачи.

8. Определить число пластин, участвующих в теплообмене.

9. Определить число пакетов.

10. Выполнить гидравлический расчет.

3.43. Каким образом распределяются потери давления в пастеризационных установках?

В многосекционных аппаратах происходит несколько процессов тепловой обработки продукции. Особое значение при этом имеет распределение потерь давления по тракту молока между отдельными секциями (пастеризации, рекуперации, охлаждения холодной водой и ледяной водой).

Рекомендуется принять следующие соотношения потерь давления в отдельных секциях:

$$\Delta P_{\text{рек}} : \Delta P_{\text{паст}} : \Delta P_{\text{вод.охл}} : \Delta P_{\text{лед.охл}} = 3 : 1 : 1 : 1.$$

Следует учесть, что секцию рекуперации молоко проходит дважды; в связи с этим принимают следующие соотношения:

$$\Delta P_{\text{рек}} = \frac{1}{3} \Delta P;$$

$$\Delta P_{\text{паст}} = \Delta P_{\text{вод.охл}} = \Delta P_{\text{лед.охл}} = \frac{1}{9} \Delta P.$$

3.44. Что является исходными данными для выполнения расчета пастеризационных установок?

Исходными данными в расчете являются:

– коэффициент рекуперации;

– производительность пастеризатора по молоку;

– температура пастеризации;

– начальная температура молока;

– начальная температура холодной воды;

– конечная температура охлажденного молока;

– температура ледяной воды на входе в секцию;

- кратность расхода горячей воды;
- кратность расхода холодной и ледяной воды;
- общие потери давления в установке.

3.45. Как рассчитываются температуры по секциям в пастеризационных установках?

На рис. 3.13 показана принципиальная схема пастеризационно-охладительной установки.

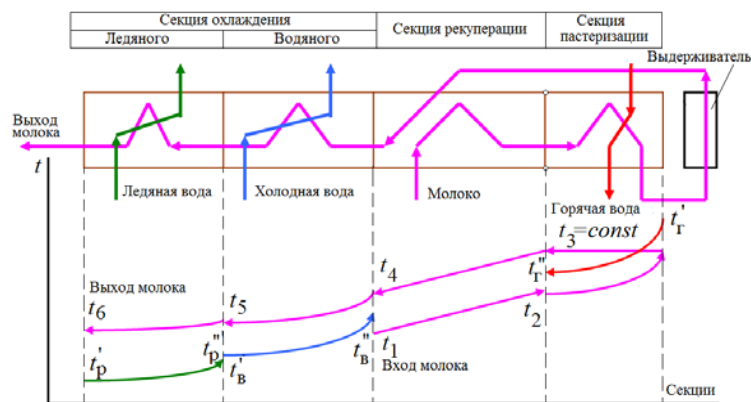


Рис. 3.13. Схема пастеризационной установки и условный график изменения температур по секциям

Согласно этой схеме последовательность расчета температур следующая:

1. Определить температуру горячей воды, поступающей в секцию пастеризации (на 3 °С выше температуры пастеризации):

$$t'_Г = t_3 + 3.$$

2. Температуру молока на выходе из секции водяного охлаждения следует принять на 2 °С выше температуры холодной воды на входе в указанную секцию:

$$t_5 = t'_В + 2.$$

3. Температура подогретого молока после секции рекуперации:

75

$$t_2 = t_1 + (t_3 - t_1)\epsilon.$$

4. Температура пастеризованного молока на входе в секцию водяного охлаждения:

$$t_4 = t_3 + (t_3 - t_1)\epsilon.$$

5. Температура горячей воды на выходе из секции пастеризации:

$$t''_Г = t'_Г - \frac{c_M}{c_B \cdot n_G} (t_3 - t_2),$$

где c_M и c_B – удельные теплоемкости молока и воды, кДж/(кг·К).

6. Температура воды на выходе из секции охлаждения холодной водой:

$$t''_В = t'_В - \frac{c_M}{c_B \cdot n_X} (t_4 - t_5).$$

7. Температура ледяной воды на выходе из секции ледяного охлаждения:

$$t''_Р = t'_Р - \frac{c_M}{c_B \cdot n_X} (t_5 - t_6).$$

3.46. Как рассчитать расходы рабочих сред по секциям в пастеризационных установках?

Определение расходов рабочих сред (кг/с) осуществляется через значение кратностей расхода горячей, холодной и ледяной воды:

1. Расход горячей воды в секции пастеризации:

$$Q_G = Q_m n_G,$$

где Q_m – производительность установки по молоку, кг/с;

n_G – кратность расхода горячей воды (обычно принимается равной 4).

76

2. Расход холодной воды в секции водяного охлаждения:

$$Q_B = Q_m n_X.$$

где n_X – кратность расхода холодной воды (принимается равной 3).

3. Расход ледяной воды в секции ледяного охлаждения:

$$Q_L = Q_m n_X.$$

3.47. Как рассчитать тепловые потоки по секциям в пастеризационных установках?

Тепловые потоки, передаваемые в секциях пастеризационной установки (рис. 3.13), определяются по следующим формулам (Вт):

1. Тепловой поток, передаваемый в секции пастеризации:

$$\Phi_{II} = 0,278 c_M Q_m (t_3 - t_2),$$

где c_M – удельная теплоемкость молока, кДж/(кг·К);

Q_m – производительность установки по молоку, кг/с.

2. Тепловой поток, передаваемый в секции водяного охлаждения:

$$\Phi_B = 0,278 c_M Q_m (t_4 - t_5).$$

3. Тепловой поток, передаваемый в секции рекуперации:

$$\Phi_P = 0,278 c_M Q_m (t_3 - t_4)$$

или

$$\Phi_P = 0,278 c_M Q_m (t_2 - t_1).$$

4. Тепловой поток, передаваемый в секции ледяного охлаждения:

$$\Phi_L = 0,278 c_M Q_m (t_5 - t_6).$$

3.48. Как рассчитать площади поверхностей теплообмена по секциям в пастеризационных установках?

Для определения площади поверхности теплообмена в различных секциях пастеризационно-охладительной установки используют обычную формулу из уравнения теплопередачи:

$$A = \frac{\Phi}{\Delta t \cdot k},$$

где Φ – тепловой поток, передаваемый в соответствующей секции, Вт;

Δt – средний температурный напор, °С;

k – коэффициент теплопередачи, который можно определить с учетом загрязнений:

$$k = \frac{\mu}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

где δ – толщина пластин, м;

λ – теплопроводность стали (принимается равной 17 Вт/(м·К));

α_1, α_2 – коэффициенты теплоотдачи на обеих сторонах пластины соответствующей секции, Вт/(м·К);

μ – коэффициент загрязнения (можно принять 0,8–0,9).

Коэффициенты α_1, α_2 теплоотдачи определяют из критериального уравнения:

$$Nu = C Re^m Pr^{0,43} \left(\frac{Pr}{Pr_c} \right)^{0,25},$$

где C, m – коэффициент и показатель степени, принимаемые по табл. 3.1 в зависимости от типа пластин и числа Re ;

Nu, Re, Pr – числа Нуссельта, Рейнольдса и Прандтля при средней температуре среды;

Pr_c – число Прандтля при температуре пластины.

Определяющим размером является эквивалентный диаметр канала. Определяющей температурой, при которой все теплофизические характеристики, является средняя температура среды.

Таблица 3.1

Коэффициенты C , C_1 и показатель степени m

Тип пластин	Re	C	m	C_1
АДМ, П-1	100–30 000	0,1	0,7	11,2
П-2, П-3	100–30 000	0,1	0,7	11,2
0,5Г	100–50 000	0,165	0,65	11,2
0,3	100–30 000	0,1	0,73	19,3
0,5Е	50–20 000	0,135	0,73	22,4
0,6	50–30 000	0,135	0,73	15,0

Допустимо принимать значение $Pg / P_{гс}$ при нагревании среды равным 1,05, а при охлаждении – 0,95. Средний температурный напор Δt рассчитывается как для противоточной схемы включения теплоносителей с учетом соответствующих температур в секциях.

3.49. Как рассчитать число пакетов в секциях пастеризационной установки?

Число пакетов в каждой секции пастеризационной установки определяют, зная количество пластин n в каждой секции:

$$n = \frac{A}{A_1}$$

и

$$m = \frac{n}{2m'}$$

где A_1 – площадь поверхности одной пластины, m^2 .
 m' – число каналов в пакете.

$$m' = \frac{Q}{3600 f_1 \omega}$$

где Q – массовый расход рабочей среды, кг/ч;

f_1 – площадь поперечного сечения одного канала, m^2 (выбирается в зависимости от принятых пластин, табл. 3.2–3.3);

ω – скорость рабочей среды в каналах между пластинами, м/с.

Таблица 3.2

Технические характеристики пластин с горизонтальными гофрами

Характеристики	Тип пластин				
	АДМ	П-1	П-2	П-3	0,5Г
Площадь поверхности теплообмена, m^2	0,038	0,14	0,2	0,42	0,5
Толщина пластин, мм	0,7	1,2	1,2	1,4	1,0
Зазор между пластинами, мм	1,1	4,4	4,8	4,0	4,0
Эквивалентный диаметр канала, м	0,0022	0,0088	0,0096	0,008	0,008
Приведенная длина канала, м	0,54	0,7	0,8	1,1	1,15
Площадь сечения канала, m^2	0,00008	0,0008	0,0013	0,0015	0,0018
Габаритные размеры, мм:					
– длина	640	800	1025	1170	1370
– ширина	90	225	315	415	500
Масса, кг	0,3	1,7	3,05	5,7	5,5

Таблица 3.3

Технические характеристики пластин с гофрами «в елочку»

Характеристики	Тип пластин		
	0,3	0,5Е	0,6
Площадь поверхности теплообмена, m^2	0,3	0,5	0,6
Толщина пластин, мм	1,0	1,0	1,0
Зазор между пластинами, мм	4,0	4,0	4,5
Эквивалентный диаметр канала, м	0,008	0,008	0,0083
Приведенная длина канала, м	1,12	1,15	1,01
Площадь сечения канала, m^2	0,0011	0,0018	0,00245
Габаритные размеры, мм:			
– длина	1370	1380	1375
– ширина	300	500	600
Масса, кг	3,2	5,4	5,8

Для пластинчатых теплообменников допустимая скорость среды может быть определена из уравнения:

$$\omega = 2 \sqrt{\frac{k \Delta t \Delta P}{c(t' - t'') \rho^2 \zeta}}$$

где k – коэффициент теплопередачи на поверхности, Вт/(м²·К) (рекомендуется принимать в интервале 1000–3000 Вт/(м²·К); меньшие значения характерны для секции пастеризации);

Δt – средний температурный напор в секции, °С;

$(t' - t'')$ – перепад температур рабочей среды на входе и выходе, °С;

ΔP – допустимые потери давления в секции (см. п. 3.36), Па;

c – удельная теплоемкость среды в теплообменнике, кДж/(кг·К);

ρ – плотность среды, кг/м³;

ξ – коэффициент общего гидравлического сопротивления каналов (для пластин с горизонтальными гофрами принимается в пределах 1,5–2, а для пластин с гофрами «в елочку» в интервале 2–3).

Число каналов округляется до целого значения, а затем уточняется скорость среды в канале. Следует учитывать, что суммарные числа каналов принимаются одинаковыми для каждой из сред в секции или могут отличаться на единицу.

3.50. Что называется пакетом в пластинчатом теплообменнике?

Пакетом в пластинчатом теплообменнике называют совокупность каналов, по которым среда движется в одном направлении. Понятие «пакет» аналогично понятию «ход» в кожухотрубчатом теплообменнике.

3.51. Из чего образуется секция в пластинчатом теплообменнике?

Секция образуется из пакетов пластин, сжатых между подвижной и неподвижной плитами теплообменника.

3.52. От каких факторов зависит оптимальное значение скорости среды в каналах между пластинами?

Оптимальное значение скорости среды в каналах между пластинами зависит от следующих факторов:

- коэффициентов теплопередачи (теплоотдачи);
- температурного напора в теплообменнике;
- допустимого гидравлического сопротивления;
- коэффициента гидравлического сопротивления.

Оно увеличивается с ростом интенсивности теплообмена в теплообменнике, увеличением допускаемых потерь давления и уменьшением коэффициента гидравлического сопротивления.

3.53. Как найти число каналов в пакете в пластинчатом теплообменнике?

Число каналов в пакете можно найти в зависимости от расхода среды (теплоносителя), принятой скорости среды в каналах данного пакета и площади поперечного сечения канала между пластинами.

3.54. Чему равно минимально возможное число пластин в пластинчатом теплообменнике?

Минимально возможное число пластин равно трем.

3.55. Как рассчитать фактические потери давления в секциях пастеризационной установки?

Фактические потери давления (кПа) рассчитывают по формуле:

$$\Delta P' = 5 \cdot 10^{-4} \frac{L}{d} \xi_0 \omega^2 m,$$

где L и d – приведенная длина канала и его эквивалентный диаметр, м;

m – число пакетов по тракту данной рабочей среды;

ξ_0 – условный коэффициент гидравлического сопротивления, $\xi_0 = C_1 \text{Re}^{-0,25}$, C_1 – постоянный коэффициент (см. табл. 3.1).

Сравнивая значения потерь давления с допустимыми по исходным данным, учитывают, что в случае необходимости (при превышении максимально допустимых потерь давления) необходимо повторить расчет, увеличив число каналов в пакете.

При расчете потерь давления по тракту молока суммируют потери давления по тракту молока во всех секциях. Суммарная потеря давления не должна превышать допустимое значение ΔP , но в отдельных секциях возможно превышение рассчитанных значений потерь давлений над ранее принятыми.

3.56. Как рассчитать расход пара на пастеризацию?

В расчете секции пастеризации бывает необходимо определить расход пара (кг/ч) на пастеризацию молока, если в теплообменнике используется водяной пар:

$$D = \frac{c_M Q_m (t_3 - t_2)}{(h_1 - h_2) \eta},$$

где h_1 – удельная энтальпия используемого пара, кДж/кг;

h_2 – удельная энтальпия конденсата (следует принять при температуре ниже температуры насыщения на 5 °С), кДж/кг;

η – тепловой КПД теплообменника (с учетом потерь в трубопроводах горячей воды и секции пастеризации), допустимо принять в пределах 0,95–0,98.

Удельный расход пара (кг/кг) рассчитывается по уравнению

$$d = \frac{D}{Q_m}.$$

При определении параметров пара следует принять пар сухим насыщенным при давлении 0,15–0,17 МПа.

3.57. В каких случаях следует применять несимметричные схемы компоновки пластинчатых теплообменников?

В тех случаях, когда расходы сред, используемых в пластинчатых теплообменниках, заметно отличаются, предусматривают несимметричные схемы компоновки с целью выравнивания гидравлических сопротивлений трактов двух сред. Обычно отношение чисел каналов в пакетах обратнопропорционально расходам сред. При этом происходит выравнивание скоростей в каналах пакетов для обеих сред.

3.58. Как принято изображать схемы компоновки пластинчатых теплообменников?

Схему компоновки принято изображать в плоском формате. Движение одной из сред (обычно греющей) показывают сплошной

линией, а другой среды – штриховой линией (рис. 3.14). Между вертикальными линиями, характеризующими движение сред в каналах, подразумевается расположение пластин.

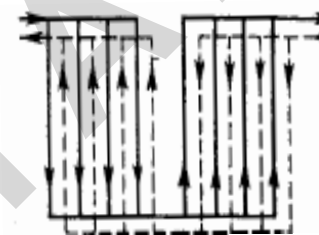


Рис. 3.14. Симметричная схема пластинчатого теплообменника

3.59. Симметричная схема пластинчатого теплообменника.

В приведенной симметричной схеме для каждой из сред предусмотрено два пакета по четыре канала в каждом пакете. Схема движения теплоносителей – противоточная.

3.60. Несимметричная схема пластинчатого теплообменника с одним пакетом по тракту одной из сред?

В приведенной схеме (рис. 3.15) для одной из сред предусмотрен один пакет, в котором восемь каналов, а для другой среды – два пакета по четыре канала в каждом. Схема движения теплоносителей – смешанная типа прямоток-противоток.

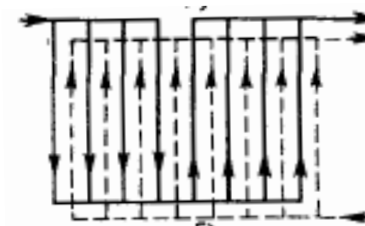


Рис. 3.15. Несимметричная схема пластинчатого теплообменника с одним пакетом по тракту

3.61. Несимметричная схема пластинчатого теплообменника с несколькими пакетами по тракту каждой из сред?

В схеме (рис. 3.16) предусмотрено для одной среды четыре пакета, в каждом из которых по два канала, а для другой среды – два пакета по четыре канала в каждом. Схема движения теплоносителей – смешанная типа противоток-прямоток.

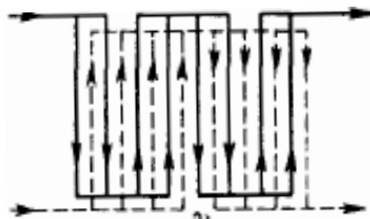


Рис. 3.16. Несимметричная схема пластинчатого теплообменника

3.62. Какое требование определяет соотношение между числами каналов по тракту каждой из сред в пластинчатом теплообменнике?

Суммарные числа каналов для трактов обеих сред должны быть равны друг другу или могут отличаться не более чем на единицу.

3.63. Как число устанавливаемых пластин связано с числом каналов в пластинчатом теплообменнике?

Число устанавливаемых пластин на единицу больше суммарного числа каналов в пакетах обеих сред.

3.64. Как записывать формулу компоновки пластин в пластинчатом теплообменнике?

Формулу компоновки следует записывать в виде дроби. В числителе дроби приводятся данные для тракта греющей среды (по ходу ее движения): сумма цифр, число которых соответствует числу пакетов, а каждая цифра определяет число каналов в соответствующем пакете. Аналогично приводятся в знаменателе дроби данные для тракта нагреваемой среды.

3.65. Как записать формулу компоновки пластин в пластинчатом теплообменнике, в котором предусмотрено для греющей среды четыре пакета, в каждом из которых по два канала, а для нагреваемой среды – два пакета по четыре канала в каждом?

При таких условиях следует записать:

$$C = \frac{2+2+2+2}{4+4}.$$

3.66. Какими факторами определяется изменение температуры теплоносителей в рекуперативном теплообменнике?

Изменение температуры теплоносителей в рекуперативном теплообменнике определяется следующими факторами:

- начальными температурами, водяными эквивалентами и схемой движения теплоносителей;
- коэффициентом эффективности и числом единиц переноса теплообменника.

3.67. Что можно отнести к специальному современному оборудованию для пастеризации?

К специальному оборудованию, применяемому для пастеризации пищевых продуктов, относятся термизаторы (рис. 3.17) объемного типа, предназначенные для термической обработки, плавления, эмульгирования и производства молочных продуктов длительного срока хранения.



Рис. 3.17. Общий вид термизатора

Конструкция термизатора позволяет производить такие продукты, которые по своей технологии требуют обработку в вакууме, что обеспечивает однородную структуру без пузырьков.

В зависимости от вырабатываемого продукта нагрев может осуществляться через паровую рубашку или непосредственной подачей пара в продукт, максимальная температура термизации 95–110 °С.

Мешалка обеспечивает перемешивание продукта, миксер измельчает продукт и при высокой частоте вращения эмульгирует его. Рабочий цикл термизатора занимает 15–25 мин в зависимости от производимого продукта.

3.68. Какие методы и приемы используются при хранении продукции?

Важной народнохозяйственной задачей является хранение продукции сельскохозяйственного производства. Хранение сельскохозяйственной продукции организуется с целью обеспечения бесперебойного снабжения продуктами питания и сельскохозяйственным сырьем, сохранения части урожая в качестве посевных фондов и создания необходимых государственных запасов на случай неурожая, стихийных бедствий и т. п.

При организации хранения используют следующие методы и приемы:

- охлаждение с целью понижения температуры и замораживания;
- термическая обработка (пастеризация и стерилизация);
- обезвоживание;
- химическая обработка с целью уничтожения микроорганизмов и насекомых-вредителей;
- маринование и соление;
- приготовление соков, сиропов, компотов и т. п.

Наиболее распространенным и эффективным методом хранения сельскохозяйственной продукции является охлаждение. При этом качество продуктов сохраняется, они почти не теряют вида, вкусовых свойств и питательной ценности.

3.69. Какой процесс называется охлаждением?

Охлаждением называется процесс отвода теплоты от продуктов или материалов с целью понижения их температуры или изменения агрегатного состояния. Холод – наиболее совершенное консервирующее

средство, препятствующее развитию микроорганизмов в скоропортящихся продуктах.

В условиях сельского хозяйства холод применяется не только для хранения продуктов, но и в процессе их переработки и перевозки на значительные расстояния на городские предприятия пищевой промышленности или непосредственно в торговую сеть. Такие продукты, как мясо, масло, птицу, свежую рыбу, овощи, плоды и ягоды, для краткосрочного хранения охлаждают до температуры, при которой начинает затвердевать сок, а для длительного – замораживают в специальных морозильных камерах холодильника. Холод необходим также для охлаждения молока после пастеризации и в производстве молочных продуктов.

3.70. Как классифицируются хранилища сельскохозяйственной продукции по типу и виду хранилищ?

Для хранения сельскохозяйственной продукции используют различные виды хранилищ, которые можно классифицировать по типу и виду:

- стационарные хранилища;
- мобильные хранилища;
- временные хранилища.

3.71. Что такое стационарные хранилища?

Стационарные хранилища – это капитальные сооружения и установки, включающие в себя комплекс приборов и оборудования для создания необходимых условий сохранения продукции. К ним относятся, прежде всего, холодильники и холодильные камеры, фрукто-овощехранилища и картофелехранилища.

3.72. Что такое мобильные хранилища?

Мобильные хранилища – это специально оборудованные технические средства, служащие для перевозки охлажденных заранее продуктов. К ним относятся холодильники – рефрижераторы, расположенные на автомобильной (рис. 3.18) или железнодорожной платформе. Кроме того сюда можно отнести специальные автомобили, не снабженные холодильными агрегатами, на которых перевозят глубокозамороженные продукты на небольшие расстояния.

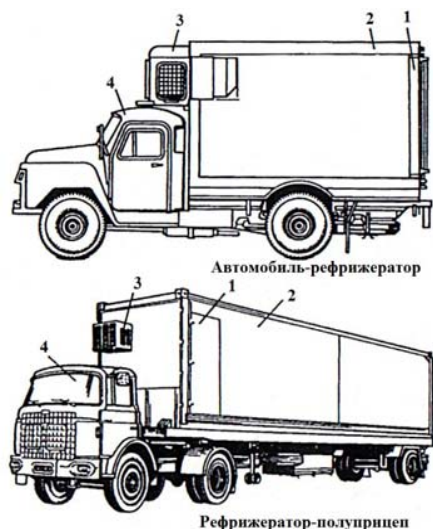


Рис. 3.18. Мобильные хранилища:

1 – дверь кузова; 2 – изотермический кузов; 3 – холодильная машина; 4 – шасси

3.73. Что такое временные хранилища?

Временные хранилища – это приспособления для хранения продукции, устраиваемые, как правило, недалеко от места сбора сельскохозяйственной продукции, к которым следует отнести полевые бурты, траншеи (ямы) и лабазы (щитовые бурты).

3.74. Классификация хранилищ сельскохозяйственной продукции по способу организации охлаждения.

По способу организации охлаждения выделяют хранилища:

- с естественным охлаждением;
- искусственным машинным охлаждением;
- искусственным безмашинным охлаждением.

При естественном охлаждении в качестве охлаждающей среды используется атмосферный воздух, почва и вода. Естественное охлаждение за счет наружного атмосферного воздуха используется при хранении картофеля, корнеплодов, овощей, осенних и зимних сортов яблок, груш в районах со средней температурой наиболее холодной пятидневки ниже минус 20 °С. При естественном охлаждении обычно

используется отвод теплоты от продукции путем конвективного теплообмена. Однако в ряде случаев оказывается эффективной организация отвода теплоты теплопроводностью, что характерно при хранении плодоовощной продукции с пересыпкой землей, влажным песком, укладкой мохом, а также при снеговании.

Искусственное машинное охлаждение производится с помощью холодильных установок, позволяющих поддерживать в помещениях хранилищ температуры ниже температуры окружающей среды. Оно основано на применении холодильных машин и установок.

Искусственное безмашинное охлаждение производится с помощью естественного льда, заготовленного в зимнее время и сохраняемого в ледяных буртах (закрытых торфом и другими теплоизоляционными материалами общей толщиной 0,5–1 м).

Естественный лед используется в ледниках (обычно с боковым расположением льдохранилища) и в ледяных складах. Применение льда характеризуется повышенной трудоемкостью процессов заготовки, хранения, выкалывания и транспортировки льда. При этом ограничивается возможность достижения больших мощностей систем охлаждения и низких температур в охлаждаемых помещениях (температура, поддерживаемая при этом в помещении имеет значение 4–6 °С).

Для понижения температуры в охлаждаемых помещениях применяют смеси льда с солью ($NaCl$ или поваренной солью). Такое охлаждение принято называть рассольным или льдосоляным. Температура таяния смеси льда с поваренной солью может быть определена по формуле:

$$t = -0,67M,$$

где M – содержание соли (в %) от массы льда ($M < 30$ %).

При этом холодопроизводительность такой смеси может быть определена по формуле (кДж/кг):

$$Q_{см} = 335 + 4,19|t|.$$

3.75. Что называется холодильной машиной?

Холодильной машиной принято называть устройство, предназначенное для охлаждения продуктов и материалов до температур ниже температуры окружающей среды; при этом затрачивается энергия (механическая, электрическая, тепловая).

3.76. *Что называется холодильной установкой?*

Холодильная установка – это комплекс устройств, состоящий из холодильной машины и вспомогательного оборудования (систем водоснабжения и энергоснабжения, циркуляционных контуров промежуточного хладоносителя, приборов контроля и регулирования).

3.77. *Что такое холодильный агент?*

Холодильным агентом называется рабочее вещество холодильной машины, с помощью которого производится искусственное охлаждение. Наибольшее распространение получили хладоны (фреоны) и аммиак.

3.78. *Что такое хладоноситель?*

Хладоносителем принято называть промежуточное вещество, предназначенное для отвода теплоты от охлаждаемых объектов и передачи ее холодильному агенту. В качестве промежуточных хладоносителей используется вода, а также водные растворы солей и органических соединений.

3.79. *Как подразделяются системы охлаждения сельскохозяйственной продукции по способу организации отвода теплоты?*

По способу организации отвода теплоты от потребителей системы охлаждения бывают контактного и бесконтактного охлаждения.

При контактном охлаждении, применяемом при замораживании птицы, рыбы, мясных продуктов, овощей и фруктов, охлаждаемый продукт погружается в хладоагент или хладоноситель или орошается ими. При этом продукт может быть во влагонепроницаемой упаковке. Технически более простыми являются способы бесконтактного охлаждения, при которых теплота от охлаждаемых объектов отводится или через металлическую стенку, или с помощью подвижной промежуточной среды, в качестве которой обычно используется воздух.

При использовании воздуха в качестве промежуточной охлаждающей среды различают: батарейное охлаждение; воздушное охлаждение; системы с активным вентилированием.

3.80. *Системы искусственного охлаждения.*

Системы искусственного охлаждения подразделяются:

- на системы непосредственного охлаждения;
- системы охлаждения с промежуточным хладоносителем.

В системах непосредственного охлаждения осуществляется подача холодильного агента непосредственно в охлаждающие приборы, а в других системах предусмотрен циркуляционный контур промежуточного хладоносителя.

3.81. *Как устроено батарейное охлаждение?*

При батарейном охлаждении (рис. 3.19) охлаждающие приборы размещают у стен или потолка (возникает естественная циркуляция воздуха за счет охлаждения воздуха у батарей и его нагревания около поверхности продуктов и наружных стен; скорость воздуха составляет 0,05–0,15 м/с).

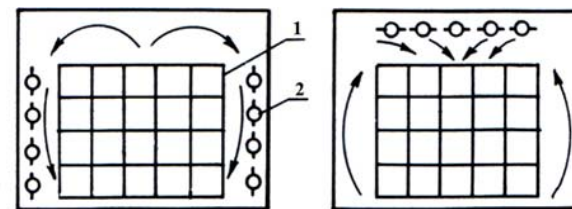


Рис. 3.19. Система батарейного охлаждения:
1 – продукция; 2 – батареи охлаждения

Недостаток таких систем – неравномерность температуры по объему охлаждаемого помещения (разброс 3–5 °С).

3.82. *Что такое активное вентилирование?*

При охлаждении и хранении плодоовощной продукции рекомендуются системы активного вентилирования. Активным вентилированием называется принудительная подача воздуха в штабель продукции с последующим движением воздуха внутри штабеля снизу вверх (рис. 3.20). Активное вентилирование является надежным средством предотвращения отпотевания продукции, вызываемого даже при незначительном уменьшении температуры воздуха внутри штабеля.

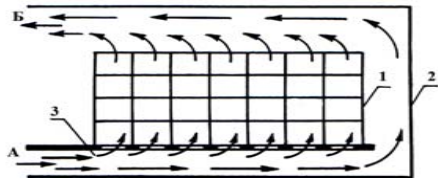


Рис. 3.20. Система охлаждения с активным вентилированием:
1 – продукция; 2 – охлаждаемое помещение; 3 – решетчатый канал;
А – воздух охлаждающего устройства; В – воздух к охлаждающему устройству

3.83. Классификация систем воздушного охлаждения сельскохозяйственной продукции по типу и виду хранилищ.

При воздушном охлаждении используется механическая общеобменная вентиляция. При этом различают: бесканальные системы (рис. 3.21); одноканальные системы (редкое применение); двухканальные системы (рис. 3.22) и эжектирующие системы (специальное применение).

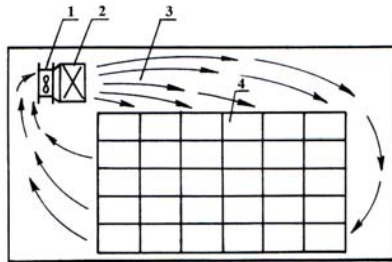


Рис. 3.21. Бесканальная система охлаждения:
1 – вентилятор; 2 – воздухоохладитель; 3 – охлаждаемое помещение; 4 – продукция

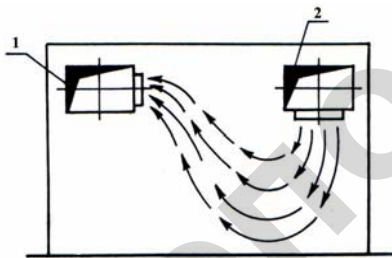


Рис. 3.22. Двухканальная система охлаждения:
1 – всасывающий воздуховод; 2 – нагнетательный воздуховод

Более простыми являются бесканальные системы, в которых устанавливаются воздухоохладители с принудительным движением воздуха. В двухканальной системе предусматриваются нагнетательный и всасывающий воздуховоды, что способствует равномерному распределению воздуха по объему помещения. При необходимости интенсивного перемешивания воздуха и обеспечения значительных скоростей воздуха на удалении от воздуховодов применяют эжектирующие системы с установкой насадков-эжекторов (скорость воздуха на выходе эжекторов около 25 м/с).

3.84. Особенности выбора исходных данных при проведении теплового расчета охлаждаемых помещений.

Тепловую мощность системы охлаждения камеры хранения (охлаждения) определяют на основании теплового баланса камеры, составляемого для наиболее напряженного периода работы системы охлаждения. При проектировании фруктово-овощехранилищ и хранилищ растительной продукции таким является период массового поступления продукции.

Сроки загрузки хранилищ и температура загружаемой продукции приведены в справочной литературе в зависимости от региона страны и вида продукции.

Температуру поступающей мясной продукции рекомендуется принимать в диапазоне 25–35 °С. Массу охлаждаемой продукции вычисляют исходя из максимального суточного поступления. Расчетные температуры внутреннего воздуха в хранилищах и наружного воздуха принимают согласно нормам технологического проектирования и СНиП (СНБ, ТКП).

Расчетная температура наружного воздуха при круглогодичной работе холодильника и равномерном поступлении продукции может быть определена по формуле:

$$t_n = 0,4t_a + 0,6t_b,$$

где t_a – средняя температура наиболее жаркого месяца (параметр А для теплого периода года в данной местности), °С;

t_b – абсолютно максимальная температура (параметр В для теплого месяца года в данной местности), °С.

3.85. В чем суть теплового расчета временных хранилищ?

Для временных хранилищ определяют требуемую величину изоляции для обеспечения близких к оптимальным температурно-влажностных условий хранения картофеля и овощей.

Тепловой баланс временных хранилищ определяется не только принятыми размерами штабеля продукции, но также мощностью укрытия и действием системы вентиляции. Можно считать, что в зимний период теплообмен между продукцией и наружным воздухом происходит целиком через укрытие. Тепловая изоляция штабеля в этом случае рассчитывается из условия, что тепловой поток, выходящий через нее наружу (Φ_x), равен притоку теплоты, выделяемой продукцией при дыхании ($\Phi_{\text{дых}}$):

$$\Phi_{\text{дых}} = G \cdot Q_{\text{дых}},$$

где G – количество продукции, т;
 $Q_{\text{дых}}$ – энергия дыхания (Вт/т).

$$Q_{\text{дых}} = Q_0 \exp\left(\frac{b}{t_x}\right),$$

где Q_0 – удельная теплота дыхания при $t_x = 0$ °С (Вт/т);
 b – температурный коэффициент скорости дыхания, °С⁻¹;
 t_x – температура хранения, °С.

$$\Phi_x = \left(\frac{A}{R}\right)(t_x - t_n),$$

где A – площадь внешней поверхности укрытия, м²;
 R – суммарное термическое сопротивление слоя теплоизоляции, м² К/Вт;

$$R = R_{\text{ис}} + R_n,$$

где $R_{\text{ис}}$ – термическое сопротивление изоляционных слоев укрытия;
 R_n – сопротивление теплоотдачи на наружной поверхности укрытия в окружающую среду, равно $1 / \alpha$;
 t_n – наружная температура воздуха, °С.

Для определения значения α на наружной поверхности укрытия рекомендуется использовать расчетное выражение (предложил Князев В. В.):

$$\alpha = 3 + 10g^{0,5},$$

где g – скорость ветра в данной местности, м/с.

Во избежание подмораживания продукции в зимнее время необходимо, чтобы плотность теплового потока, проходящего через укрытие в окружающую среду, не превышала значение теплового потока, вызванного теплотой дыхания ($\Phi_x < \Phi_{\text{дых}}$).

3.86. Методика теплового расчета капитальных хранилищ.

Расход холода в холодильной камере определяют с учетом компенсации всех притоков теплоты, которые могут быть вычислены по формуле:

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 + \Phi_4,$$

где Φ_1 – приток теплоты через внешние ограждения, Вт;
 Φ_2 – тепловой поток, обусловленный расходами теплоты на охлаждение продукции и ее тепловыделениями, Вт;
 Φ_3 – тепловой поток, поступающий с наружным вентиляционным воздухом, Вт;
 Φ_4 – эксплуатационный тепловой поток (открытие дверей, электроосвещение, обслуживающий персонал и др.), Вт.

Указанные тепловые потоки могут быть найдены по следующим формулам:

$$\Phi_1 = \sum [K_i A_i (t_n - t_k)] + \Phi_p,$$

где K_i – коэффициенты теплопередачи стен, пола, потолка, Вт/(м²·К);
 A_i – площади поверхности стен, пола, потолка, м²;
 t_k – заданная температура воздуха камеры (температура хранения продукции), °С;
 Φ_p – теплоприток от солнечной радиации, Вт;

$$\Phi_p = K_p A_p \Delta t_p \frac{Z}{24},$$

где K_p – коэффициент теплопередачи внешнего ограждения, подверженного облучению солнца, Вт/(м²·К);

A_p – суммарная площадь поверхности кровли и одной из наружных стен, максимально облучаемой солнцем, м²;

Δt_p – избыточная разность температур, учитывающая действие солнечной радиации в летнее время (для плоской кровли – 15–20 °С, для стен, обращенных на юг – 5–10 °С), °С;

Z – продолжительность воздействия солнечной радиации (можно принять для РБ – 9 ч/сут);

$$\Phi_2 = (M_c + M_T c_T)(t_1 - t_2),$$

где M , M_T – массы продукта и тары, поступающих в холодильную камеру, кг/с;

c , c_T – удельные теплоемкости охлаждаемого продукта и материала тары, Дж/(кг·К);

t_1 , t_2 – температуры продукта и тары до и после охлаждения, °С;

$$\Phi_3 = a \cdot V \cdot \rho (h_n - h_k) \frac{1}{3600},$$

где a – кратность вентиляции (принимается 0,04–0,16 1/ч);

V – объем холодильной камеры, м³;

ρ – плотность воздуха в камере, кг/м³;

h_n , h_k – энтальпии наружного воздуха при расчетных условиях и воздуха в камере, Дж/кг;

$$\Phi_4 = (0,1 - 0,2)\Phi_1.$$

Рабочую холодопроизводительность холодильной установки определяют по формуле (Вт):

$$\Phi_{\text{раб}} = \varepsilon \sum \frac{\Phi}{b_o},$$

где ε – коэффициент, учитывающий теплопритоки в трубопроводах (можно принять для обычной схемы 1,05–1,07 и 1,1–1,12 – для рассольной схемы охлаждения);

Φ – общий расход холода по всем камерам холодильника, Вт;

b_o – коэффициент рабочего времени холодильной машины (принимают 0,75–0,8).

3.87. Особенности расчетов систем воздушного охлаждения продукции.

Воздушное охлаждение используют как при естественном, так и при искусственном охлаждении. В первом случае помещения хранилищ охлаждают холодным наружным воздухом, во втором – внутренним циркулирующим, для охлаждения которого устраивают воздухоохладители и охлаждающие приборы.

Расход холодного воздуха (наружного или охлажденного), необходимый для охлаждения помещения, рассчитывают по формуле (м³/ч):

$$L = 3600 \frac{\Phi}{\rho (h_b - h_x)},$$

где Φ – суммарный тепловой поток тепlopоступлений, Вт;

ρ – плотность воздуха в помещении (можно принять равной 1,29), кг/м³;

h_b , h_x – энтальпии внутреннего и холодного воздуха, подаваемого в помещение, Дж/кг.

Энтальпию (h_x) определяют при температуре, принимаемой на 2–5 °С ниже температуры внутри охлаждаемого помещения. Расчетную относительную влажность принимают соответствующей состоянию наружного воздуха или равной 100 % (при использовании искусственного охлаждения).

Расход циркулирующего воздуха (м³/ч) характеризуют кратностью циркуляции внутреннего воздуха:

$$L_{\text{ц}} = n V_{\text{стр}},$$

где n – кратность циркуляции, 1/ч;

$V_{\text{стр}}$ – строительный объем помещения, м³.

Кратность циркуляции принимают в пределах 10–150 1/ч в зависимости от вида продукции и способа хранения. Рекомендуют следующие значения кратности циркуляции:

а) в камерах охлаждения плодов и фруктов 40–60 1/ч;

б) в камерах хранения плодов и фруктов; охлаждения и хранения картофеля, корнеплодов и овощей в таре 20–40 1/ч;

в) при интенсивном охлаждении плодов и фруктов 100–150 1/ч.

При хранении плодоовощной продукции в таре необходимо обеспечить зазоры между ящиками в штабеле не менее 2 см, а между поддонами или контейнерами в пределах 3–10 см.

В этих условиях 80–90 % раздаваемого воздуха движется по щелям между ящиками и контейнерами, и большое значение приобретает естественная конвекция воздуха внутри тары.

3.88. В чем заключается методика расчета систем активного вентилирования хранилищ?

Расход воздуха при активном вентилировании может быть определен по формуле:

$$L = V_p M,$$

где V_p – расчетное значение интенсивности активного вентилирования, $\text{м}^3/(\text{ч}\cdot\text{т})$;

M – вместимость помещения, т.

Интенсивность активного вентилирования может быть определена по формуле, предложенной проф. В. З. Жаданом:

$$V = \frac{1000 c \cdot \varepsilon_{\phi} \cdot \varepsilon_{\text{д}}}{c_{\text{в}} \cdot X \cdot \varepsilon_{\text{р}} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot \tau_{\phi}} \ln \left(\frac{t_1 - t_n}{t_2 - t_n} \right),$$

где c – удельная теплоемкость продукта, $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$;

ε_{ϕ} – коэффициент, учитывающий теплоту дыхания продукции;

$\varepsilon_{\text{д}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительные источники теплоты (с поступающим воздухом и от тары);

τ_{ϕ} – продолжительность фазы охлаждения (принимается для овощей – 5 суток; для картофеля – 10 суток);

$\varepsilon_{\text{р}}$ – коэффициент рабочего времени вентиляторов ($\varepsilon_{\text{р}} = \tau / 24$, τ – число часов работы вентиляторов в сутки);

$c_{\text{в}}$, $\rho_{\text{в}}$ – удельная теплоемкость и плотность приточного воздуха;

X – коэффициент, учитывающий тепловой эффект испарительного охлаждения продукции (при интервале температур от -2 до $+13$ °С).

$$X = \frac{41,6 - t_n}{24,4 - t_n},$$

99

где t_n – средняя температура приточного воздуха в данной фазе охлаждения, °С;

t_1 , t_2 – начальная и конечная температуры продукции для данной фазы охлаждения, °С.

Полученное значение сравнивают с минимальным нормативным по данным табл. 3.4. За расчетное значение (V_p) принимают интенсивность активного вентилирования не ниже табличного:

$$V_p = V \geq V_{\text{мин}}.$$

Необходимо учитывать следующие рекомендации:

– в основной период хранения интенсивность активного вентилирования необходимо уменьшить по сравнению с расчетной на 50 % (вентилирование в этот период имеет периодический характер: 4–6 раз в сутки по 20–30 мин с перерывами 4–6 ч).

– при хранении лука предусматривается включение системы активного вентилирования 2–3 раза в сутки по 30–40 мин.;

– продолжительность циклов вентилирования определяется исходя из условий поддержания оптимального режима хранения.

– избыточное вентилирование продукции, не вызванное необходимостью ее охлаждения, приводит к дополнительным потерям продукции в результате ее усушки и перерасходу энергии.

Таблица 3.4
Минимально допустимая интенсивность вентилирования, $\text{м}^3/(\text{ч}\cdot\text{т})$

Вид продукции	Расчетная зимняя температура наружного воздуха в данном регионе, °С	
	Не ниже минус 20	Не выше минус 30
Картофель, морковь, свекла	70	50
Капуста, лук, чеснок	150	100

3.89. Требования к устройству холодильников и хранилищ.

Холодильники и стационарные хранилища устанавливают: наземными, полузаглубленными и заглубленными (при заглублении пола более чем на половину высоты хранилища). Они также отличаются по числу этажей. Наибольшее распространение получили одноэтажные наземные хранилища и холодильники. В состав этих сооружений

входят камеры (помещения) охлаждения, хранения, помещения товарной обработки и сушки лука перед охлаждением, а также грузовые коридоры, тамбуры, вентиляционные, машинные (компрессорные), электрощитовые и служебные помещения.

При определении основных размеров и емкости (вместимости) хранилищ важное значение имеет высота складирования продукции, которая зависит от вида продукции и способа ее размещения. Продукция животного происхождения может храниться в штабелях, на полках стеллажей или в подвешенном состоянии на крюках. Кроме того для хранения могут применяться поддоны и специальные мешки (хранение печени, сердца, языков, легкого, свиных ушей и хвостов). Продукция растительного происхождения хранится в таре (ящиках и контейнерах) или россыпью (навалом и в закромах), что допускается для картофеля, корнеплодов, лука, чеснока и капусты.

Допустимая высота складирования при хранении растительной продукции россыпью и емкость закрома принимается согласно табл. 3.5. Высота при этом определяется способностью тканей этих продуктов выдерживать давление вышележащих слоев. Высота помещения при хранении россыпью составляет 3,6; 4,8 и 6 м.

Таблица 3.5

Технологические параметры хранения продукции

Продукция	Допустимая высота, м	Емкость закрома, т
Картофель, свекла и брюква	5–6	100
Морковь, репа, лук	2,8	60
Капуста	2,8	45
Чеснок	1,5	60

При хранении плодоовощной продукции допускается хранение в одном помещении при раздельном размещении: картофеля и свеклы; моркови, свеклы и других корнеплодов; лука и чеснока; фруктов одного периода съема при одинаковых режимах и сроках хранения.

Наружные ограждения выполняются из двух основных слоев – наружного, выполняющего функции несущего и защитного слоя, а также внутреннего, являющегося теплоизоляционным и гидроизоляционным. В качестве наружного слоя применяются железобетонные панели, стальные или алюминиевые листы, кладка из кирпича или природных камней. Для внутренних ограждений при сооружении холодильников и хранилищ используются пенопласты (пенополистирол,

пенополиуретан, пенополихлорвинил), минераловатные изделия, засыпки из гравия, шлака и др.

Гидроизоляционные (пароизоляционные) слои выполняются из битумных мастик, рубероида, изола, гидроизола и др.

Инженерное теплотехническое оборудование холодильников и хранилищ включает системы охлаждения, вентиляции и отопления.

3.90. Что такое грузовой объем хранилища и вместимость помещения?

При ориентировочном определении площади пола для размещения продукции (грузовой площади) используют ее отношение к строительной площади помещения (с учетом колонн, проездов, коридоров и т. п.). Это отношение принимается равным: для малых помещений (до 100 м²) – 0,65; для средних помещений (до 400 м²) – 0,7; для крупных помещений (более 400 м²) – 0,8.

Емкость (вместимость) помещения определяется как произведение грузового объема на норму загрузки единицы объема. Условная емкость холодильников и хранилищ определяется в тоннах условного груза, норма загрузки которого составляет 0,35 т/м³.

3.91. Что такое ледник и как он устроен?

Простейшими холодильными устройствами служат ледники, представляющие собой деревянные, кирпичные или бетонные сооружения. Охлаждение пищевых продуктов в камерах ледника происходит за счет таяния льда, находящегося в смежном помещении – ледохранилище (рис. 3.23).

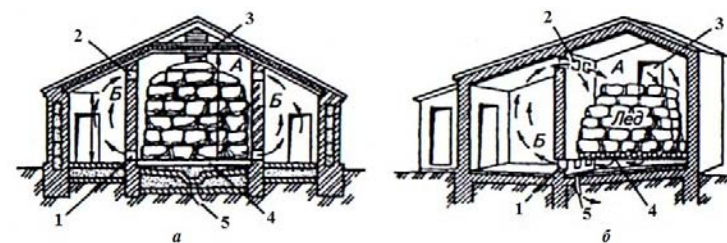


Рис. 3.23. Устройство ледников с внутренним расположением льда (а) и с боковым расположением льда (б):

А – ледохранилище; Б – камеры хранения; 1 – окно для поступления холодного воздуха в камеру; 2 – окно для отвода нагретого воздуха из камеры; 3 – воздуховод; 4 – напольная решетка из бревен; 5 – слив талой воды

Тяжелый холодный воздух через нижние отверстия в стене поступает в камеру, воспринимает теплоту от продуктов и возвращается через верхние отверстия в ледохранилище, где вновь охлаждается. Чтобы усилить циркуляцию воздуха помещение со льдом располагают несколько выше, чем камеры. В ледниках, охлаждаемых только льдом, поддерживается температура 3–4 °С. Если необходима более низкая температура, в ледниках устраивают льдосоляное охлаждение. Смесь льда и технической поваренной соли периодически загружают в решетчатые карманы, размещаемые непосредственно в охлаждаемых помещениях. Более совершенная рассольная схема льдосоляного охлаждения представлена на рис. 3.24.

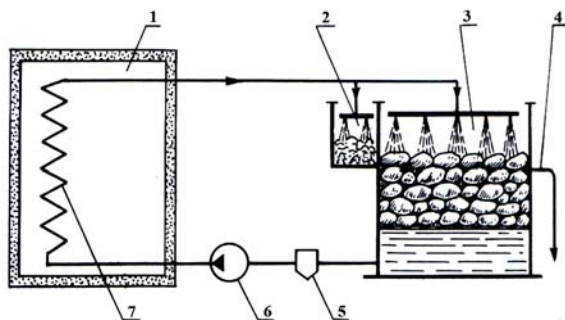


Рис. 3.24. Система льдосоляного охлаждения:

1 – охлаждаемое помещение; 2 – секция соли; 3 – бак с решеткой для размещения льда; 4 – переливная труба; 5 – фильтр; 6 – насос; 7 – охлаждающие приборы

Холодный рассол получают в генераторе холода – фригаторе, находящемся вне охлаждаемого помещения. Фригатор представляет собой бак с решеткой, на которую периодически (1–2 раза в сутки) загружают кусковой лед. Под решеткой в нижней части бака собирается холодный рассол, который насосом подается в батареи охлаждаемых камер. Фильтр улавливает загрязнения, неизбежно вносимые в бак вместе со льдом. Рассол, нагретый на 2–3 °С, возвращается в генератор холода через оросительную систему, состоящую из одной или двух труб с отверстиями, и разбрызгивается по всей массе льда.

Охлажденный рассол стекает под решетку бака. Часть получившего теплоту рассола пропускается через солеконцентратор, насыщается солью и стекает в бак. Благодаря этому поддерживается постоянная концентрация рассола и, следовательно, необходимая температура в охлаждаемых помещениях холодильника.

3.92. Как устроены простейшие временные хранилища?

К этому типу сооружений относятся бурты (лабазы) и траншеи (ямы). В них сохраняют чаще всего картофель, корнеплоды, белокочанную капусту и яблоки. Они применяются достаточно широко как быстро сооружаемые хранилища, и отличающиеся небольшими расходами строительных материалов. Бурты и траншеи сооружаются в местах производства продукции в районах со средней температурой наиболее холодного месяца не ниже минус 20 °С.

Бурт – это удлиненный валообразный штабель продукции, выложенный на поверхности почвы или немного заглубленный и укрытый каким-либо теплоизоляционным материалом.

Бурты разделяются на два вида:

- с приточно-вытяжной вентиляцией (рис. 3.25);
- лабаз, т. е. щитовой (или коридорный) бурт (рис. 3.26).

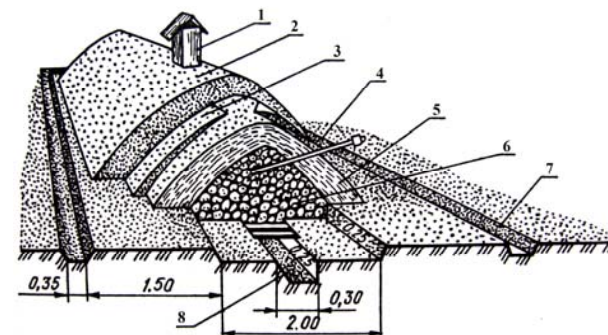


Рис. 3.25. Бурт:

1 – вытяжная шахта; 2 – полное укрытие землей; 3 – первоначальный слой земли; 4 – буртовой термометр; 5 – укрытие соломой; 6 – картофель; 7 – водоотводная канава; 8 – приточный канал

Лабазы – это крышеобразные помещения, возведенные над котлованом (котлованы имеют различную глубину – от 0,5 до 1,5 м и ширину от 2 до 4 м, длина их произвольная). Вокруг котлована делают обвязку из дерева, на которую укладывают стропила. Посредине строения для поддержания крыши устанавливают столбы в один или два ряда, кладут стропила и на них устанавливают крышу из досок или горбылей. На доски или горбыли накладывают уплотненный небольшой слой глины, который препятствует проникновению водяных паров в утепляющий материал. Поверх глины укладывают

утепляющий материал, а затем опять тонкий слой глины, который покрывают дерном. Вместо глины для гидроизоляции можно использовать толь или полимерную пленку. Внутри лабаза иногда устраивают закрома. Закрома для картофеля должны быть высотой 1,5–1,7 м, для корнеплодов – до 1 м. Пол закрома приподнимают на 10–15 см. Стеллажи располагают на расстоянии от пола до 1,0–1,2 м, а друг от друга – не менее 60 см. На торцевой стороне устраивается небольшой тамбур. По коньку располагают вытяжные трубы сечением 20×20 см. В таком лабазе картофель и корнеплоды сохраняются длительное время и не прорастают. Для контроля над температурой и влажностью воздуха в лабазе помещают термометр и психрометр.

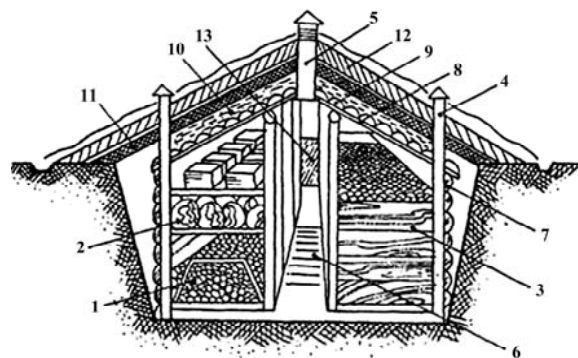


Рис. 3.26. Лабаз (щитовой бурт):

1 – штабель корнеплодов; 2 – полки стеллажа; 3 – закром для хранения корнеплодов и картофеля; 4 – приточная труба для подачи холодного воздуха; 5 – вытяжная труба для удаления теплого и влажного воздуха; 6 – рабочий проход; 7 – стена из горбылей; 8 – стропила перекрытия; 9 – настил из горбылей; 10 – гидроизолирующий материал; 11 – утепляющий материал; 12 – дернина; 13 – входная дверь

На территории Республики Беларусь в основном используются бурты с приточно-вытяжной вентиляцией.

Траншеи (рис. 3.27–3.28) представляют собой удлиненную канаву, заполненную картофелем, овощами, яблоками, и подобно бурту укрытую тепловой изоляцией. Если траншея имеет небольшие размеры, ее называют ямой. Приточный канал предусматривается по центру в виде канавы, перекрытой деревянными решетчатыми щитами, или в виде трехгранного канала из досок, планок или реек. С обеих сторон канал должен выходить за пределы укрытия на 0,2–0,3 м. Вытяжные шахты выполняются высотой 1,5–1,7 м, при этом нижняя их часть

является решетчатой. Шахты располагаются на расстоянии 3–4 м друг от друга и от торцов хранилища.

Для контроля над режимом хранения устанавливаются буртовые термометры. В зависимости от температуры продукции производят укрытие буртов и траншей, регулируют интенсивность вентиляции.

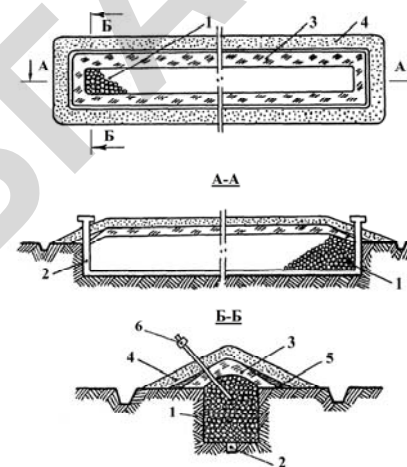


Рис. 3.27. Траншея с приточной вентиляцией:

A-A – продольный, B-B – поперечный разрезы; 1 – хранящаяся продукция; 2 – приточная вентиляция; 3 – солома; 4 – окончательное укрытие землей; 5 – первоначальное укрытие землей; 6 – термометр

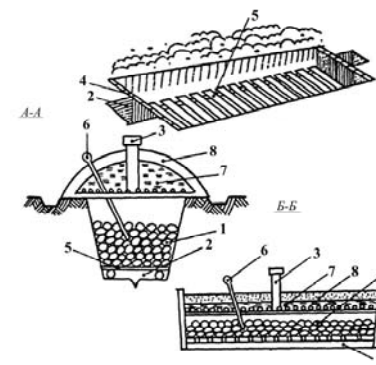


Рис. 3.28. Траншея с приточно-вытяжной вентиляцией:

A-A – поперечный, B-B – продольный разрезы; 1 – хранящаяся продукция; 2 – приточная вентиляция; 3 – вытяжная труба; 4 – щит; 5 – решетка; 6 – трубка для термометра; 7 – солома; 8 – земля

Чаще всего для укрытий применяют сухую солому озимых культур, т. к. она является хорошим теплоизолятором и впитывает влагу, выделяемую хранимой продукцией. Сверху на солому наносят слой земли. Толщина укрытия в условиях РБ рекомендуется в пределах: слой соломы 0,3–0,5 м; слой земли 0,4–0,7 м. Вместо соломы могут быть использованы местные материалы: засыпки из торфа, шлака, опилок, стружек, а также минераловатные и деревянные щиты.

Размеры буртов и траншей, характер и толщина укрытия зависят от климатических условий местности, вида и назначения продукции, а также от продолжительности хранения. Чем ниже расчетная зимняя температура, тем шире бурт, глубже и шире должна быть траншея. Расположение буртов и траншей осуществляют в направлении господствующих зимних ветров: для большинства районов РБ – с севера на юг.

Некоторые особенности устройства щитовых (коридорных) буртов:

1) основной утеплитель, слой которого на 10–15 % меньше, чем в обычных буртах, укладывается на щиты из досок или горбылей, уложенные на бревенчатый каркас; при этом корнеплоды не испытывают давление от укрытия, т. к. между его сводом и штабелем имеется воздушный промежуток, способствующий интенсивному воздухообмену и охлаждению продукции;

2) продукцию загружают и выгружают через люки, устроенные в их торцевых и боковых стенках;

3) в буртах на всю длину имеется проход шириной 0,6–0,7 м, в который можно входить для осмотра продукции, ее переборки и подготовки к реализации.

Обычное буртовое хранение хотя и получило широкое применение, однако, имеет ряд существенных недостатков:

- сложность изменения режима хранения;
- невозможность систематического осмотра продукции (особенно в обычных буртах с приточно-вытяжной вентиляцией);
- затруднение в ее реализации в холодное время года;
- довольно большие потери при хранении.

3.93. Как устроены буртовые площадки?

Площадки для размещения буртов и траншей должны располагаться на повышенных незатопляемых местах с достаточно глубоким залеганием грунтовых вод (на глубине не менее 1 м от основания продукции).

Бурты и траншеи размещают группами, вокруг устраивают водоотводные каналы шириной 0,5 м и глубиной 0,2–0,3 м. Они оборудуются приточно-вытяжной вентиляцией (рис. 3.29).

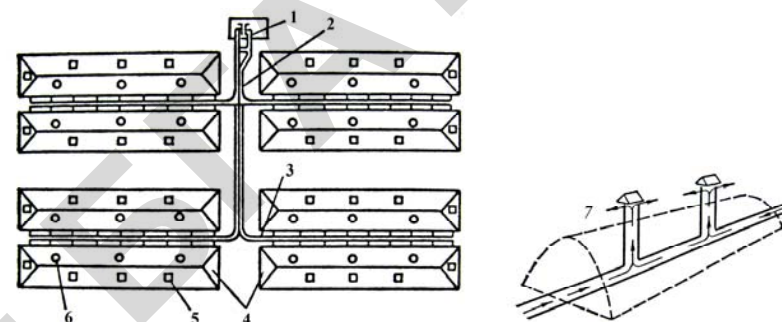


Рис. 3.29. Схема буртовой площадки:

- 1 – помещение для вентилятора; 2 – магистральный вентиляционный канал; 3 – распределительный канал; 4 – бурты; 5 – люки для загрузки картофеля; 6 – вытяжные трубы; 7 – устройство вентиляции бурта

3.94. Вместимость стационарных хранилищ.

Массовое внедрение активной вентиляции в практику хранения картофеля ведется главным образом за счет строительства картофелехранилищ по новым типовым проектам. Институтом «Гипрониисельпром» разработаны типовые проекты хранилищ разной емкости для хранения семенного и продовольственного картофеля в условиях активного вентилирования. В их число входят секционные картофелехранилища емкостью 1000, 2000 и 3000 т (проекты 813-14/70, 813-2-5, 813-163 и 813-2-6). Картофелехранилища по этим проектам предназначены для хранения семенного картофеля. Проектом 813-14/70 предусмотрено помещение для проращивания семенных клубней площадью 297,2 м² (емкостью 76,3 т). Проектом 813-2-5 предусмотрено помещение товарной обработки размером 56 м², проектами 813-163 и 813-2-6 цеха товарной обработки размером соответственно 130 и 132 м².

Хранение картофеля осуществляется в закромах (813-14/70) или секциях с высокой насыпью соответственно 3,6–4,0 и 5 м в условиях активной вентиляции с подачей воздуха непосредственно в насыпь по схеме «снизу – вверх», что обеспечивает поддержание благоприятных режимов температуры и влажности в насыпи картофеля,

Проращивание перед посадкой части семенного картофеля предусматривается при температуре 12–20 °С, относительной влажности 85–90 % и общеобменной вентиляции.

Секционные картофелехранилища емкостью 1000 т могут использоваться для хранения семенного материала с целью посадки в своих хозяйствах.

Хранилища емкостью 2000 и 3000 т более соответствуют требованиям элитно-семеноводческого хозяйства, снабжающего семенным картофелем другие хозяйства.

Для хранения небольших количеств семенного материала можно использовать закромное хранилище семенного картофеля емкостью 250 т. Такие хранилища могут эксплуатироваться опытными учреждениями или хозяйствами, выращивающими картофель на небольших площадях. Хранилище имеет помещение для проращивания площадью 140 м².

Типовые проекты секционных хранилищ 813-2-5, 813-163, 813-2-6 емкостью 1000, 2000 и 3000 т предназначены для хранения семенного картофеля, его послеуборочной и предпосадочной обработки. Здания хранилищ наземного типа оборудованы навесами размером соответственно 213, 282, 290 м². Хранение предусмотрено в секциях емкостью 500 и 1000 т навалом в условиях активной вентиляции. Проекты разработаны для климатических районов с расчетной зимней температурой наружного воздуха минус 30 °С (основной вариант). Возможно применение при расчетной температуре минус 20 °С (813-163), минус 20 и минус 40 °С (813-2-5 и 813-2-6). Механизация работ в хранилищах осуществляется с помощью ТЗК-30, СТХ-30 и ТХБ-20. Поддержание режимов температуры автоматизировано.

Картофелехранилище контейнерного типа емкостью 2000 т, с кирпичными стенами (типовой проект 813-176) имеет сортировочное помещение площадью 304,1 м². Хранилище предназначено для приемки, сортировки, переборки, хранения и проращивания семенного картофеля. Хранят картофель в контейнерах емкостью 415 кг.

Продовольственный картофель можно хранить в хранилищах навалного типа емкостью 1500 т (типовой проект 813-104), 1000 т (типовой проект 813-125). Высота загрузки клубней 4 м. Хранение осуществляется при активной вентиляции. В период хранения температура в насыпи поддерживается в пределах 2–4 °С при относительной влажности 85–95 %.

Основа компоновочных решений комплексов для хранилищ – секционная (модульная) система строительства. Комплексы можно

компоновать из модулей двух типов: хранения и обработки продукции. Стационарные хранилища специализируются по видам продукции, закладываемой в них. При направленной технологии выращивания с загрузкой отсортированной продукции в контейнеры в хозяйствах, последующим транспортированием и хранением ее в тех же контейнерах в оптимальных условиях, учитывающих сортовую специфику, повышается выход товарной (стандартной) продукции после хранения. В настоящее время вместимость стационарных хранилищ плодовоовощной продукции (по типовым проектам Гипрониисельпрома, номер шифра 813) составляет 1000–10000 т.

3.95. Какие способы вентиляции используются в стационарных хранилищах?

В хранилищах используют один из следующих способов вентиляции: естественную, принудительную или активную (активное вентилирование).

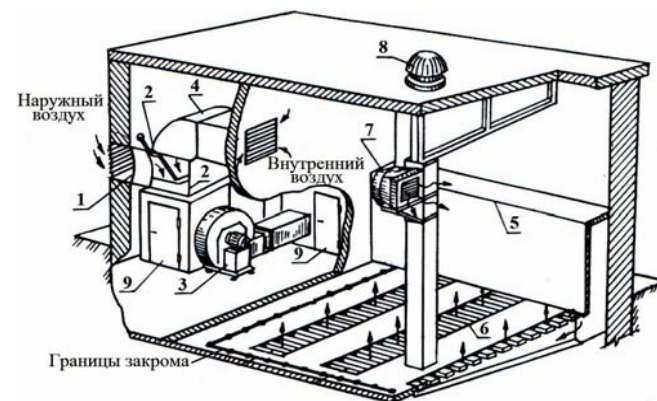


Рис. 3.30. Система активного вентилирования:

- 1 – воздухозаборный канал; 2 – смесительный канал; 3 – вентилятор;
- 4 – рециркуляционный воздуховод; 5 – магистральный канал;
- 6 – воздухораспределительный канал; 7 – рециркуляционный агрегат;
- 8 – крышный вентилятор; 9 – герметичная дверь

Хранилища малой вместимости, как правило, используют систему с естественной вентиляцией; в хранилищах, где продукция содержится в таре используют принудительную вентиляцию, или задействуют систему активного вентилирования (рис. 3.30). Хранилища

с активным вентилярованием, при котором воздух, нагнетаемый вентиляторами, омывает всю продукцию, являются наиболее совершенными. В них используют также искусственное охлаждение для плодов и овощей (это касается южных районов СНГ; в РБ – только естественное охлаждение).

3.96. Основные группы в классификации холодильных машин.

Все холодильные машины разделяются на две группы:

- воздушные и паровые компрессионные холодильные машины, требующие для своей работы затрат механической энергии;
- абсорбционные и парожеткорные холодильные установки, работа которых основана на использовании тепловой энергии.

3.97. Характеристика холодильных машин, входящих в основные группы по их классификации.

В холодильной технике находят применение несколько систем холодильных машин – пароконпрессионные, абсорбционные, парожеткорные и воздушно-расширительные. Их работа основана на том, что рабочее тело (холодильный агент) за счет затраты внешней работы совершает обратный круговой термодинамический процесс (холодильный цикл). В пароконпрессионных, абсорбционных и парожеткорных холодильных машинах для получения эффекта охлаждения используют кипение низкокипящих жидкостей. В воздушно-расширительных холодильных машинах охлаждение достигается за счет расширения сжатого воздуха в детандере.

Одна из старейших холодильных машин – абсорбционная. Ее изобретение и конструктивное оформление связано с именами *Дж. Лесли* (Великобритания, 1810 г.), *Ф. Карре* (Франция, 1850 г.) и *Ф. Виндхаузена* (Германия, 1878 г.). На современном этапе абсорбционные холодильные машины изготавливают одно- или двухступенчатыми. Первая пароконпрессионная машина, работавшая на эфире, построена *Дж. Перкинсом* (Великобритания, 1834 г.). Позднее были созданы аналогичные машины с использованием в качестве хладагента метилового эфира и сернистого ангидрида. В 1874 г. *К. Линде* (Германия) построил аммиачную пароконпрессионную холодильную машину, которая положила начало холодильному машиностроению.

В зависимости от вида холодильного компрессора пароконпрессионные машины подразделяются как поршневые, турбоккомпрессионные,

ротационные и винтовые. В зависимости от давления используемого сжатого воздуха воздушные холодильные машины подразделяются на машины высокого и низкого давления. Различают воздушные машины, работающие по замкнутому и разомкнутому циклу.

3.98. Как классифицируются холодильники сельскохозяйственной продукции по целевому назначению?

Холодильники можно классифицировать по различным признакам. Однако классификация холодильников по целевому назначению наиболее полно отражает особенности работы холодильников и их оборудования. Наличие разнообразных холодильных предприятий отвечает задачам осуществления непрерывной холодильной цепи, под которой понимают совокупность холодильников различных типов и организацию взаимной связи между ними, благодаря которой пищевые продукты, начиная с момента производства и кончая потреблением, находятся под постоянным воздействием низких температур, что обеспечивает высокое качество продуктов даже при длительном их хранении. В соответствии с этим различают следующие типы холодильников.

Производственные холодильники, которые предназначены для первичной термической обработки (охлаждения и замораживания) пищевых продуктов и находятся в районах производства или заготовки продуктов. Они могут быть цехом какого-либо пищевого предприятия (мясокомбината, молочного комбината и т. п.) или самостоятельным предприятием в месте заготовки, например, рыбы (рыбные заготовительные) или птицы, яиц (птично-яичные) и другой продукции сельского хозяйства. Производственное холодильное оборудование – оборудование, имеющее, как правило, в своем составе холодильные системы или установки холодопроизводительностью свыше 15 кВт.

Базисные холодильники предназначены для долгосрочного хранения продуктов, поступающих из производственных холодильников, с целью создания резервов. Эти холодильники обычно имеют большую емкость помещений для хранения продуктов и малую производительность устройств для охлаждения и замораживания. Для таких холодильников предъявляются повышенные требования к поддержанию постоянства температурного и влажностного режимов в охлаждаемых помещениях.

Портовые холодильники служат для краткосрочного хранения грузов при их перегрузке с одного вида транспорта на другой, например с водного на железнодорожный транспорт и т. п.

Распределительные холодильники предназначены для равномерного обеспечения городов и промышленных центров сезонными продуктами питания в течение всего года. Так же, как и базисные холодильники, характеризуются относительно большой вместимостью помещений для хранения продуктов.

Торговые холодильники служат для кратковременного хранения продуктов на торговых базах, в магазинах, столовых, ресторанах и т. п. Характерными для этого типа холодильников являются повышенные температуры хранения и менее строгие требования в отношении поддержания постоянных условий хранения. К торговому холодильному оборудованию относятся: сборные холодильные камеры, холодильные шкафы, охлаждаемые витрины, прилавки и прилавки-витрины. Сборные холодильные камеры применяют для хранения охлажденных (замороженных) продуктов. Холодильные шкафы предназначены для хранения охлажденных (замороженных) продуктов, напитков. Различаются размерами, объемом, количеством полок, наличием принудительного конвективного охлаждения внутреннего объема. Шкаф может иметь распашные или раздвижные двери. Охлаждаемые витрины и прилавки предназначены для сохранения продуктов в торговом зале в течение рабочей смены. Основное назначение охлаждаемых витрин – демонстрация продаваемых продуктов.

Транспортные холодильники предназначены для создания необходимых низкотемпературных условий перевозки продуктов на разнообразных средствах транспорта. Различают железнодорожный, водный, автомобильный и авиационный холодильный транспорт, а также холодильные контейнеры.

Домашние (бытовые) холодильники служат для кратковременного хранения продуктов в домашних условиях и для производства небольшого количества льда. Данный тип оборудования делится на холодильники общественного назначения и специальные. Холодильники общественного назначения служат, в основном, для охлаждения и кратковременного хранения в охлажденном состоянии различных скоропортящихся продуктов, полуфабрикатов и готовых блюд, небольших количеств замороженных продуктов и пищевого льда. Специальные холодильники-морозильники выпускают главным образом для замораживания и последующего хранения продуктов в замороженном состоянии или только для хранения ранее замороженных

продуктов. Специальные холодильники выпускают также для отдельного хранения замороженных и охлажденных продуктов. В этом случае их выполняют двухкамерными: с камерой для охлажденных продуктов и камерой для замороженных продуктов; каждая камера имеет самостоятельную дверцу. Данный тип бытовых холодильников на сегодняшний день является самым популярным и массовым среди потребителей.

3.99. Что такое чиллер?

Чиллер – водоохлаждающая парокомпрессионная холодильная машина. Чиллеры можно разделить принципиальным образом на две большие группы – абсорбционные и парокомпрессионные – в зависимости от способа получения холода – используя тепловые свойства веществ при поглощении (абсорбции) и компрессии соответственно. Внешний вид таких машин представлен на рис. 3.31.



Рис. 3.31. Современный чиллер (на примере оборудования фирмы LS Air Conditioning)

3.100. Классификация современных парокомпрессионных чиллеров.

Парокомпрессионные чиллеры классифицируют по нескольким параметрам: типу установки, исполнения конденсатора или гидромодуля, типу компрессора, вентиляторов конденсатора, а также по опциональным функциям – фрикулингу (функция свободного

охлаждения) и наличие режима «тепловой насос» (режим работы чиллера «на отопление»).

По типу установки:

– наружной установки (встроенный конденсатор). Подобные агрегаты представляют собой единый моноблок, устанавливаемый на улице. Удобен тем, что позволяет эксплуатировать неэксплуатируемые площади – кровлю, открытые площади на земле и др. Также это и более дешевое решение. В то же время, использование воды в качестве теплоносителя сопряжено с необходимостью ее слива на зимний период, что неудобно в эксплуатации, поэтому применяются незамерзаемые жидкости, как новые солевые, так и традиционные растворы гликолей в воде;

– внутренней установки (выносной конденсатор). Здесь ситуация практически обратная по сравнению с предыдущим вариантом. Чиллер состоит из двух частей – компрессорно-испарительного блока и конденсатора, соединенных фреоновой трассой. В чиллерах внутренней установки не возникает проблем с использованием воды.

По типу исполнения конденсатора:

– воздушного охлаждения (самый распространенный вариант). Конденсатор представляет собой трубчато-ребристый теплообменник и охлаждается бесплатным наружным воздухом. Это дешево и просто в проектировании, монтаже и эксплуатации. Пожалуй, минусом можно назвать лишь большие габариты конденсатора в виду малой плотности воздуха;

– водяного охлаждения. В этом случае конденсатор является пластинчатым или теплообменником «труба в трубе». Водяное охлаждение заметно уменьшает габариты конденсатора, а также позволяет реализовать рекуперацию тепла.

По типу исполнения гидромодуля:

– со встроенным гидромодулем. Чиллеры такой конфигурации представляют собой моноблок, в который включена насосная группа и, как правило, расширительный бак. В этом случае нет необходимости искать место для насосной станции, продумывать ее компоновку и т. д. Кроме того, отсутствуют проблемы с автоматикой – это очень весомые преимущества встроенных гидромодулей;

– с выносным гидромодулем. Выносной гидромодуль используется, когда не хватает мощности встроенного, при необходимости резервирования (во встроенных гидромодулях допускается один резервный насос), если по каким-либо причинам желательна внутренняя установка насосов.

По типу компрессора: поршневые, ротационные, спиральные или винтовые компрессоры.

По типу вентиляторов конденсатора: осевые или центробежные вентиляторы.

По функциям:

– «фрикулинг» – функция свободного охлаждения. Практически незаменима для чиллеров, работающих и в холодное время года. В системе холодоснабжения наиболее распространен температурный график 7/12 °С, а, значит, теоретически, при уличных температурах ниже 7 °С уже возможно использовать свободное охлаждение (теплоноситель напрямую охлаждается уличным воздухом).

– «тепловой насос» – это режим работы чиллера «на отопление». Парокомпрессионный цикл работает несколько в иной последовательности, испаритель и конденсатор меняются своими ролями и теплоноситель не охлаждается, а нагревается. Режим «теплого насоса» наиболее распространен в общественных и административных зданиях, иногда применяется для складов и др.

3.101. Что собой представляет абсорбционный чиллер?

Абсорбционные чиллеры – очень перспективная область развития холодильной техники, получающая все более широкое применение ввиду ярко выраженной современной тенденции к электросбережению. Дело в том, что для абсорбционных холодильных машин основным источником энергии является не электрический ток, а бросовая теплота, неизбежно возникающая на заводах, предприятиях и т. п. и безвозвратно выбрасываемая в атмосферу, будь то горячий воздух, охлаждаемая воздухом горячая вода и др. Рабочим веществом является раствор из двух, иногда трех компонентов. Наиболее распространены бинарные растворы из поглотителя (абсорбента) и хладагента, отвечающие двум главным требованиям к ним: высокая растворимость хладагента в абсорбенте и значительно более высокая температура кипения абсорбента по сравнению с хладагентом. Широкое применение получили растворы вода-аммиак (водоаммиачные холодильные машины) и бромистый литий-вода (бромистолитиевые машины), в которых, соответственно, вода и бромистый литий являются абсорбентами, а аммиак и вода – хладагентами.

Рабочий цикл в абсорбционных чиллерах (рис. 3.32) выглядит следующим образом: в генераторе, к которому подводится бросовая теплота, кипит рабочее вещество, в результате чего выкипает практически

чистый хладагент, ведь его температура кипения гораздо ниже, чем у абсорбента. Пар хладагента поступает в конденсатор, где охлаждается и конденсируется, отдавая свое тепло окружающей среде. Далее полученная жидкость дросселируется, в результате чего охлаждается при расширении и направляется в испаритель, где, испаряясь, отдает свой холод потребителю и следует в абсорбер. Сюда же через дроссель подается абсорбент, из которого в самом начале выкипел хладагент, и поглощает пары хладагента. Наконец, насыщенный хладагентом абсорбент насосом перекачивается в генератор, где хладагент снова выкипает.



Рис. 3.32. Рабочий цикл в абсорбционном чиллере

Если принять бесплатность бросовой теплоты, то электроэнергию потребляет только насос. Экономичность абсорбционных холодильных машин явилась причиной их внедрения и бурного развития в последние годы.

3.102. Что собой представляет парокompрессионный чиллер?

Парокompрессионные чиллеры – это наиболее распространенное в настоящее время холодильное оборудование. Генерация холода осуществляется в парокompрессионном цикле, состоящем из четырех основных процессов – компрессии, конденсации, дросселирования

и испарения – с использованием четырех основных элементов – компрессора, конденсатора, регулирующего вентиля и испарителя – в следующей последовательности: хладагент в газообразном состоянии поступает на вход компрессора с давлением около 7 атм и температурой около 5 °С и сжимается там до давления около 30 атм, нагреваясь до температуры 80 °С. Далее хладагент следует в конденсатор, где охлаждается (как правило, за счет окружающей среды) до температуры около 40 °С (при температуре окружающей среды 8–15 °С). В процессе охлаждения хладагент конденсируется и полученная жидкость поступает в дроссель, где расширяется. На выходе получается парожидкостная смесь (с давлением около 7 атм и температурой 0 °С), поступающая в испаритель. Здесь хладагент отдает свой холод обтекающему испаритель теплоносителю, нагреваясь и испаряясь при постоянном давлении. Полученный охлажденный теплоноситель (температура около 7 °С) и является конечным продуктом. Цикл замыкается. Движущая сила – компрессор.

3.103. Какие преимущества имеют чиллеры?

По сравнению с обычными холодильными машинами современные чиллеры имеют следующие преимущества:

- удобство эксплуатации – круглогодично автоматически поддерживаются заданные параметры в каждом помещении в соответствии с санитарно-гигиеническими нормами;
- гибкость системы – расстояние между чиллером и фанкойлами ограничено только мощностью насоса и может достигать сотен метров;
- экономическое преимущество – сокращаются затраты на эксплуатацию;
- экологическое преимущество – безвредный хладоноситель;
- строительное преимущество – гибкость планировки, минимальные затраты полезной площади на размещение холодильной машины, т. к. ее можно установить на крыше, техническом этаже зданий, во дворе;
- акустическое преимущество – малошумное исполнение агрегатов;
- безопасность – риск залива ограничен за счет применения запорной арматуры;
- могут служить не только источником холодоснабжения, но и в режиме реверсирования холодильного или водяного цикла работать как тепловой насос, что востребовано в холодное время года.

3.104. Деление холодильных машин по типам в зависимости от мощности.

Основной характеристикой холодильной машины является тепловая (холодильная) мощность или холодопроизводительность. Тепловой мощностью холодильной машины называется тепловой поток, отводимый от охлаждаемых материалов или продуктов при температуре ниже температуры окружающей среды. В зависимости от мощности холодильные машины подразделяются:

- на малые (мощностью до 15 кВт);
- средние (мощностью 15–120 кВт);
- крупные (мощностью свыше 120 кВт).

В сельском хозяйстве преимущественное распространение получили компрессионные (хладоновые малой и средней мощности, аммиачные средней мощности) и абсорбционные холодильные машины.

3.105. Что собой представляет холодильные агрегаты?

Холодильные агрегаты – небольшие конструкции, состоящие из холодильного компрессора, его привода, нагнетательного трубопровода, конденсатора и ресивера.

Холодильные агрегаты (рис. 3.33) применяются для работы в условиях небольшого помещения или для транспортных средств, когда требуется компактное холодильное оборудование.



Рис. 3.33. Общий вид типового холодильного агрегата

3.106. По каким признакам классифицируются холодильные агрегаты?

Холодильные агрегаты различаются:

- по типу компрессора;
- среде охлаждения конденсатора;
- диапазону температуры кипения хладагента;
- роду подаваемого тока;
- типу регуляции подачи хладагента в испаритель.

Холодильные агрегаты изготавливаются для нужд холодильных и морозильных камер, складов любых объемов, систем кондиционирования и охлаждения жидкостей, централизованных систем хладо-снабжения.

3.107. Какие холодильные агенты используются в холодильных машинах и установках для АПК?

В большинстве холодильных машин, кроме установок воздушного охлаждения, для переноса теплоты от менее нагретого к более нагретому телу используются холодильные агенты – вещества, имеющие низкую температуру кипения при нормальном атмосферном давлении.

Наибольшее применение получили холодильные агенты – аммиак, фреоны и хладоны (галогидропроизводные предельных углеводородов, полученные путем замены атомов водорода атомами фтора, хлора и брома). Сокращенное обозначение холодильного агента строится по международной форме (стандарт ISO 817-74) и состоит из буквенного обозначения «R» (от слова *refrigerant* – хладагент) и цифрового обозначения, определяющего номер. Система определяющих номеров построена по нижеследующим правилам:

Первая цифра справа – это число фтора в соединении (или дефис, или две цифры, если число атомов фтора более девяти).

Вторая цифра справа – это число атомов водорода в соединении плюс единица.

Третья цифра справа – это число атомов углерода в соединении минус единица. Для соединений метанового ряда нуль опускается.

Число атомов хлора в соединении находят вычитанием суммарного числа атомов фтора и водорода из общего числа атомов, которые могут соединиться с атомами углерода. Для циклических производных в начале определяющего номера ставится буква *C*. В случае, когда на месте хлора находится бром, применимы те же правила,

а в конце определяющего номера ставится буква *B* и цифра, показывающая число атомов брома в молекуле.

При наличии изомеров наиболее симметричный из них обозначен определяющим номером, а у последующих, все более несимметричных, к номеру добавляются буквы *a*, *b* и т. д. Наиболее симметричным считается изомер с наименьшим абсолютным значением разности молекулярных масс левой и правой частей молекулы.

При наличии в молекуле двойной связи в качестве четвертой цифры справа используется *1*. Например:

– для *R12*, обозначение которого следовало бы записать как *R012*, имеем следующее число атомов: $nC = 1$, $nH = 0$, $nF = 2$, следовательно: $nCl = 4nC - nF - nH = 4 - 2 = 2$, откуда его химическая формула CF_2Cl_2 (дифтордихлорметан);

– для *R22* (*R022*) имеем: $nC = 1$, $nH = 1$, $nF = 2$, следовательно: $nCl = 4nC - nF - nH = 4 - 2 - 1 = 1$, откуда его формула CHF_2Cl , т. е. дифторхлорметан.

Начиная с пропанового ряда, приведенная выше буквенная индексация теряет свою однозначность. В связи с этим применяется вторая система индексов:

– для хладонов пропанового ряда к определяющему номеру прибавляется буква, обозначающая группу в центре молекулы, и вторая буква, обозначающая изомер. В качестве первой буквы приняты следующие обозначения для центральных групп: *a* для – CCl_2 , *b* для – $CFCl$, *c* для – CF_2 , *d* для – $CClH$, *e* для – CFH , *f* для – CH_2 . В качестве второй буквы приняты: *a* – для наиболее симметричного изомера, *b*, *c* и т. д. – для все менее симметричных;

– для хладонов бутанового и последующих рядов каждую группу внутри цепочки обозначают двумя буквами в соответствии с п. 1 второй системы индексации. Для концевых групп приняты следующие обозначения: *l* для – CF_2Cl , *m* для – CF_3 , *p* для – CF_2H , *q* для – CFH_2 , *s* для – CH_3 и т. д. Обычно указывают количество групп, достаточное для обозначенного представления структуры;

– смеси хладонов обозначают определяющими номерами соответствующих хладагентов (в порядке возрастания температур кипения), разделенными дробной чертой, с указанием в скобках массовых долей в процентах, а также условно принятыми номерами рядов 500, 400. Применяются и другие способы их индексации.

Используемые в качестве хладагентов неорганические соединения, обозначаются следующим образом: 1-я цифра 7, последующие указывают молекулярный вес соединения.

Характеристики некоторых хладагентов, используемых в холодильном оборудовании АПК, представлены в табл. 3.6.

Фреон *R600a* (изобутан) по сравнению с хладагентами *R12* и *R134a* имеет значительные экологические преимущества. Этот природный газ не разрушает озоновый слой и не способствует появлению парникового эффекта. Масса хладагента, циркулирующего в холодильном агрегате при использовании изобутана, значительно сокращается (примерно на 30 %). Удельная масса изобутана в 2 раза больше удельной массы воздуха – газообразный *R600a* стелется по земле. Изобутан хорошо растворяется в минеральном масле, имеет более высокий, чем *R12*, холодильный коэффициент, что уменьшает энергопотребление.

Таблица 3.6
Основные характеристики некоторых холодильных агентов

Холодильный агент (обозначение)	Химическая формула	Температура кипения при 760 мм рт ст, °С
1. Фреоны и хладоны:		
<i>R12B1</i>	CF_2ClBr	–3,8
<i>R142</i>	$C_2F_2ClH_3$	–9,2
<i>R600a</i> *	C_4H_{10}	–11,8
<i>R134a</i>	CF_3CFH_2	–26,5
<i>R12</i>	CF_2Cl_2	–29,8
<i>R22</i>	CHF_2Cl	–40,8
<i>R406A</i> *	Смесь фреонов для замены <i>R12</i>	–32,4
<i>R407c</i> *	Смесь фреонов для замены <i>R22</i>	–43,4
<i>R502</i>	Смесь <i>R22</i> + <i>R115</i>	–45,6
<i>R404a</i> *	Смесь фреонов для замены <i>R502</i>	–46,3
<i>R507</i> *	Смесь фреонов для замены <i>R502</i>	–46,7
<i>R410A</i> *	Смесь фреонов для замены <i>R22</i>	–51,6
<i>R13B1</i>	CF_3Br	–57,8
<i>R13</i>	CF_3Cl	–81,5
<i>R23</i> *	Смесь фреонов для замены <i>R13</i>	–82,1
2. Другие:		
Диоксид углерода <i>R744</i>	CO_2	–78,9
Воздушная смесь <i>R729</i>	N_2O_2	–196,0
Аммиак (<i>R717</i>)	NH_3	–33,4
Вода (<i>R718</i>)	H_2O	+100,0

Примечание. * Фреоны, имеющие нулевой потенциал разрушения озонового слоя.

По сравнению с фреоном *R502* *R404a* обеспечивает повышение холодопроизводительности на 4–5 %, повышая при этом энергосбережение до 2 % и снижая на 8 % температуру нагнетания компрессора (последний критерий связан с удлинением срока эксплуатации компрессора). Общее эквивалентное воздействие такой холодильной системы на потепление (прямой и косвенный вклад в парниковый эффект) ниже, чем у *R502*.

Следует учитывать, что к недостаткам аммиака относится его ядовитость, горючесть, а также взрывоопасность при концентрации в воздухе 16–26,8 %; хладоны имеют высокую текучесть, вследствие чего они проникают через неплотности соединений, поэтому особое внимание следует уделять герметичности соединений трубопроводов. Кроме того в последнее время применение фреоновых хладонов ограничивается в связи с их вредным влиянием на озоновый слой атмосферы.

3.108. Принципиальная схема компрессионной холодильной машины с воздушным охлаждением конденсатора.

Парокомпрессионные холодильные машины получили широкое распространение в сельскохозяйственном производстве. В них для повышения давления холодильного агента используется компрессор.

В состав таких машин входят также: конденсатор, испаритель и терморегулирующий (редукционный) вентиль, предназначенный для снижения давления и температуры холодильного агента. Все элементы соединены между собой в замкнутую герметическую систему.

Принципиальная схема такой машины представлена на рис. 3.34. На схеме представлены типовые температурные характеристики хладагента в характерных точках при использовании хладагента *R12*.

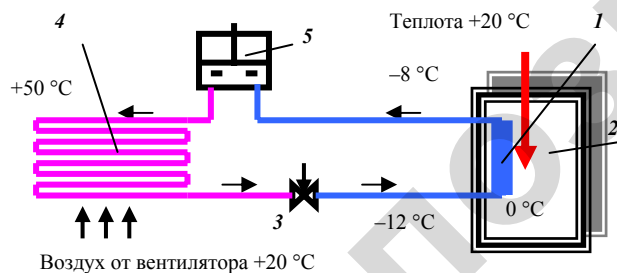


Рис. 3.34. Принципиальная схема компрессионной холодильной машины:
1 – испаритель; 2 – холодильная камера; 3 – редукционный вентиль;
4 – конденсатор; 5 – компрессор

3.109. Что такое испаритель и его основное назначение?

Испаритель (рис. 3.35) – теплообменный аппарат для испарения жидкостей; это аппарат, в котором жидкий хладагент кипит при низком давлении, отводя теплоту от охлаждаемого объекта. Испаритель может быть расположен непосредственно в охлаждаемой камере или же может охлаждать промежуточный хладоноситель (например, раствор *NaCl*), который затем насосом подается в батареи, расположенные в охлаждаемых объектах. Такое охлаждение называют рассольным, а холодильную машину со всеми вспомогательными устройствами – холодильной установкой. В этом случае исключается опасность утечки холодильного агента в охлаждаемых камерах. Восприняв теплоту от продуктов, рассол из холодильных камер возвращается в испаритель, где вновь охлаждается.



Рис. 3.35. Испаритель открытого типа

3.110. Какие существуют виды испарителей для холодильной техники?

В теплоэнергетике существуют испарители различных видов, и предназначены они для разнообразных технологических процессов. Например, испаритель предназначен для выработки дистиллята, восполняющего потери конденсата в паросиловых установках. Обычно вертикальный трубчатый испаритель обогревается отработавшим в турбине паром, проходящим в межтрубном пространстве. Испаряемая предварительно умягченная вода проходит внутри труб. Существуют также испарители, обогреваемые дымовыми газами, уходящими из котельных агрегатов. Получаемый в таких испарителях пар может быть использован как для восполнения потерь конденсата, так и для теплоснабжения. Испарители большой производительности находят

применение на расположенных у морей и океанов атомных электростанциях для опреснения морской воды. Испарители, называемые иногда опреснителями, устанавливают на морских судах. Они являются основными элементами холодильных установок, в которых испаряется холодильный агент, предназначенный для непосредственного (или посредством рассола) охлаждения холодильных камер. Испарителями являются также выпарные аппараты, аппараты для повышения концентрации различных растворов и др.

В холодильной технике используются следующие основные виды испарителей.

Открытый испаритель – испаритель, поверхности которого ничем не закрыты и могут быть использованы для размещения продуктов. При неосторожном обращении такой испаритель легко повредить. Самая мелкая трещина и даже точечная раковинка на испарителе приводят к отказу в работе холодильного агрегата.

«Запененный» испаритель или «встроенный», «залитый» – испаритель, размещенный внутри вспененной теплоизоляции и защищенный от случайных повреждений стенкой внутренней камеры. При «запененном» испарителе охлаждающей поверхностью является задняя стенка камеры. Отсутствие выступающих частей на задней стенке камеры облегчает гигиеническую уборку холодильника.

Скрытый испаритель – испаритель, скрытый от глаз, размещенный за перегородкой или стенкой камеры.

Испаритель с принудительным охлаждением – испаритель, обдуваемый вентилятором. Такие испарители, как правило, изготавливают в виде радиаторов с развитой поверхностью охлаждения и устанавливают вне камеры холодильника или морозильника с необмерзающими стенками (скрытый испаритель).

Испаритель самооттаивающий или «плачущий» – испаритель, оттаивающий во время стоянки компрессора под действием тепла, выделяемого продуктами. Если испаритель расположен за стенкой камеры, то эта стенка является охлаждающей.

3.111. Какие задачи в холодильной машине решает конденсатор?

В конденсаторе происходит конденсация холодильного агента. Конденсатор обеспечивает отвод теплоты от агента в окружающую среду. Пар в конденсаторе может охлаждаться воздухом (конденсаторы с воздушным охлаждением) или водой (конденсаторы водяного

охлаждения). Воздушный конденсатор является одним из самых важных элементов холодильной установки. Хладагент после компрессора нагнетается в воздушный конденсатор, где происходит его конденсация. Воздушный конденсатор может находиться как в помещении, так и на открытой местности. В конденсаторах используются осевые вентиляторы с внешним ротором, вращающаяся часть корпуса двигателя и лопасти вентилятора имеют аэродинамическую форму и обеспечивают бесшумность работы и высокий КПД. Выносные конденсаторы поставляются с комплектом опорных кронштейнов для монтажа с горизонтальным (вертикальным) потоком воздуха (рис. 3.36).

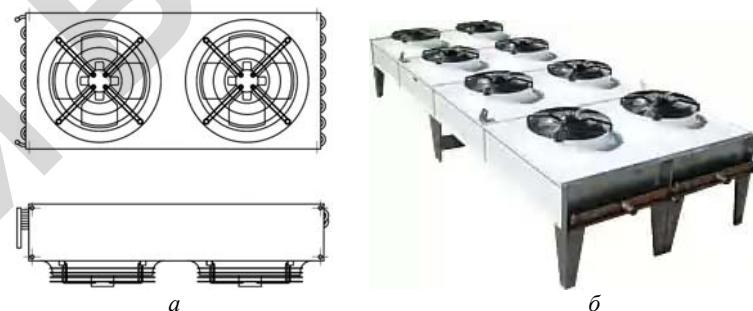


Рис. 3.36. Общий вид выносных воздушных конденсаторов: а – настенного типа; б – для установки на поверхности (крыша, пол)

В крупных холодильных машинах обычно применяют конденсаторы с водяным охлаждением.

3.112. Какие компрессоры применяются в холодильной технике?

Холодильный компрессор – это важнейшая часть холодильного промышленного агрегата, которая обеспечивает циркуляцию хладагента в системе. От качества и эффективности холодильного компрессора, зависят эксплуатационные качества холодильного агрегата.

Современные компрессоры, как составные части холодильных агрегатов, широко применяются в пищевой, химической, нефтеперерабатывающей и многих других отраслях промышленности. Также холодильные компрессоры незаменимы в торговле, где необходимо обеспечивать хранение пищевой продукции, прежде всего мяса и молочных изделий. Компрессоры различаются по конструкции (поршневые, спиральные, винтовые), производителю, характеристикам и стоимости.

Поршневой компрессор – компрессор объемного действия, рабочие органы которого выполнены в виде поршней, перемещающихся прямолинейно и возвратно-поступательно в цилиндрах (рис. 3.37) (терминология *Sesotaf*).

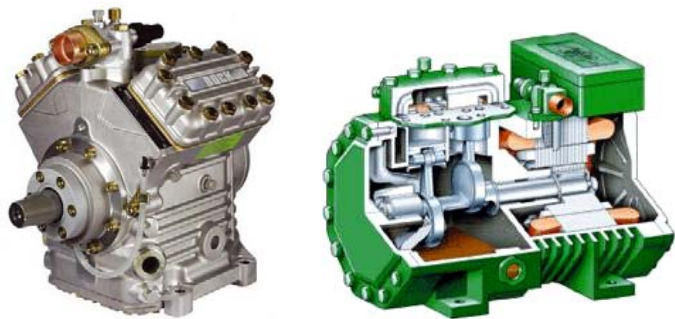


Рис. 3.37. Холодильный поршневой компрессор

Поршневой компрессор – это самый распространенный тип компрессора, который применяется во всех областях холодильной техники. Он работает на хладагентах, требующих относительно небольшого объема цилиндров и конденсирующихся при относительно высоком давлении. Поршневые компрессоры чаще всего работают на хладагентах *R12*, *R22*, *R500*, *R502* и *R717* (аммиак), а также на их заменах, безопасных для окружающей среды.

Вследствие ограниченного диаметра отверстия в клапане поршневые компрессоры не могут работать экономично с хладагентами низкого давления, для которых нужна большая объемная производительность на единицу холодопроизводительности. Компрессоры этого типа работают оптимально в системах, в которых давление в испарителе выше атмосферного, однако они успешно применяются и в низкотемпературных установках. Поршневые компрессоры выпускаются с диапазоном потребляемой мощности от 90 Вт (в небольших бытовых агрегатах) до 1000 кВт и более в больших промышленных установках. Широкое распространение поршневых компрессоров в холодильной технике обусловлено экономичностью их изготовления, длительным сроком службы и высоким КПД в широком диапазоне рабочих условий.

Спиральный компрессор (компрессор *scroll*-типа, рис. 3.38) состоит из двух стальных спиралей, расширяющихся от центра к краю цилиндра и вставленных одна в другую. Одна из спиралей закреплена

неподвижно, вокруг нее вращается спираль подвижная. В технологическом плане эти компрессоры более сложные, поскольку необходимо обеспечить герметичность по торцам спиралей и очень точное прилегание профилей спиралей. Этот тип компрессора принадлежит к «последнему поколению» компрессоров. Применяются они, в основном, в бытовых сплит-системах инвертерного типа (создание этого компрессора и позволило перейти к инвертерным технологиям). Кстати, именно эта технологическая особенность позволила активно использовать данный тип компрессора в установках агропромышленного диапазона (например, в чиллерах).



Рис. 3.38. Спиральный компрессор (общий вид)

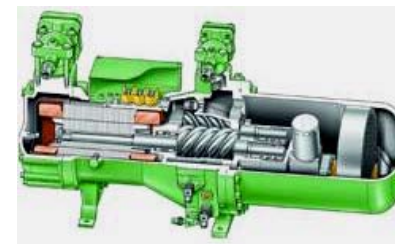


Рис. 3.39. Винтовой компрессор

Винтовой компрессор – это компрессор с внутренней конструктивной степенью сжатия (рис. 3.39). В нем сжатие пара хладагента осуществляется при зацеплении двух роторов в цилиндре, имеющем всасывающее и нагнетательное окна. Ведущий ротор является обычно приводным, по длине которого имеются выступы (обычно четыре). Они входят в зацепление с соответствующими впадинами (обычно их шесть) на ведомом роторе. При повороте роторов пар

хладагента поступает через всасывающее окно и заполняет полость между выступом на ведущем роторе и впадиной на ведомом роторе. При дальнейшем вращении роторов пар запирается в полости между выступом и впадиной. Пар в этой полости движется в осевом и радиальном направлениях и сжимается за счет уменьшения замкнутого объема полости. Сжатие пара продолжается до тех пор, пока полость между выступом и впадиной не достигнет нагнетательного окна в цилиндре. Внутреннее охлаждение маслом поддерживает температуру нагнетания ниже $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ независимо от степени сжатия. Поэтому винтовые компрессоры могут работать при степенях сжатия 25, в результате чего в низкотемпературных установках, в которых раньше применялось многоступенчатое сжатие, становится практичным использование одноступенчатого сжатия. Крайне необходимо применять в агрегате эффективный маслоотделитель, так как относительно большое количество масла, впрыскиваемого в компрессор, уносится из него в потоке нагнетаемого пара.

3.113. Какие основные задачи в холодильной машине решают компрессоры?

С помощью компрессора решают две задачи: первая задача (главная) – отводить пар из испарителя, чтобы поддерживать в нем низкое давление, соответствующее низкой температуре кипения; вторая задача – сжимать пар до такого высокого давления, при котором его можно превратить в жидкость путем охлаждения окружающей средой (при температуре $20\text{--}30\text{ }^{\circ}\text{C}$).

3.114. В чем назначение терморегулирующего вентиля?

Терморегулирующий вентиль (или дроссельное устройство с постоянным сечением) обеспечивает необходимое сопротивление между сторонами высокого и низкого давления. Благодаря этому сопротивлению пар, поступающий в конденсатор, не успевает выходить в испаритель. Жидкий хладагент высокого давления, преодолевая сопротивление вентиля, дросселируется (эффект Джоуля – Томпсона), т. е. давление его падает до давления в испарителе. Это еще один из основных процессов в парокомпрессионных холодильных машинах, заключающийся в падении давления и снижении температуры хладагента при его протекании через суженное сечение под воздействием разности давлений без совершения внешней

работы и теплообмена с окружающей средой. В узком сечении скорость потока возрастает, кинетическая энергия расходуется на внутреннее трение между молекулами. Попадая в область низкого давления, жидкость частично выкипает ($10\text{--}20\%$), отбирая теплоту от остальной части жидкости, температура которой поэтому резко снижается. Холодная парожидкостная смесь поступает в испаритель, где продолжает кипеть, отводя теплоту уже от охлаждаемого объекта.

3.115. Принципиальная схема компрессионной холодильной машины с водяным охлаждением конденсатора.

На рис. 3.40 представлена принципиальная схема компрессионной холодильной машины с водяным охлаждением конденсатора. Образовавшийся пар отсасывается компрессором, сжимается в нем до давления конденсации и подается в конденсатор, где охлаждается водой.

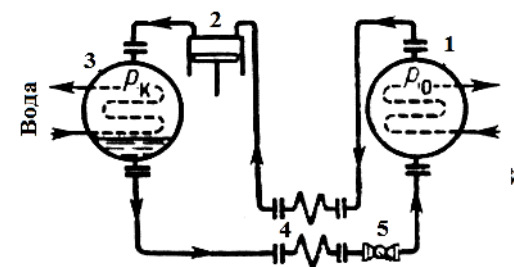


Рис. 3.40. Схема парокомпрессионной холодильной машины:
1 – испаритель; 2 – компрессор; 3 – конденсатор;
4 – теплообменник; 5 – терморегулирующий вентиль

3.116. Принципиальная схема абсорбционной холодильной машины.

В абсорбционной холодильной машине для отвода пара из испарителя служит абсорбер – сосуд, заполненный водой. Принципиальная схема такой машины представлена на рис. 3.41.

Пары аммиака (хладагент $R717$) из испарителя попадают в абсорбер. Вода, через которую пробулькивают пары аммиака, растворяет их (абсорбирует, т. е. впитывает). Некоторое снижение давления в абсорбере способствует поступлению новых паров из испарителя в абсорбер. При растворении аммиака в воде выделяется теплота, которая

ухудшает дальнейшее растворение аммиака, поэтому абсорбер обычно охлаждают водой. Насыщенная аммиаком вода подается насосом в генератор, где крепкий раствор нагревается проходящими по змеевику горячими парами (или электронагревателем). Пары аммиака, образующиеся при нагревании крепкого раствора, из генератора поступают в конденсатор, где охлаждаются водой и конденсируются. Оставшийся в генераторе после выкипания аммиака слабый водоаммиачный раствор через вентиль возвращается в абсорбер и впитывает новые порции паров аммиака, поступающего из испарителя.

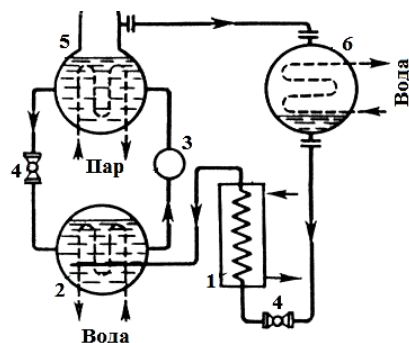


Рис. 3.41. Схема абсорбционной холодильной машины: 1 – испаритель; 2 – абсорбер; 3 – насос; 4 – терморегулирующий вентиль; 5 – генератор (кипятильник); 6 – конденсатор

Жидкий аммиак высокого давления дросселируется в терморегулирующем вентиле и поступает в испаритель, где кипит при низком давлении, отбирая теплоту от охлаждаемого рассола. Таким образом, в отличие от компрессионной машины в абсорбционной вместо компрессора используются два аппарата (абсорбер и генератор), а также насос для подачи жидкости, мощность которого в 10 раз меньше, чем у компрессора.

3.117. Какие существуют виды абсорбционных холодильных машин?

Абсорбционные холодильные машины (АБХМ) бывают прямого и непрямого нагрева, одноступенчатые, двухступенчатые и трехступенчатые. В машинах прямого нагрева источником тепла может быть газ или другое топливо, сжигаемое непосредственно в установке.

В машинах непрямого нагрева используется пар или другой теплоноситель, посредством которого теплота переносится от источника. В качестве источника может выступать бойлер, или, например, использоваться тепловая энергия, являющаяся побочным продуктом технологического процесса. Кроме того, существуют комбинированные (гибридные) системы, в состав которых входят АБХМ и когенераторные установки на природном газе, обеспечивающие выработку тепловой и электрической энергии; использование гибридных установок позволяет оптимизировать нагрузку на систему энергоснабжения и обеспечить экономию энергетических ресурсов.

Существуют бромистолитиевые или аммиачные АБХМ. В бромистолитиевых машинах в качестве хладагента используется вода, а в качестве абсорбента – бромид лития $LiBr$. В аммиачных – в качестве хладагента используется аммиак NH_3 , а в качестве абсорбента – вода. В настоящее время наибольшее распространение получили бромистолитиевые АБХМ.

3.118. Принципиальная схема парозежекторной холодильной машины.

Парозежекторная холодильная машина (рис. 3.42) состоит из эжектора, испарителя, конденсатора, насоса и терморегулирующего вентиле.

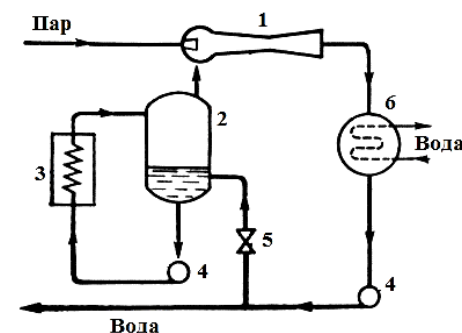


Рис. 3.42. Схема парозежекторной холодильной машины: 1 – эжектор; 2 – испаритель; 3 – потребитель холода; 4 – насос; 5 – терморегулирующий вентиль; 6 – конденсатор

Хладагентом служит вода, в качестве источника энергии используется пар давлением $3-10 \text{ кгс/см}^2$, который поступает в сопло

эжектора, где расширяется. В результате в эжекторе и, как следствие, в испарителе машины создается пониженное давление, которому соответствует температура кипения воды несколько выше $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (обычно порядка $5\text{ }^{\circ}\text{C}$). В испарителе за счет частичного испарения происходит охлаждение подаваемой потребителю холода воды. Отсосанный из испарителя пар, а также рабочий пар эжектора поступает в конденсатор, где переходит в жидкое состояние, отдавая теплоту охлаждающей среде. Часть воды из конденсатора подается в испаритель для пополнения убыли охлаждаемой воды.

3.119. Как определить сравнительную эффективность холодильных машин?

Для сравнения эффективности различных холодильных машин используют действительный холодильный коэффициент, который можно определить по формуле:

$$\varepsilon_d = \frac{Q_0}{N_d},$$

где Q_0 – холодопроизводительность машины, кВт;
 N_d – действительная мощность компрессора, кВт.

У компрессионных холодильных машин $\varepsilon_d = 3$, что в 2–3 раза больше, чем у машин других типов. Поэтому компрессионные холодильные машины составляют 75 % общего парка холодильных машин в АПК.

3.120. В чем отличительные особенности тепловых схем компрессорных холодильных машин с различными хладагентами?

В данном вопросе подразумевается отличие хладоновых (фреоновых) холодильных машин от аммиачных.

Хладоновая холодильная машина малой мощности (рис. 3.43) включает ресивер, фильтр-осушитель и теплообменник-переохладитель.

В схеме аммиачной холодильной машины (рис. 3.44) предусмотрены маслоотделитель и фильтр. Необходимость в маслоотделителе объясняется тем, что аммиак не растворяет смазочное масло, уносимое

из компрессора. При отсутствии маслоотделителя наблюдается выпадение капель масла на теплообменных поверхностях, что приводит к ухудшению технико-экономических показателей холодильной машины. Растворение воды в аммиаке исключает необходимость осушки холодильного агента, достаточно только отфильтровать его от механических загрязнений.

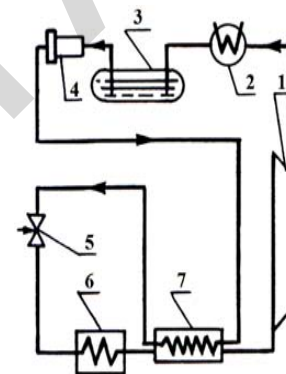


Рис. 3.43. Схема хладоновой холодильной машины:
 1 – компрессор; 2 – конденсатор; 3 – ресивер; 4 – фильтр-осушитель;
 5 – терморегулирующий вентиль; 6 – испаритель;
 7 – теплообменник-переохладитель

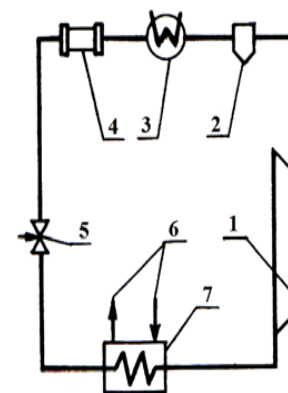


Рис. 3.44. Схема аммиачной холодильной машины:
 1 – компрессор; 2 – маслоотделитель; 3 – конденсатор; 4 – фильтр;
 5 – терморегулирующий вентиль; 6 – трубопроводы хладоносителя;
 7 – испаритель

3.121. Назначение ресивера в холодильной машине.

Ресивер предназначен для создания запаса жидкого холодильного агента с целью снижения пульсаций давления в нагнетательном трубопроводе.

3.122. Основные функции фильтра-осушителя.

Фильтр-осушитель устанавливается с целью сушки холодильного агента и его очистки от механических загрязнений. В качестве фильтрующих материалов используются стальные и медные сетки, а также асбест, фетр и замша. В осушителях применяются сорбенты – силикагель или синтетический цеолит.

3.123. Назначение теплообменника-переохладителя.

В теплообменнике-переохладителе происходит переохлаждение конденсата перед терморегулирующим вентилем и перегрев паров холодильного агента перед компрессором. Это способствует улучшению экономичности работы компрессора и всей холодильной машины в целом.

3.124. Какие холодильные машины и установки применяются для охлаждения при сооружении зерно- и фруктохранилищ?

В сельском хозяйстве используется холодильное оборудование специализированного (целевого) назначения, в состав которого входят холодильные машины малой и средней мощности: ХМВ1-30 для охлаждения свежесобранного зерна, ХМФ-16 (ФХ-100) и ХМФ-32 во фруктоовощехранилищах, а также холодильные установки для охлаждения молока.

3.125. Какие холодильные машины и установки применяются для охлаждения при сооружении молочно-товарных ферм и комплексов?

Животноводческие фермы оснащаются специальными фреоновыми холодильными установками типа МХУ-8С, имеющими холодопроизводительность 9,3 кВт и предназначенными для получения

«ледяной» воды (2–2,5 °С), используемой в качестве хладоносителя при охлаждении молока до 4 °С.

Крупные молочные фермы, поставляющие молоко непосредственно в торговую сеть, оснащаются стационарными автоматизированными охладительно-пастеризационными установками ОПУ-3М (производительность 3000 л/ч). В них осуществляется центробежная очистка, быстрая тонкослойная пастеризация и охлаждение молока в закрытом непрерывном потоке при полной автоматизации процесса. Применяют также охладитель-пастеризатор ОПФ-1 (производительность 1000 л/ч), который выпускается двух модификаций: ОПФ-1-20 для пастеризации молока при температуре 74–78 °С с выдержкой 20 с и ОПФ-1-300 для пастеризации молока при температуре 90–94 °С с выдержкой 300 с.

Установки для охлаждения молока УЗМ-3–УЗМ-10 предназначены для охлаждения молока от 35 до 4 °С и его временного хранения на МТФ при температуре не выше плюс 5 °С до перевозки на дальнейшую переработку. Комплекуются рекуператором тепла и автоматической системой промывки.

Область применения – молочно-товарные фермы и комплексы с суточным производством молока до 3000, 5000 или 8000 л при двух- или трехразовом доении. Установка УЗМ-10 (рис. 3.45) рассчитана на прием молока четырех удоев.



Рис. 3.45. Установки для охлаждения молока УЗМ-10

Особенности конструкции охладителей молока: непосредственное охлаждение, испаритель выполнен с применением лазерной сварки; закрытый изотермический танк, выполненный из пищевой стали соответствует требованиям отечественных и международных стандартов (табл. 3.7).

Рекуперация тепла – подогрев 500 л воды до 55 °С за 1 цикл охлаждения. Удельное энергопотребление – 17–19 кВт·ч на т охлаждаемого молока, соответствует лучшим зарубежным аналогам.

Таблица 3.7

Технические характеристики

Характеристики	УЗМ-3	УЗМ-5	УЗМ-8	УЗМ-10
Номинальная вместимость, л	3000	5000	8000	10000
Количество молока, охлажденного за один цикл, л	1500	2500	4000	2500
Продолжительность цикла охлаждения от 35 до 4 °С, ч	3	3	3	3
Количество нагреваемой воды, л	400	400	400	400
Установленная мощность, кВт	16	23	27	28
Холодильный агент	R404A	R404A	R404A	R404A
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/м ³	18	18	18	20

3.126. Какие холодильные машины и установки применяются для охлаждения при сооружении хранилищ малой вместимости?

Для охлаждения помещений при сооружении хранилищ малой вместимости в основном используются холодильные агрегаты компрессорной серии зарубежных компаний и фирм, работающих на рынке Республики Беларусь. Наиболее популярной является компания *Bitzer*, которая производит широкий ряд холодильных агрегатов, отличающегося высоким качеством изготовления, надежностью и экономичностью. Компания выпускает компрессорно-конденсаторные агрегаты с конденсаторами воздушного и водяного охлаждения на базе всех моделей поршневых компрессоров *Bitzer*, компрессорно-ресиверные агрегаты на базе полугерметичных поршневых компрессоров (АР, АК, АМ, АКМ) и компрессорные агрегаты на базе открытых (сальниковых) поршневых компрессоров.

Компрессорно-конденсаторные холодильные агрегаты серии АР (рис. 3.46, а), серии АК (рис. 3.46, б) и серии АМ воздушного охлаждения на базе одноступенчатых полугерметичных поршневых компрессоров, применяются в составе холодильных систем для технологических процессов и кондиционирования на промышленных предприятиях, оснащения складов хранения и морозильных камер, изготовления продуктов питания и в торговых организациях. Диапазон холодопроизводительности агрегатов серии АР от 2 до 126 кВт, серии АК – от 1,17 до 46 кВт и серии АМ – от 0,37 до 74 кВт. Хладагент: R404A, R407C, R507C.

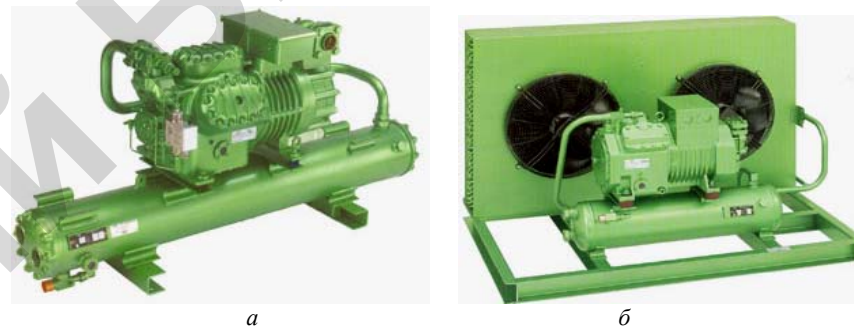


Рис. 3.46. Холодильные агрегаты серии АР (а) и серии АК (б)

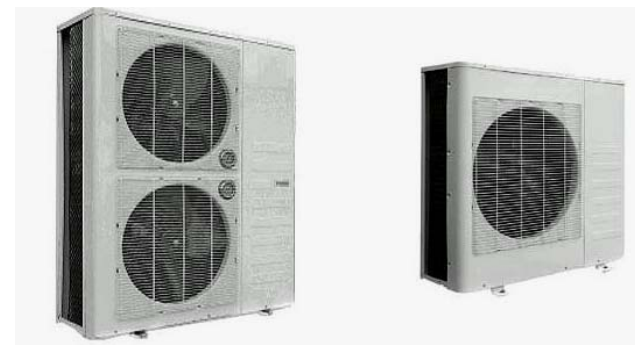


Рис. 3.47. Агрегаты компрессорно-конденсаторные малошумящие серии АКМ

Агрегаты компрессорно-конденсаторные малошумящие серии АКМ (на базе спиральных компрессоров *Copeland*, рис. 3.47) предназначены для создания искусственного холода в торговом холодильном

оборудовании (витрины, шкафы, холодильные камеры) в качестве выносных холодильных агрегатов, для работы в составе систем кондиционирования воздуха различного назначения, для технологических целей (например, для систем охлаждения жидкости). Агрегат – малoshумящий, может устанавливаться на жилых зданиях в жилых кварталах. Характеристики некоторых из них приведены в табл. 3.8. Хладагент: R22, R404A, R407C, R507. Диапазон холодопроизводительности агрегатов: от 1,8 до 17,7 кВт.

Преимущества использования холодильного агрегата АКМ: упрощен монтаж, т. к. агрегат поставляется в собранном виде; не требует специальных камер и машинных отделений, может монтироваться на фасадах и кровле зданий; внешне агрегат не нарушает эстетичный вид места, где установлен; имеет большой диапазон температур; прост в эксплуатации.

Таблица 3.8

Технические характеристики среднетемпературных агрегатов АКМ (холодопроизводительность указана при температуре $T_0 = +5\text{ }^\circ\text{C}$)

Название агрегата	Холодопроизводительность, кВт	Удельная холодопроизводительность, кВт/кВт	Потребляемая мощность, кВт
АКМ-038А-(У)-(М)-(R)	7,3	3,16	2,3
АКМ-048Б-(У)-(М)-(R)	8,7	3,19	2,7
АКМ-065Б-(У)-(М)-(R)	10,7	3,28	3,2
АКМ-081Б-(У)-(М)-(R)	13,8	3,41	4,0
АКМ-102Б-(У)-(М)-(R)	15,6	3,34	4,7
АКМ-126Б-(У)-(М)-(R)	17,7	3,34	5,3

3.127. Назначение резервуаров-охладителей.

Для сбора и охлаждения, кратковременного хранения (до 12 часов) молока на фермах служат танки-охладители различных типов, включая резервуары-охладители зарубежных фирм. Характеристики некоторых из них приведены в табл. 3.9 и 3.10.

Резервуар-охладитель молока на базе компрессорного конденсаторного холодильного агрегата АК-2СС4-Н предназначен для сбора, охлаждения и хранения суточного удоя молока на молочно-товарной ферме имеет рабочий объем 2000 л и мощность привода мешалки 0,37 кВт (мощность насоса составляет 1,5 кВт). Холодопроизводительность резервуара-охладителя молока имеет значение 10,7 кВт (рис. 3.48).

Таблица 3.9

Технические характеристики отечественных резервуаров-охладителей

Показатели	ТОВ-1	РПО-1,6	ТОМ-2А	ТО-2	РПО-2,5	РНО-1,6	РНО-2,5
Вместимость, л	1000	1600	1800	2000	2500	1600	2500
Холодопроизводительность, кВт	7	7	9,9	7	2,7	11,6	16,2
Установленная мощность электродвигателей, кВт	10,9	6,35	7,5	10,9	11,45	7,37	9,37
Масса, кг	1200	1040	1490	1440	1915	1100	1250

Таблица 3.10

Технические характеристики зарубежных резервуаров-охладителей

Показатели	Wedholms (Швеция)			Impulsa (Германия)			Дания	
	В041	В042	В043	МК-10	МК-20	МК-25	РК-С	РК-GD
Вместимость, л	1250	1800	2500	1000	2000	2500	1000	200–3000
Вместимость бака-аккумулятора, л	650	900	1300	–	–	–	–	–
Холодопроизводительность, кВт	–	–	–	5,1	5,9	5,9	Данных нет	
Установленная мощность электродвигателей, кВт	2,6	3,0	3,7	3,0	3,0	4,0	Данных нет	
Масса, кг	800	950	1160	472	662	897	Данных нет	



Рис. 3.48. Резервуар-охладитель молока

Емкости для приемки и резервирования молока *Nautilus* (рис. 3.49) предназначены для хранения охлажденного молока на предприятиях молочной промышленности.



Рис. 3.49. Емкости *Nautilus* для приемки и резервирования молока

Емкость состоит из нержавеющей корпуса, защищенного термоизоляцией (пространство между ними заполнено изоляционным материалом). Для отвода и подвода воздуха при заполнении резервуара молоком предусмотрен воздушный клапан с фильтром. В резервуар на танках *DF95* (4000–8000 л) поступает охлажденное молоко через патрубков, расположенный внизу, что исключает пенообразование. Осуществляется контроль температур через окно показателей уровня при заполнении и освобождении резервуара.

Преимущества охлаждающей емкости – это система контроля над охлаждением, очисткой и всеми другими операциями с молочной емкостью *Win Master*. Система охлаждения разработана таким образом, что после заливания первой порции молока в емкость лед не образуется. К стандартной опции относится автоматический запуск танка после опустошения и очистки танка.

В стандартном исполнении контур охлаждения танков *Nautilus* рассчитан на использование хладагента *R-134a*. Это экономит электроэнергию и значительно продлевает срок службы охлаждающей системы. При использовании данного хладагента весь блок охлаждения работает под меньшим давлением. Это, в свою очередь, позволяет сэкономить энергию и продлить срок службы блока охлаждения.

Танки-охладители молока (ванны-охладители молока, рис. 3.50), молочные цистерны для хранения молока от 500 до 6000 л (рис. 3.51),

выпускают известные производители, в частности, *Alfa Laval*, *Prominox*, *Japy*, *West-falia*, *Fabdec*, *Serap*, *Müller*, *Packo*, *Landteknikk* и *Etscheid*.



Рис. 3.50. Ванна-охладитель молока *Nautilus*



а



б

Рис. 3.51. Ванны-охладители молока *Alfa Laval SCO* закрытого (а) и открытого типа (б), объемом 1500 и 1250 л соответственно

Ванны-охладители молока включают мешалку и холодильный агрегат. Способ охлаждения молока – непосредственный (прямой контакт молока со стенкой испарителя, расположенного на дне резервуара). Резервуары-охладители предназначены для сбора, охлаждения молока от 35 °С до 4 °С после двух циклов дойки. Хранение молока осуществляется при температуре 4–6 °С до следующей переработки. Резервуары-охладители предназначены для использования на животноводческих фермах, пунктах приемки и первичной переработки

молока, молочных заводах малой мощности и др. В них можно охлаждать и хранить пищевые продукты плотностью не более 1100 кг/м³.

Холодильные агрегаты, устанавливаемые на резервуарах-охладителях молока, работают на хладагенте R22. Время охлаждения молока в течение первого цикла до 4 °С составляет 3 ч.

Резервуар-охладитель с холодильным агрегатом фирмы Danfoss (рис. 3.52, табл. 3.11) использует мотор-редуктор мешалки производства (Франция, Италия) и насос промывки SIREM (Франция), который имеет меньшие габариты, низкое расположение рабочей камеры, позволяющее уменьшить количество воды и моющих растворов на один цикл, больший напор.



Рис. 3.52. Резервуар-охладитель ОМЗ с холодильным агрегатом фирмы Danfoss

Таблица 3.11

Технические характеристики резервуаров-охладителей молока серии ОМЗ

Марка резервуара	ОМЗ-2000 ОМЗ-2500	ОМЗ-3000 ОМЗ-3500	ОМЗ-4000	ОМЗ-5000
Вместимость	2000 (2500)	3000 (3500)	4000	5000
Установленная мощность, кВт	7,15	7,65	10,65	13,15
Температура хранения молока, °С	4–6	4–6	4–6	4–6
Размеры резервуара, мм	2770×1440× ×1900	3460×1440× ×1900	3980×1440× ×1900	4770×1440× ×1900
Масса, кг	570	730	860	1000

3.128. Что такое тепловой насос?

Тепловой насос представляет собой холодильную установку, которую используют для подвода теплоты к нагреваемому телу (объекту), т. е. для теплоснабжения. Назначение теплового насоса – не охлаждение объекта, а нагрев теплоприемника. Тепловые насосы находят применение не только для теплоснабжения зданий, но также для кондиционирования воздуха, в технологических процессах и т. п.

В тепловых насосах (рис. 3.53–3.55) могут быть использованы различные холодильные установки, в том числе компрессионные и абсорбционные. В испарителе холодильной машины происходит кипение холодильного агента вследствие подвода теплоты из окружающей среды (из водоема). Охлажденная в испарителе вода возвращается в водоем. В компрессоре рабочее тело сжимается, и пары хладагента поступают в конденсатор, где они конденсируются, отдавая воде, циркулирующей в системе отопления помещения, теплоту.

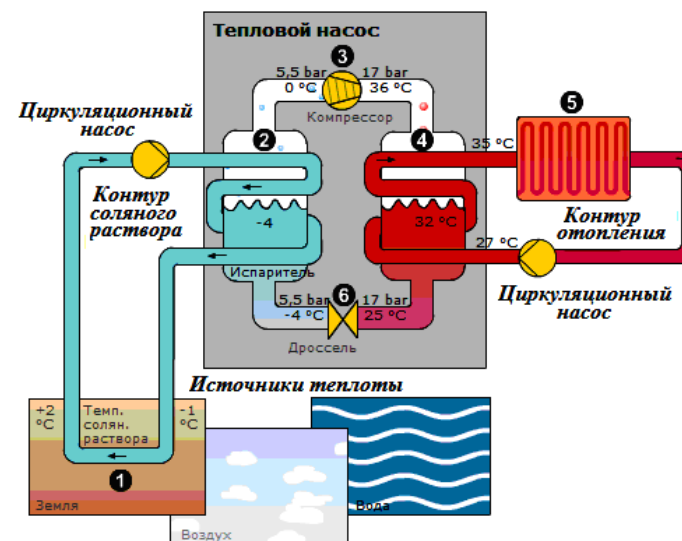


Рис. 3.53. Схема типового теплового насоса для отопления здания:

1 – источник теплоты (земля, воздух, вода);

2 – испаритель; 3 – компрессор; 4 – конденсатор;

5 – обогреваемый пол (отопительный прибор); 6 – дроссель

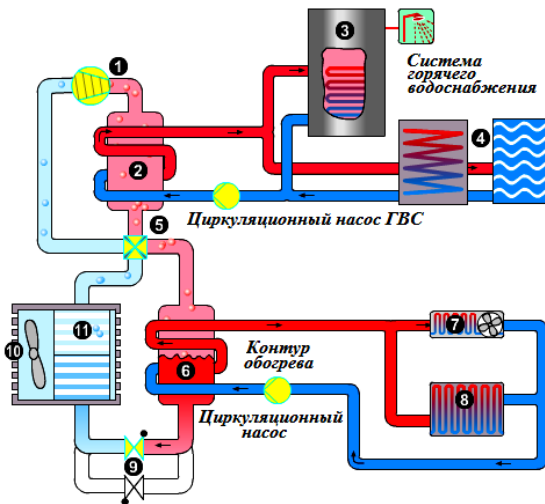


Рис. 3.54. Схема обратимого теплового насоса:

1 – компрессор; 2 – теплообменник; 3 – накопительный бак; 4 – потребители теплоты; 5 – четырехходовой клапан; 6 – конденсатор; 7 – фанкойл; 8 – панель отопления; 9 – дроссель; 10 – вентилятор подачи наружного воздуха; 11 – испаритель

3.129. Чем определяется эффективность теплового насоса?

Основным показателем эффективности действия теплового насоса является отопительный коэффициент, равный отношению количества теплоты, сообщаемой теплоприемнику (q_1), к величине затраченной работы ($l_{ц}$):

$$\omega = \frac{q_1}{l_{ц}}$$

$$\text{т. к. } q_1 = q_2 + l_{ц},$$

$$\text{то } \omega = 1 + \varepsilon,$$

где ε – холодильный коэффициент.

Исходя из этого, можно сделать вывод, что чем больше значение ε , тем больше эффективность использования теплового насоса.

3.130. Какие требования при использовании теплового насоса предъявляются к источнику энергии?

Источником энергии может быть грунт, скальная порода, озеро, воздух (для специальных моделей), вообще любой источник теплоты с температурой не менее 1°C (в зимнее время). Это может быть река, море, сточные воды, выход теплого воздуха из системы вентиляции или система охлаждения какого-либо промышленного оборудования. Внешний контур, собирающий теплоту окружающей среды, представляет собой полиэтиленовый трубопровод, уложенный в землю или в воду. Материал трубопровода – ПНД (полиэтилен низкого давления). Диаметр трубопровода – 40 мм. Теплоноситель – 30 % раствор этиленгликоля (либо этилового спирта).

Поэтому источником энергии для работы теплового насоса являются: скважина и коллектор (контур).

Скважина. При использовании в качестве источника теплоты скальной породы трубопровод опускается в скважину. Можно пробурить несколько неглубоких скважин – это, возможно, обойдется дешевле, чем одна глубокая. Главное – получить общую расчетную глубину. В маленькую, диаметром 10–15 см, буровую скважину устанавливают U-трубопровод. Для предварительных расчетов используется

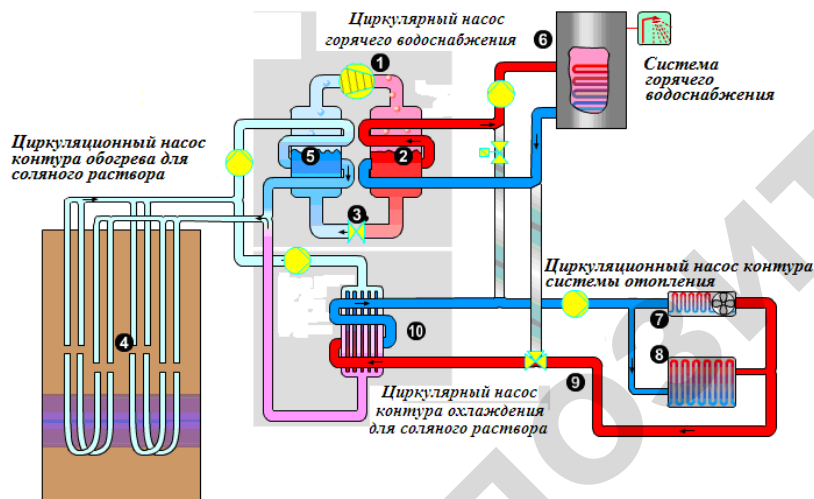


Рис. 3.55. Схема теплового насоса с пассивным охлаждением:

1 – компрессор; 2 – конденсатор; 3 – дроссель; 4 – скважины; 5 – испаритель; 6 – накопительный бак; 7 – фанкойл; 8 – панель отопления; 9 – переключающий клапан; 10 – теплообменник контура охлаждения для солевого раствора

соотношение – 50–60 Вт тепловой энергии на 1 п. м. скважины. Для установки теплового насоса производительностью 10 кВт необходима скважина глубиной 167 м или 3 скважины по 50 м.

Земляной контур. Тепловые насосы могут использовать в качестве источника теплоты энергию грунта земельного участка. При укладке контура в землю желательно использовать участок с влажным грунтом, лучше всего с близкими грунтовыми водами (специальной подготовки почвы, засыпок и т. п. не требуется). Использование сухого грунта тоже возможно, но это приводит к увеличению длины контура. Трубопровод должен быть зарыт на глубину примерно 1 м, расстояние между соседними трубопроводами – примерно 0,8–1,0 м. Удельная тепловая мощность трубопровода, уложенного в землю трубопровода – 20–30 Вт/п. м. Для установки теплового насоса производительностью 10 кВт достаточно 350–450 м теплового контура, для чего хватит участка 20×20 м.

Однако следует помнить, что использование вертикального универсального коллектора позволит использовать участок значительно меньшей площади. Что касается садовой растительности – при правильном расчете контур не оказывает влияния на зеленые насаждения.

При использовании в качестве источника теплоты воды ближайшего водоема контур укладывается на дно. Этот вариант является идеальным с любой точки зрения: короткий внешний контур, «высокая» температура окружающей среды (температура воды в водоеме зимой всегда положительная), высокий коэффициент преобразования энергии тепловым насосом. Главное условие – водоем должен быть проточным и достаточным по размерам. Ориентировочное значение тепловой мощности, приходящейся на 1 м трубопровода 30 Вт. Таким образом, для установки теплового насоса производительностью 10 кВт необходимо уложить в озеро контур длиной 333 м. Для того, чтобы трубопровод не всплывал, на 1 п. м. трубопровода устанавливается около 5 кг груза.

В силу технических причин, теплонасосные установки с воздушным контуром имеют серьезное ограничение в применении: минимальная температура наружного воздуха минус 20 °С. Причем, начиная с температуры наружного воздуха минус 10 °С, степенями подключаются электрические нагреватели (ТЭНы), т. к. коэффициент преобразования (КПД теплового насоса) снижается. Таким образом, при температуре ниже минус 20 °С, по сути, работает только электрический нагрев.

3.131. Что является источником теплоты в тепловом насосе?

Источниками теплоты для тепловых насосов могут использоваться воздух, вода и земля. Наиболее приемлемым вариантом, лишенным недостатков других модификаций тепловых насосов, являются геотермальные тепловые насосы, использующие теплоту грунта (отбор теплоты земли грунтовыми коллекторами (А) или зондами (В), рис. 3.56). Геотермальный тепловой насос с грунтовыми зондами наиболее часто используется в наших условиях, хотя имеет большую стоимость.

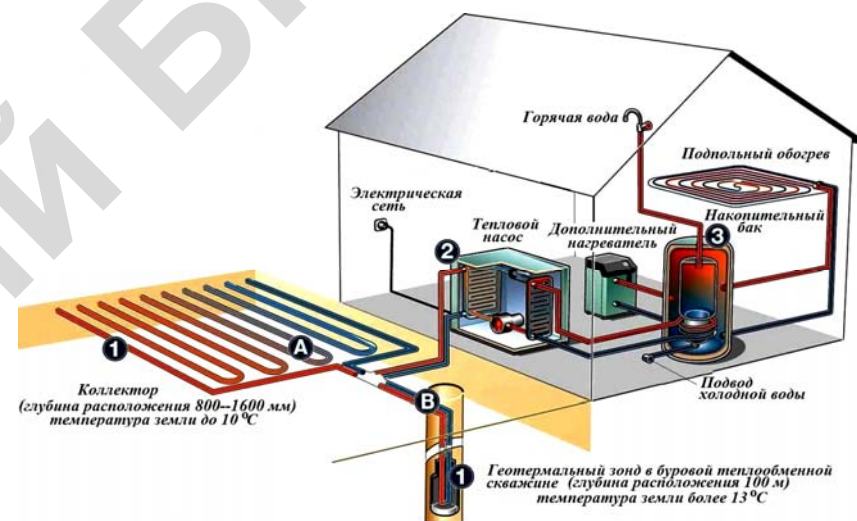


Рис. 3.56. Пример использования теплоты земли для теплоснабжения дома:
1 – поверхностный коллектор; 2 – тепловой насос;
3 – накопительный бак горячей воды

3.132. В чем преимущества геотермального теплового насоса?

Под геотермальным тепловым насосом подразумевается тепловой насос, работающий с глубинным зондом, имеющий следующие преимущества:

– высокая эффективность теплового насоса, достигаемая за счет высокого КПД теплового насоса (от 400 % до 500 %), что обеспечивает получение на 1 кВт затраченной электроэнергии 4–5 кВт тепловой энергии или 3–4 кВт мощности охлаждающего контура;

– максимально стабильные характеристики (тепловая мощность, КПД теплового насоса), вне зависимости от погоды и времени года (температура грунта в скважинах постоянна);

– отсутствие температурного влияния зондов (рис. 3.57) на поверхностные грунты, отсутствие ограничений на озеленение и ландшафтный дизайн после установки зондов (в отличие от тепловых насосов на земляных или траншейных коллекторах);



Рис. 3.57. U-образный грунтовой зонд с наконечником

– скважины располагаются на участке (в отличие от тепловых насосов использующих открытые водоемы), требуют минимальной свободной площади участка для размещения грунтовых скважин, невозможность повреждения после их установки;

– отсутствие наружных блоков, не нарушается целостность интерьера и фасада (как у тепловых насосов «воздух–вода»);

– система с тепловым насосом обеспечивает максимально комфортные условия в помещениях (низкотемпературное отопление – теплым полом или фанкойлами): минимальные колебания температуры и влажности, отсутствует шум, помещение котельной не требует специальной вентиляции;

– тепловой насос долговечен и не требует особого внимания к себе. Срок эксплуатации заводских грунтовых зондов достигает 100 лет; срок работы основного узла теплового насоса (компрессора) 30 лет, кроме того, он может быть легко заменен в период эксплуатации;

– двойной, U-образный заводской зонд (рис. 3.58) обеспечивает увеличенный теплосъем, дублирование зондов в скважине, малое гидравлическое сопротивление и после заливки скважины термораствором, защищен от повреждений;



Рис. 3.58. Двойной с увеличенной мощностью теплосъема U-образный грунтовой зонд с наконечником (заводское изготовление, 16 ат)

– возможность обеспечения отопления и охлаждения одним и тем же оборудованием;

– высвобождение территории, необходимой для размещения котельной, дымохода, хранилища топлива. Топочной для теплового насоса может быть любое помещение;

– относительно небольшая потребность в электроэнергии. Геотермальный тепловой насос (17 кВт) для отопления дома площадью около 350 м² будет потреблять до 5 кВт в час (с условием работы не более 12 ч/сут), обеспечивая этим низкие эксплуатационные затраты;

– система отопления на тепловом насосе абсолютно взрыво- и пожаробезопасна, не требует специального обслуживания, проста в управлении;

– экологически чистый метод отопления и кондиционирования, отсутствуют выбросы CO₂, NO_x и других продуктов горения;

– максимальная независимость и автономность – необходима только электрическая энергия (все современные системы отопления на любом виде топлива, без электрической энергии не работоспособны).

– независимость от поставок и цен на газообразное и жидкое топливо;

– отсутствует необходимость в газопроводе (топливопроводе) и газоснабжении (топливоснабжении).

3.133. Сравнительная эффективность теплового насоса.

Эффективной заменой газовому котлу, котлу на жидком топливе или отоплению с использованием электрической энергии, несомненно, будет система отопления на основе теплового насоса.

Так, для дома площадью 180 м² необходимо 10–12 кВт тепловой энергии, которую можно получить опустив 2 зонда в землю на глубину 100 м (для этого необходим участок земли размером 6 × 6 = 36 м²). Сравнительные характеристики наиболее распространенных отопительных установок для отопительной системы указанного дома приведены в табл. 3.12.

Таблица 3.12
Сравнительные характеристики отопительных установок
(мощность установки 11 кВт)

Технические характеристики	Способ обогрева помещения			
	Газовый котел	Котел на ПБТ*	Электрический котел	Тепловой насос
Площадь котельной, м ²	6	6	3	6
Расход электрической энергии за 1 ч эксплуатации, кВт·ч	1,5	2,0	13,0	2,0
Источник тепловой энергии	Газ	Дизтопливо	Электрический ток	Теплота земли, электрический ток
Годовой расход энергоносителя	5 000 м ³	10 000 л	69 тыс.кВт·ч	10 тыс.кВт·ч
Срок службы, лет	15–20	15–20	3–8	До 50
Пожароопасность	Опасен	Опасен	Опасен	Безопасен
Взрывоопасность	Опасен	Опасен	Опасен	Безопасен
Экологическая опасность	CO, NO _x	CO, NO _x	Безвреден	Безвреден
Вентиляция	Нужна	Нужна	Не нужна	Не нужна
Обслуживание	Регулярно	Регулярно	Осмотр	Осмотр
Надежность	Высокая	Высокая	Высокая	Наивысшая
Автономность	Нет	Нет	Нет	При наличии генератора 2 кВт
Возможность охлаждения	Нет	Нет	Нет	Да
Окупаемость	Не окупается	Не окупается	Не окупается	За 3–5 лет

Примечание. * ПБТ – печное бытовое топливо (жидкое топливо).

Из сравнительных характеристик, представленных в ней, можно сделать соответствующие выводы:

– тепловые насосы являются более экономичными, чем котлы на дизельном топливе или электрическое отопление, а в ближайшем будущем, когда цены на энергоносители сравняются с европейскими, они станут бесспорными лидерами и будут превосходить даже газовые котлы;

– срок службы тепловых насосов несравнимо больше, чем у классических котельных, поэтому это вложение в будущее и для следующих поколений.

3.134. Как обеспечить оптимальную производительность теплового насоса при пониженных температурах наружного воздуха?

Корпорацией *Mitsubishi Electric* разработана уникальная технология ZUBADAN (рис. 3.59), которая обеспечивает стабильную теплопроизводительность теплового насоса при понижении температуры наружного воздуха.

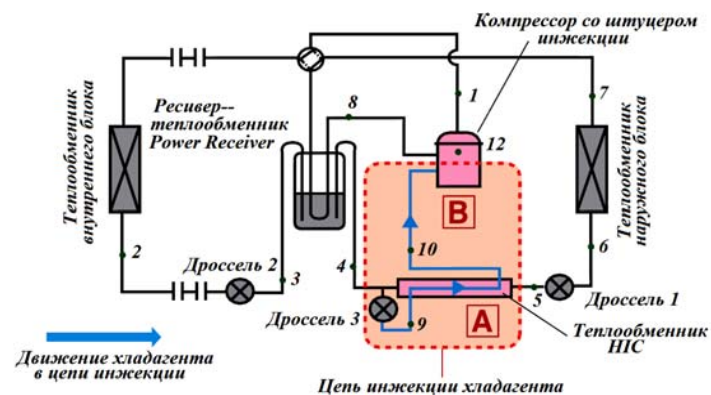


Рис. 3.59. Принципиальная схема работы теплового насоса по технологии двухфазного впрыска хладагента в компрессор: А – теплообменник НПС; В – компрессор со штуцером инжекции (цифрами обозначены характерные точки Ph-диаграммы, см. рис. 3.46)

В системах ZUBADAN применяется метод парожидкостной инжекции (рис. 3.60). В режиме обогрева давление жидкого хладагента, выходящего из конденсатора, роль которого выполняет теплообменник внутреннего блока, немного уменьшается с помощью расширительного вентиля (дроссель 2). Парожидкостная смесь (точка 3) поступает

в ресивер *Power Receiver*. Внутри ресивера проходит линия всасывания, и осуществляется обмен теплотой с газообразным хладагентом низкого давления. За счет этого температура смеси снова понижается (точка 4), и жидкость поступает на выход ресивера. Далее некоторое количество жидкого хладагента ответвляется через расширительный вентиль (дроссель 3) в цепь инжекции – теплообменник *НИС*. Часть жидкости испаряется, а температура образующейся смеси понижается. За счет этого охлаждается основной поток жидкого хладагента, проходящий через теплообменник *НИС* (точка 5). После дросселирования с помощью расширительного вентиля (дроссель 1, точка 6) смесь жидкого хладагента и образовавшегося в процессе понижения давления пара поступает в испаритель, то есть – в теплообменник наружного блока. За счет низкой температуры испарения тепло передается от наружного воздуха к хладагенту, и жидкая фаза в смеси полностью испаряется (точка 7). В результате прохода через трубу низкого давления в ресивере *Power Receiver* перегрев газообразного хладагента увеличивается, и фреон поступает в компрессор. Кроме того, этот ресивер сглаживает колебания промежуточного давления при флуктуациях внешней тепловой нагрузки, а также гарантирует подачу на расширительный вентиль цепи инжекции только жидкого хладагента, что стабилизирует работу этой цепи.

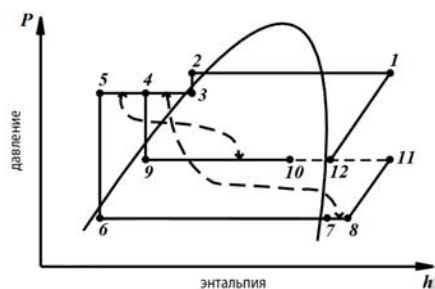


Рис. 3.60. Рабочий процесс теплового насоса по технологии двухфазного впрыска хладагента в компрессор в Ph -диаграмме (режим нагрева)

Часть жидкого хладагента, ответвленная от основного потока в цепь инжекции, превращается в парожидкостную смесь среднего давления. При этом температура смеси понижается, и она подается через специальный штуцер инжекции в компрессор, осуществляя полное промежуточное охлаждение хладагента в процессе сжатия и обеспечивая тем самым расчетную долговечность компрессора.

Дроссель 2 задает величину переохлаждения хладагента в конденсаторе. Дроссель 1 определяет перегрев в испарителе, а дроссель 3 поддерживает температуру перегретого пара на выходе компрессора (около 90 °С). Это происходит за счет того, что, попадая через цепи инжекции в замкнутую область между спиралью компрессора, двухфазная смесь перемешивается с газообразным горячим хладагентом, и жидкость из смеси полностью испаряется. Температура газа понижается. Регулируя состав парожидкостной смеси, можно контролировать температуру нагнетания компрессора. Это позволяет не только избежать перегрева компрессора, но и оптимизировать теплопроизводительность конденсатора.

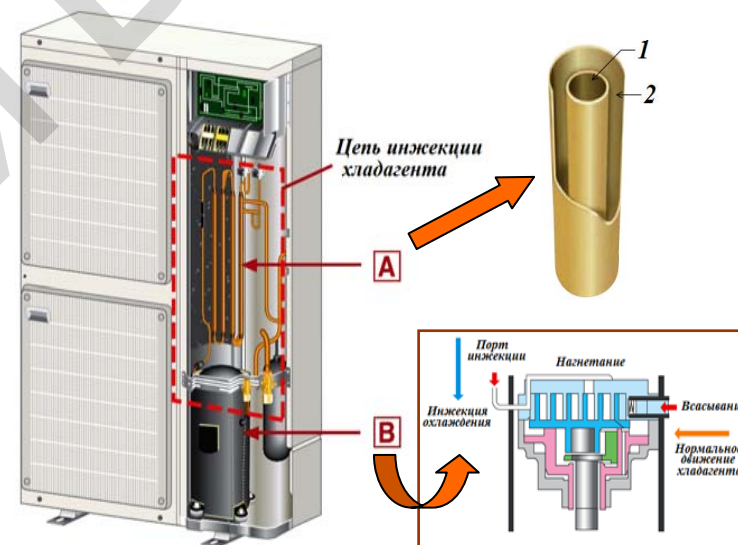


Рис. 3.61. Тепловой насос «воздух–воздух» промышленной серии ZUBADAN: А – теплообменник *НИС*; В – компрессор со штуцером инжекции; 1 – канал, по которому движется хладагент, проходящий через дроссель 3 (понижение давления); 2 – канал, по которому движется не проходящий через дроссель 3 хладагент

Инжекция жидкого хладагента создает существенную нагрузку на компрессор, снижая его энергетическую эффективность. Для уменьшения этой нагрузки введен теплообменник *НИС* (рис. 3.61). Передача теплоты между потоками хладагента с разными значениями давления приводит к тому, что часть жидкости испаряется. Образовавшаяся парожидкостная смесь при инжекции в компрессор создает меньшую

дополнительную нагрузку. Парожидкостная смесь, прошедшая теплообменник *НИС*, поступает через штуцер инжекции в компрессор (рис. 3.61). Таким образом, компрессор имеет два входа: штуцер всасывания и штуцер инжекции. Управляя расходом хладагента в цепи инжекции, удастся увеличить циркуляцию хладагента через компрессор при низкой температуре наружного воздуха, в результате повышится теплопроизводительность системы. В верхней неподвижной спирали компрессора предусмотрены отверстия для впрыска хладагента на промежуточном этапе сжатия.

3.135. Для чего нужна цепь инжекции хладагента в компрессоре?

Производительность наружного теплообменника (испарителя) понижается при уменьшении температуры наружного воздуха. Испаритель производит мало пара, который после сжатия в компрессоре поступает в теплообменник внутреннего блока – конденсатор. Недостаточное количество пара объясняет малое количество теплоты, выделяемое в процессе конденсации, а значит, и пониженную теплопроизводительность системы. Для решения проблемы нужно подать на вход компрессора дополнительное количество пара. Это главная задача цепи инжекции. Фактически компрессор имеет два входа: линию всасывания низкого давления и линию инжекции промежуточного давления. Если на улице еще не очень холодно, то испаритель производит достаточное количество пара. Он поступает в компрессор главным образом через линию низкого давления, а линия инжекции почти не задействована. В этом режиме тепловой насос работает с максимальной эффективностью, поглощая теплоту наружного воздуха и перенося ее в помещение. По мере снижения температуры наружного воздуха количество пара в этой линии уменьшается, и система управления увеличивает расход хладагента в цепи инжекции, поддерживая требуемый расход газа через компрессор. Однако следует понимать, что цепь инжекции не переносит теплоту от наружного воздуха, а энергетический эффект в конденсаторе от дополнительного количества сжатого газа полностью обеспечен за счет повышения потребляемой мощности компрессора.

Кроме основного назначения цепь инжекции выполняет еще несколько второстепенных задач. Во-первых, это снижение температуры сжатого газа на выходе из компрессора. При этом жидкий хладагент не полностью испаряется в теплообменнике *НИС*, и дозированное количество жидкости поступает в компрессор. Жидкость испаряется

там и охлаждает сжатый газ, предотвращая перегрев компрессора. Во-вторых, это увеличение производительности системы во время режима оттаивания наружного теплообменника. Как известно, процесс оттаивания происходит за счет обращения холодильного цикла и прерывает режим нагрева воздуха, поэтому желательно провести этот процесс быстро – пусть даже ценой повышенного электропотребления. Система управления перераспределяет поток жидкого хладагента, уменьшая его расход через теплообменник внутреннего блока (уменьшается степень открытия электронного дросселя 2, рис. 3.59) и увеличивая расход через цепь инжекции (дроссель 3). В результате во время оттаивания из внутреннего блока не идет холодный воздух, процесс происходит быстро и незаметно для пользователя.

3.136. В каком диапазоне температур наружного воздуха работают тепловые насосы «воздух–воздух»?

Теплопроизводительность промышленных систем тепловых насосов *Mitsubishi Electric* серии *ZUBADAN* сохраняет номинальное значение вплоть до температуры наружного воздуха минус 15 °С. При дальнейшем понижении температуры (завод-изготовитель гарантирует работоспособность системы до температуры минус 25 °С) теплопроизводительность начинает уменьшаться. В качестве примера, на рис. 3.62 приведены рабочие характеристики теплопроизводительности и потребляемой мощности для теплового насоса типа «воздух–воздух» серии *ZUBADAN* марки *PUHZ-HRP71VH2*.

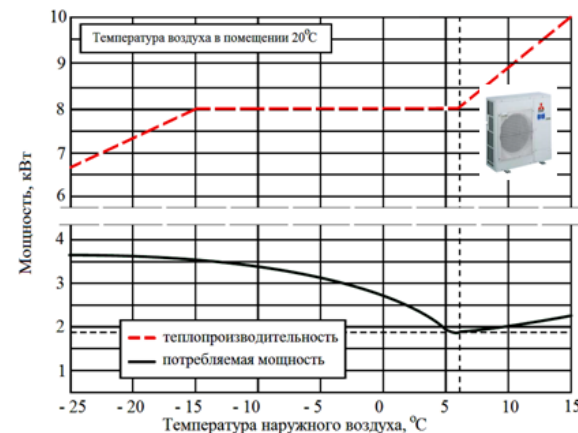


Рис. 3.62. Нагрузочные характеристики теплового насоса марки PUHZ-HRP71VH2

Алгоритм управления им оптимизирован с целью достижения максимальной теплопроизводительности, например, при пуске системы в холодном помещении или при низкой температуре наружного воздуха (при температуре наружного воздуха минус 20 °С, выход на нормальный режим эксплуатации за 20 мин). Кроме того, алгоритм управления указанным тепловым насосом предусматривает эффективный режим оттаивания наружного теплообменника. Процесс оттаивания происходит быстро и незаметно для пользователя. Благодаря этому теплообменник при любой погоде – сухой и чистый, что гарантирует наивысшую энергоэффективность отопления.

3.137. Что собой представляют модели тепловых насосов со встроенным теплообменником?

Рассмотрим на примере высокоэффективного теплового насоса «воздух–вода» *SAHV-P500YA-HPB*, который выполнен в виде моноагрегата наружной установки и предназначен для нагрева воды до 70 °С. Столь высокая для теплового насоса температура достигнута за счет применения технологии двухфазного впрыска хладагента в компрессор.

Агрегат состоит из двух независимых гидравлических контуров (рис. 3.63), что обеспечивает 50 % мощности при неисправности одного из контуров. До 16 наружных агрегатов могут быть объединены общим пультом управления *PAR-W21MAA*. Для равномерной выработки рабочего ресурса в этом случае предусмотрена автоматическая ротация систем в рамках объединения.



Рис. 3.63. Тепловой насос со встроенным теплообменником

Тепловой насос может работать в режиме приоритета теплопроизводительности или в режиме приоритета энергоэффективности. Сравнительные рабочие характеристики представлены на рис. 3.64 и 3.65.

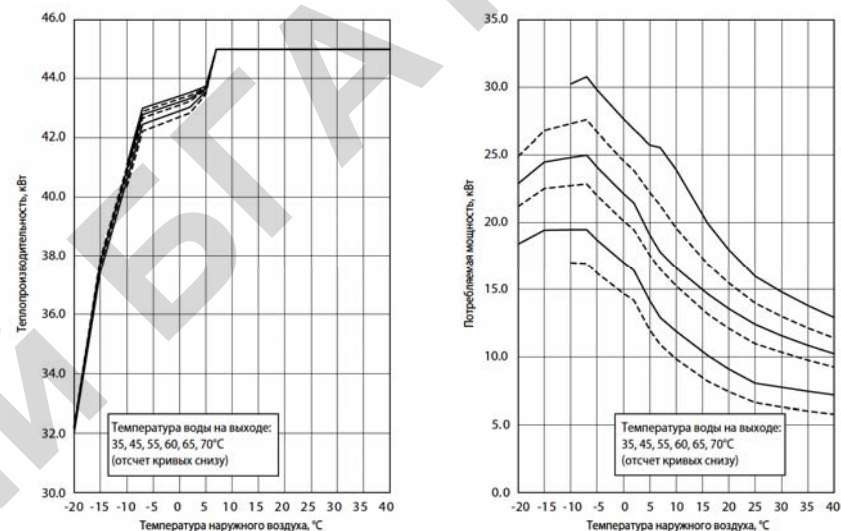


Рис. 3.64. Режим работы теплового насоса «приоритет энергоэффективности»

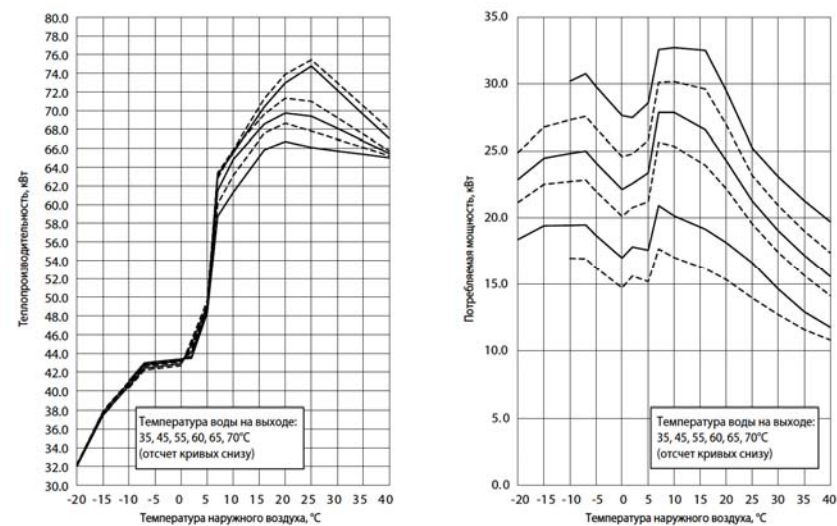


Рис. 3.65. Режим работы теплового насоса «приоритет теплопроизводительности»

3.138. Сфера применения тепловых насосов.

К сфере применения тепловых насосов можно отнести следующие направления:

- теплоснабжение зданий и сооружений различного типа (отопление, горячее водоснабжение и охлаждение воздуха);
- технологический цикл ряда производств АПК и пищевой промышленности (мясокомбинаты, молокозаводы, хлебозаводы и другие);
- объекты жилищного строительства (коттеджи, многоквартирные дома);
- объекты социального назначения (административные здания, гостиницы, больницы, санатории, спортивные, торговые и развлекательные центры и другие);
- производственные и административные помещения различного типа;
- сельскохозяйственные производственные помещения (теплицы, животноводческие комплексы и другие);
- объекты ЖКХ и топливно-энергетического комплекса (ТЭС, ТЭЦ).

3.139. Сравнительная эффективность тепловых насосов.

1 м³ природного газа при сжигании в отопительном котле может дать до 10 кВт·ч тепловой энергии (8600 Ккал). Этот же 1 м³ газа, сожженный на хорошей электростанции, даст почти 5 кВт·ч электроэнергии и до 4 кВт·ч тепловой энергии. Если этими 5 кВт·ч электроэнергии запитать тепловой насос, то можно выработать из окружающей среды: 16 кВт·ч теплоты из воздуха; 22 кВт·ч из грунта; 32 кВт·ч из водного источника.

Таким образом, из 1 м³ газа вместо 10 кВт·ч теплоты можно получить в 20–36 раз больше. Коэффициент эффективности теплового насоса по сравнению с прямым электронагревом составит 320–720 %.

3.140. Какова эффективность теплового насоса в зависимости от температуры наружного воздуха?

Потребление электроэнергии, выход тепловой энергии и отопительный коэффициент теплового насоса типа «воздух–воздух» достаточно сильно зависят от температуры наружного воздуха (рис. 3.66).

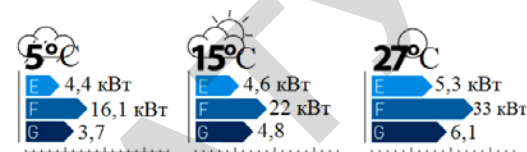


Рис. 3.66. Эффективность типового теплового насоса «воздух–воздух»: E – потребляемая мощность из электрической сети; F – получаемая тепловая мощность; G – отопительный коэффициент

Геотермальные тепловые насосы не имеют зависимости эффективности от наружной температуры воздуха, так как изменение температуры грунта, который является основным источником тепловой энергии, при этом незначительное.

3.141. Перспектива применения тепловых насосов.

По прогнозам Мирового энергетического комитета к 2020 году доля тепловых насосов в теплоснабжении в мире составит 75 %. В Украине есть программа увеличения выработки тепла с помощью тепловых насосов к 2030 году в 100 раз. В Беларуси пока единичные случаи внедрения.

Наиболее оптимальными для массового внедрения тепловых насосов на современном этапе являются следующие направления:

- геотермальный тепловой насос с горизонтальным теплообменником (замкнутый контур теплообменника укладывается горизонтально в глубокие траншеи);
- геотермальный тепловой насос с вертикальным теплообменником (замкнутый контур теплообменника устанавливается вертикально в подготовленные отверстия; применяется в тяжелом грунте или при ограниченности пространства участка);
- геотермальный тепловой насос с открытым контуром (теплоноситель подается непосредственно из водоема и после прохождения цикла охлажденным возвращается обратно);
- геотермальный тепловой насос с закрытым контуром (теплоноситель прокачивается через замкнутый контур, который может быть проложен глубоко в земле или по дну водоема; это более экологически безопасный метод, чем открытый цикл).

4. ОТОПИТЕЛЬНО-ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

4.1. Что понимается под тепловым режимом здания?

Тепловой режим здания – это совокупность факторов и процессов, определяющих тепловую обстановку в его помещениях.

От теплового режима зависят обеспечение ощущения теплового комфорта, нормальное протекание производственных процессов, долговечность строительных конструкций и технологического оборудования.

4.2. Что влияет на тепловую обстановку помещения?

На тепловую обстановку помещения оказывает влияние ряд факторов и процессов, которые находятся в тесной взаимосвязи:

- климатические воздействия;
- теплотехнические и теплофизические свойства ограждающих конструкций;
- процессы тепло- и влагообмена внутри помещения;
- системы инженерного оборудования здания и способы их регулирования.

4.3. Что такое микроклимат?

Микроклимат – это метеорологические условия воздушной среды в помещении.

Определяющими факторами микроклимата являются:

- физические (температура, относительная влажность и подвижность воздуха);
- химические (концентрации углекислого газа, аммиака и сероводорода);
- биологические (концентрация микроорганизмов в воздухе).

Сочетание этих факторов и их влияние на организм человека или животного могут быть различными.

4.4. Что такое допустимые параметры микроклимата?

Допустимые параметры микроклимата – сочетание показателей микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека (животное) могут вызвать ощущение дискомфорта при усиленном напряжении механизмов терморегуляции и не вызывают повреждений или ухудшения состояния здоровья. При этом могут наблюдаться ухудшения самочувствия и понижение работоспособности (продуктивности).

4.5. Что такое оптимальные параметры микроклимата?

Оптимальные параметры микроклимата – сочетание показателей микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека (животное) обеспечивают состояние комфорта. При этом создаются предпосылки для высокого уровня работоспособности (продуктивности).

4.6. Как влияет изменение температуры воздуха на организм животных?

При понижении температуры увеличивается отдача теплоты организмом животных в окружающую среду. Для компенсации теплопотерь животные начинают усиленно поедать корм. При этом основная часть энергии корма расходуется на поддержание постоянной температуры тела, вследствие чего снижается продуктивность животных. Кроме того, значительное и длительное понижение температуры воздуха увеличивает риск простудных заболеваний.

При повышении температуры воздуха затрудняется теплообмен между организмом животных и окружающей средой, что приводит к снижению аппетита.

4.7. Влияние влажности воздуха на организм животных.

Относительная влажность воздуха, как и температура, влияет на терморегуляцию организма животных. Поэтому влияние влажности воздуха на животных рассматривают в сочетании с температурой воздуха. Последствия для организма животных в зависимости от сочетаний температуры t_v и относительной влажности φ_v воздуха приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Влияние относительной влажности на организм животных

Сочетания $t_{в}$ и $\varphi_{в}$	Последствия
Низкая $t_{в}$ и высокая $\varphi_{в}$	Переохлаждение → простудные заболевания
Высокая $t_{в}$ и высокая $\varphi_{в}$	Перегрев → тепловой удар
Высокая $t_{в}$ и низкая $\varphi_{в}$	Жажда → снижение аппетита

4.8. Влияние подвижности воздуха на организм животных.

Влияние подвижности воздуха на организм животных зависит от периода года. В холодный период года высокая скорость движения воздуха вызывает переохлаждение животных, а в теплый – предохраняет их от перегрева.

4.9. Как влияет химический состав воздуха на организм животных?

Химический состав воздуха оказывает значительное влияние на жизнедеятельность организма животных.

Длительное воздействие больших концентраций углекислого газа на организм животных вызывает хроническое отравление, ухудшает поедаемость корма, что отрицательно сказывается на продуктивности.

Продолжительное пребывание в помещении с повышенным содержанием аммиака приводит к снижению устойчивости организма к неблагоприятным воздействиям и появлению легочных заболеваний.

Высокие концентрации сероводорода в воздухе способствуют затормаживанию окислительных процессов в организме, являются одной из причин кислородного голодания животных и вызывают отравление.

4.10. Что относится к ограждающим конструкциям?

К ограждающим конструкциям относятся следующие строительные элементы здания:

- наружные стены;
- внутренние ограждающие конструкции между помещениями с различной температурой внутреннего воздуха;
- совмещенные покрытия;
- чердачные перекрытия;

- перекрытия над проездами, неотапливаемыми подвалами и техническими подпольями;
- заполнения проемов (двери, ворота, окна и т. п.);
- полы по грунту.

4.11. Как определяются условия эксплуатации ограждающих конструкций?

Условия эксплуатации влияют на выбор теплотехнических показателей строительных материалов на стадии проектирования. Условия эксплуатации А или Б определяются влажностным режимом помещений в зависимости от температуры и относительной влажности внутреннего воздуха в холодный период года. Влажностный режим помещений и условия эксплуатации ограждающих конструкций следует принимать по ТКП 45-2.04-43.

4.12. Теплотехнические требования к ограждающим конструкциям.

Теплотехнические требования к ограждающим конструкциям сводятся к обеспечению требуемых теплозащитных свойств, которые характеризуются теплоустойчивостью и сопротивлением теплопередаче.

Теплоустойчивость характеризует сопротивляемость ограждения передаче изменяющихся во времени периодических тепловых воздействий, что свойственно теплоте периоду года. Сопротивление теплопередаче определяет теплозащитные свойства ограждения при передаче теплоты в стационарных условиях, что характерно для холодного периода года.

4.13. Что такое теплоустойчивость?

Теплоустойчивость – это способность ограждающей конструкции сохранять в допустимых пределах постоянство температуры на внутренней поверхности при периодических колебаниях температуры наружного воздуха.

В холодный период года наружные ограждения должны сохранять относительно постоянную температуру на внутренней поверхности при резких похолоданиях, а в теплый – при суточных колебаниях температуры наружного воздуха.

4.14. Чем характеризуется теплоустойчивость?

Теплоустойчивость ограждающей конструкции оценивают по величине ее тепловой инерции D , которую следует определять по формуле:

$$D = R_1 s_1 + R_2 s_2 + \dots + R_n s_n,$$

где R_1, R_2, \dots, R_n – термическое сопротивление отдельных слоев ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$;

s_1, s_2, \dots, s_n – коэффициент теплоусвоения материала отдельных слоев ограждающей конструкции при расчетных условиях эксплуатации, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$.

4.15. Как определить термическое сопротивление?

Термическое сопротивление однородной ограждающей конструкции, а также слоя многослойной конструкции R , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, следует определять по формуле:

$$R = \frac{\delta}{\lambda},$$

где δ – толщина слоя, м;

λ – коэффициент теплопроводности материала однослойной или теплоизоляционного слоя многослойной ограждающей конструкции при расчетных условиях эксплуатации, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$.

4.16. Что такое коэффициент теплоусвоения?

Коэффициент теплоусвоения s характеризует способность материала воспринимать теплоту при колебаниях температуры на его поверхности. Он зависит от коэффициента теплопроводности λ , удельной теплоемкости c_p и плотности ρ материала.

Коэффициент теплоусвоения замкнутых воздушных прослоек принимается равным нулю.

4.17. Что такое сопротивление теплопередаче?

Сопротивление теплопередаче характеризует способность ограждающей конструкции препятствовать переносу теплоты. Оно влияет на величину теплопотерь через ограждения и соблюдение санитарно-гигиенических требований в помещении.

Сопротивление теплопередаче R_0 , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, ограждающей конструкции (кроме пола по грунту и заполнений световых проемов) следует определять по формуле:

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum R_i + R_{\text{в.п}} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}},$$

где $\alpha_{\text{в}}$ и $\alpha_{\text{н}}$ – коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхностях ограждающей конструкции, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$;

R_i – термическое сопротивление отдельных слоев ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$;

$R_{\text{в.п}}$ – термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

При определении сопротивления теплопередаче внутренних ограждающих конструкций вместо $\alpha_{\text{н}}$ следует принимать $\alpha_{\text{в}}$ более холодного помещения.

4.18. Как определить сопротивление теплопередаче утепленного пола по грунту?

Сопротивление теплопередаче R_0 , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, утепленного пола по грунту следует определять отдельно для каждой зоны по формуле:

$$R_0 = R_{\text{н.п}} + \sum R_i,$$

где $R_{\text{н.п}}$ – сопротивление теплопередаче рассматриваемой зоны неутепленного пола, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

4.19. Как определить сопротивление теплопередаче утепленного пола по грунту устроенного на лагах?

Сопротивление теплопередаче R_0 , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, утепленного пола по грунту устроенного на лагах следует определять отдельно для каждой зоны по формуле:

$$R_0 = 1,18(R_{\text{н.п}} + R_i + R'_{\text{в.п}}),$$

где $R'_{\text{в.п}}$ – термическое сопротивление воздушной прослойки, образованной лагами, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

4.20. Как определить сопротивление теплопередаче заполнений световых проемов?

Сопротивление теплопередаче заполнений световых проемов следует принимать по нормативно-технической документации в зависимости от конструктивного выполнения проемов.

4.21. Что такое требуемое сопротивление теплопередаче?

Требуемое сопротивление теплопередаче позволяет судить об обеспечении наружной ограждающей конструкцией необходимых санитарно-гигиенических условий в производственном помещении.

Требуемое сопротивление теплопередаче R_0^{TP} , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, наружных стен, покрытий и перекрытий следует определять по формуле:

$$R_0^{TP} = \frac{n(t_B - t_H)}{\alpha_B \Delta t^H},$$

где n – коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху;

t_B – расчетная температура внутреннего воздуха, °C ;

t_H – расчетная температура наружного воздуха в холодный период года, °C , принимаемая с учетом тепловой инерции ограждающей конструкции D (за исключением заполнений проемов);

Δt^H – расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей поверхности, °C .

Сопротивление теплопередаче наружной ограждающей конструкции должно быть не менее значения R_0^{TP} .

4.22. Как определить требуемое сопротивление теплопередаче заполнений проемов?

Требуемое сопротивление теплопередаче наружных дверей (кроме балконных) и ворот должно быть не менее значения $0,6 R_0^{TP}$ наружных стен, определяемого при расчетной температуре наружного воздуха в холодный период года, равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью $0,92$.

Требуемое сопротивление теплопередаче заполнений наружных световых проемов принимают по [6] в зависимости от района строительства и назначения производственного помещения.

4.23. Что такое нормативное сопротивление теплопередаче?

Нормативное сопротивление теплопередаче R_0^H , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, предопределяет экономически целесообразный расход энергоресурсов на отопление производственных зданий. При строительстве, реконструкции и модернизации, а также ремонте ограждающих конструкций (за исключением наружных дверей и ворот) этих зданий, построенных в соответствии с требованиями норм строительной теплотехники, действовавших с 1993 года, сопротивление теплопередаче наружных ограждений должно быть не менее значения R_0^H .

Нормативное сопротивление теплопередаче следует принимать по [6].

4.24. Как определить расчетные температуры воздуха?

Температуру воздуха в производственных помещениях при проектировании отопления следует принимать равной минимальной из допустимых температур для холодного периода года в зависимости от категории работ.

Температуру в зданиях сельскохозяйственного назначения следует принимать в соответствии с нормами технологического и строительного проектирования этих зданий.

В качестве расчетной температуры наружного воздуха при проектировании отопления следует принимать среднюю температуру наиболее холодной пятидневки обеспеченностью $0,92$ по [6] для определенного района строительства.

4.25. Чем обусловлены основные потери теплоты?

Основные теплотери (рис. 4.1) через ограждающие конструкции обусловлены разностью температур между внутренним и наружным воздухом. Теплота Q_{TH} стремится самопроизвольно перейти от нагретой среды (внутреннего воздуха) к более холодной (наружному воздуху).

На величину основных теплотерь влияют площадь и теплозащитные свойства ограждающих конструкций.

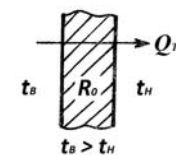


Рис. 4.1. Основные теплотери

4.26. Что учитывают добавочные потери теплоты?

Добавочные теплопотери через ограждающие конструкции учитывают целый ряд дополнительных факторов, влияющих на величину $Q_{\text{ТП}}$.

Определяющими факторами добавочных теплопотерь являются:

- ориентация по сторонам света вертикальных и наклонных (вертикальная проекция) наружных стен, дверей и окон;
- наличие двух и более наружных стен в помещении;
- инфильтрация наружного воздуха;
- поступление наружного воздуха при кратковременном открывании дверей (ворот), не оборудованных воздушными или воздушно-тепловыми завесами.

Добавочные теплопотери через ограждающие конструкции следует принимать в долях от основных потерь по [2].

4.27. Что такое инфильтрация?

Инфильтрация – неконтролируемое поступление наружного воздуха в помещения через неплотности в ограждающих конструкциях.

В производственных помещениях основная масса инфильтрующегося воздуха поступает через щели притворов наружных дверей, ворот и окон. Количество инфильтрующегося воздуха зависит от объемно-планировочного решения здания, направления и скорости ветра, температур наружного и внутреннего воздуха, а также конструктивных особенностей наружных ограждений.

4.28. Чем вызвана необходимость разбивать полы по грунту на зоны?

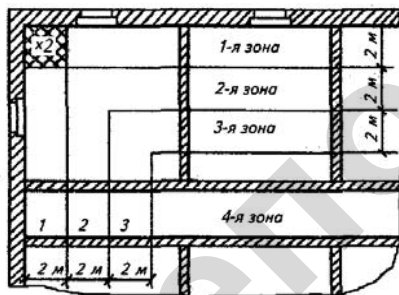


Рис. 4.2. Разбивка пола на зоны

Теплопотери через пол, расположенный на грунте, неравномерны: чем ближе к наружной стене, тем ниже температура грунта и больше потери теплоты. Для упрощения расчетов пол разбивают на зоны в виде параллельных наружным стенам полос (рис. 4.2). Первые три зоны имеют ширину по 2 м, а вся оставшаяся часть составляет четвертую зону. Из-за повышенных теплопотерь площадь участков пола, примыкающих к углам наружных стен, учитывается в первой зоне дважды.

4.29. Как определить теплопотери через ограждающие конструкции?

Теплопотери через ограждающие конструкции находят путем суммирования потерь теплоты через отдельные ограждения.

Тепловой поток теплопотерь через ограждающую конструкцию $\Phi_{\text{ТП}}$, Вт, следует определять с округлением до 10 Вт по формуле:

$$\Phi_{\text{ТП}} = \frac{A}{R_0} (t_{\text{В}} - t_{\text{Н.О}}) (1 + \sum \beta) n,$$

где A – расчетная площадь ограждающей конструкции, м^2 ;

β – добавочные теплопотери в долях от основных потерь.

Потери теплоты через внутренние ограждающие конструкции смежных помещений следует учитывать, если разность температур воздуха в этих помещениях более $3\text{ }^{\circ}\text{C}$. При этом вместо расчетной температуры наружного воздуха принимают температуру воздуха более холодного помещения.

4.30. Как определить расчетную площадь ограждающих конструкций?

Расчетную площадь ограждающих конструкций определяют с точностью $0,1\text{ м}^2$, соблюдая правила обмера (рис. 4.3). Эти правила учитывают сложность процесса теплопередачи на границах ограждений, предусматривая условное увеличение или уменьшение площадей для соответствия фактическим теплопотерям.

Площадь окон и наружных дверей (ворот) определяют по наименьшим размерам строительных проемов.

Площадь полов над неотапливаемыми подвалами и потолков измеряют между осями внутренних стен и внутренней поверхностью наружных стен.

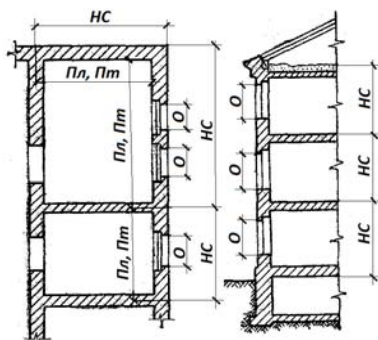


Рис. 4.3. Правила обмера ограждающих конструкций

Расчетную площадь наружных стен следует находить как разность общей площади наружных стен и суммарной площади окон и наружных дверей (ворот). В качестве линейных размеров при определении общей площади наружных стен принимают:

- длину стен по внешней поверхности от наружных углов до осей внутренних стен;

- высоту стен на первом этаже (в зависимости от конструкции пола) от внешней поверхности пола по грунту, или от наружного уровня подготовки под конструкцию пола на лагах, или от нижней поверхности перекрытия над неотапливаемым подвалом до уровня чистого пола второго этажа;

- высоту стен на средних этажах от поверхности пола до поверхности пола следующего этажа;

- высоту стен на верхнем этаже от поверхности пола до верха конструкции чердачного перекрытия или бесчердачного покрытия.

Линейные размеры определяют с точностью до 0,1 м.

При необходимости определения теплотерь через внутренние ограждения их площади берутся по внутреннему обмеру.

4.31. Теплопоступления в производственные помещения.

Теплопоступления в производственные помещения определяются принятой технологией производства. Источниками теплопоступлений могут быть люди, технологическое оборудование, электродвигатели, искусственное освещение, поступающие в помещение нагретые материалы и изделия, солнечная радиация и др. В животноводческих помещениях основным источником теплопоступлений являются животные.

В тепловом балансе производственного помещения учитываются только регулярные теплопоступления. Для определения расчетного теплового потока теплопоступлений необходимо учитывать ряд факторов: степень загрузки и одновременности работы электрооборудования, количество отводимой теплоты системой вентиляции, время нахождения нагретых материалов в помещении и другие параметры.

Солнечная радиация относится к нерегулярным теплопоступлениям и в тепловом балансе помещения не учитывается.

4.32. Дополнительные затраты теплоты в производственных помещениях.

Дополнительные затраты теплоты расходуются на нагревание поступающих холодных материалов, транспортных средств, испарение влаги с открытых водных и смоченных поверхностей и др. Данные затраты теплоты включают в тепловой баланс производственного помещения с учетом их регулярности.

4.33. Для чего составляется тепловой баланс помещения?

Тепловой баланс представляет собой сопоставление всех теплотерь $Q_{\text{пот}}$ и теплопоступлений $Q_{\text{пост}}$ в помещение при расчетной температуре наружного воздуха в холодный период года.

Сведением всех составляющих теплотерь и теплопоступлений в тепловой баланс помещения определяется дефицит или избыток теплоты. Дефицит теплоты ΔQ , определяемый превышением теплотерь над теплопоступлениями, указывает на необходимость устройства отопления в помещении.

4.34. Как определить тепловую нагрузку здания?

Тепловую нагрузку здания $\Phi_{\text{зд}}$, Вт, следует определять по формуле:

$$\Phi_{\text{зд}} = \Delta\Phi = \Sigma\Phi_{\text{пот}} - \Sigma\Phi_{\text{пост}}\eta_1,$$

где $\Sigma\Phi_{\text{пот}}$ и $\Sigma\Phi_{\text{пост}}$ – суммарные тепловые потоки теплотерь и теплопоступлений в помещения зданий, Вт;

η_1 – коэффициент, принимаемый в зависимости от способа регулирования системы отопления.

4.35. Как определить тепловую мощность системы отопления?

Тепловая мощность системы отопления должна покрывать тепловую нагрузку здания с учетом дополнительных потерь теплоты через участки наружных ограждающих конструкций, расположенных за отопительными приборами, а также за счет остывания теплоносителя в трубопроводах, проложенных в неотапливаемых помещениях. Эти дополнительные потери следует принимать в размере не более 7 % тепловой нагрузки здания.

4.36. Что такое отопление?

Отопление – обогрев помещений с целью возмещения в них теплопотерь и поддержания на заданном уровне температуры, отвечающей условиям теплового комфорта или требованиям санитарных норм и правил.

4.37. Что такое отопительная система?

Отопительная система или система отопления – комплекс устройств, выполняющих функцию отопления.

Отопительные системы – различные системы обогрева помещений с целью поддержания теплового комфорта или для производственных нужд. Этот термин обычно применяется к системам, в которых сжигание топлива происходит в более или менее удаленном от обогреваемого помещения месте, в отличие от примитивного очага или печи и небольших переносных нагревателей.

Каждая отопительная система состоит из трех основных элементов:

- теплового центра, в котором теплоносителю передается необходимое количество теплоты;
- системы теплопроводов (для перемещения по ним теплоносителя);
- отопительных приборов, передающих теплоту от теплоносителя воздуху и ограждениям помещения.

4.38. Какие требования предъявляются к отопительным системам?

К отопительным системам предъявляется ряд требований:

- санитарно-гигиенические (при них организм человека, животного или птицы не испытывает излишние перенапряжения, связанные

с пребыванием в закрытых помещениях; определяются максимальной температурой теплоносителей, например, см. табл. 4.2);

- *техничко-экономические* (простота устройства, наименьший расход материалов и трудовых затрат на сооружение установок, наименьшие эксплуатационные затраты, удобство эксплуатации);

- *строительные* (при сооружении и неизбежных при эксплуатации ремонтах отопительных установок нельзя нарушать цельность и прочность основных конструктивных элементов зданий; массовое заводское изготовление унифицированных деталей и узлов с высокой степенью их готовности при поточных методах монтажа);

- *эстетические* (отдельные элементы отопительных установок не должны нарушать внешний архитектурный облик сооружения в целом и не занимать излишних площадей).

Таблица 4.2

Рекомендуемые параметры теплоносителей [4]

Назначение помещения (здания)	Температура теплоносителя, °С	
	Подающих	Обратных
Детские сады, жилые, административные и учебные здания	85–95 (105)	65–70
Производственные помещения	До 130	70(95)
Промышленные предприятия с тепло- и влаговыведениями, вокзалы, аэропорты	До 150	70(105)

4.39. Какие теплоносители применяют в отопительных системах?

Теплоносителем для отопления может быть подвижная, жидкая или газообразная среда, соответствующая требованиям, предъявляемым к системе отопления. В отопительных системах в качестве теплоносителя применяют:

- *воду* (имеет большие теплоемкость и плотность, позволяющие передавать значительное количество теплоты в малых объемах);

- *насыщенный водяной пар* (ценность водяного пара как теплоносителя заключается в большой величине теплоты, выделяющейся при его конденсации в отопительных приборах);

- *воздух* (как теплоноситель применяется редко, т. к. требуется перемещение больших его объемов; однако, применение воздуха выгодно и неизбежно при совмещении обогрева и вентилирования помещения).

Сравнение указанных теплоносителей проведено в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Характеристики основных теплоносителей систем отопления

Параметры	Теплоноситель		
	Вода	Пар	Воздух
Разность температуры, °С	95 – 70 = 25 130 – 70 = 60 150 – 70 = 80	130	60 – 15 = 45
Плотность, кг/м ³	917	1,5	1,03
Удельная теплоемкость, кДж/(кг·К)*	4,31	1,84	1,0
Удельная теплота конденсации, кДж/кг	–	2175	–
Количество теплоты для отопления в объеме 1 м ³ теплоносителя, кДж	316 370	3 263	46,4
Скорость движения, м/с	1,5	80	До 15
Соотношение площади поперечного сечения теплопроводов	1	1,8	680

Примечание. * При максимальной температуре теплоносителя.

Для отопления зданий и сооружений в настоящее время преимущественно используют воду или атмосферный воздух, реже водяной пар или нагретые газы. Следует учитывать, что при использовании в качестве теплоносителя воды, обладающей наилучшей совокупностью теплофизических свойств, мы сталкиваемся с рядом существенных недостатков. Вода, содержащая в своем составе различные соли и примеси, вызывает не только коррозию оборудования, но и образование солевых отложений и биологических обрастаний на теплопередающих поверхностях, что отрицательно сказывается на техническом состоянии и работоспособности всей системы отопления. Кроме того, вода в качестве теплоносителя может применяться только при положительных температурах.

В настоящее время в автономных системах отопления и в системах кондиционирования воздуха наибольшее распространение во всем мире получили антифризы на основе водных растворов этиленгликоля, считающиеся наиболее оптимальными по техническим характеристикам. Однако отрицательное воздействие на антифриз может оказать повышенная температура, возникающая в системе при ненормальном

режиме ее работы. При перегреве теплоносителя до температур, превышающих 170 °С, происходит термическое разложение этиленгликоля, его окисление до альдегидов и кислот, разложение антикоррозионных присадок, при этом наблюдается выделение газообразных продуктов и образование «нагара» на нагревательных элементах. Поэтому в нагревательных котлах должна быть обеспечена надлежащая циркуляция теплоносителя, и нагревательные элементы в процессе работы должны быть полностью погружены в теплоноситель, чтобы не допускать их перегрева и «пригорания» антифриза. Локальный перегрев антифриза может происходить в точках контакта теплоносителя с нагревательными элементами.

4.40. Как сопоставляются характерные свойства теплоносителей, применяемых в отопительных системах?

Вода представляет собой жидкую, практически несжимаемую среду со значительной плотностью и теплоемкостью. Вода изменяет плотность, объем и вязкость в зависимости от температуры, а температуру кипения – в зависимости от давления, способна сорбировать или выделять растворимые в ней газы при изменении температуры и давления.

Пар является легкоподвижной средой со сравнительно малой плотностью. Температура и плотность пара зависят от давления. Пар значительно изменяет объем и энтальпию при фазовом превращении.

Воздух также является легкоподвижной средой со сравнительно малыми вязкостью, плотностью и теплоемкостью, изменяющей плотность и объем в зависимости от температуры.

Одним из санитарно-гигиенических требований является поддержание в помещениях равномерной температуры. По этому показателю преимущество перед другими теплоносителями имеет воздух. При использовании нагретого воздуха (теплоносителя с низкой тепловой инерционностью) можно постоянно поддерживать равномерной температуру каждого отдельного помещения, быстро изменяя температуру подаваемого воздуха, т. е. проводя так называемое эксплуатационное регулирование. При этом одновременно с отоплением можно обеспечить вентиляцию помещений, что является определяющим для производственных помещений АПК.

Применение в системах отопления горячей воды также позволяет поддерживать равномерную температуру помещений, что достигается регулированием температуры, подаваемой в отопительные приборы

воды. При таком регулировании температура помещений все же может несколько отклоняться от заданной (на 1–2 °С) вследствие тепловой инерции масс воды, труб и приборов.

При использовании пара температура помещений неравномерна, что противоречит гигиеническим требованиям. Неравномерность температуры возникает из-за несоответствия теплопередачи приборов при неизменной температуре пара (при постоянном давлении) изменяющимся теплопотерям помещения в течение отопительного сезона. В связи с этим приходится уменьшать количество подаваемого в приборы пара и даже периодически отключать их во избежание перегрева помещений при уменьшении их теплопотерь. При использовании пара в качестве теплоносителя температура поверхности большинства отопительных приборов и труб постоянна и близка или выше 100 °С, т. е. превышает гигиенический предел (разложение органической пыли на нагретой поверхности, сопровождающееся выделением вредных веществ, в частности окиси углерода, начинается при температуре 65–70 °С и интенсивно протекает на поверхности, имеющей температуру более 80 °С).

В дополнение к известным эксплуатационным показателям следует отметить, что из-за высокой плотности воды (больше плотности пара в 600–1500 раз и воздуха в 900 раз) в системах водяного отопления многоэтажных зданий может возникать разрушающее гидростатическое давление. В связи с этим в высотных зданиях США применялись системы парового отопления.

4.41. Какими преимуществами и недостатками обладают теплоносители современных систем отопления?

При использовании воды обеспечивается достаточно равномерная температура помещений, можно ограничить температуру поверхности отопительных приборов, сокращается по сравнению с другими теплоносителями площадь поперечного сечения труб, достигается бесшумность движения в теплопроводах. Недостатками применения воды являются значительный расход металла и большое гидростатическое давление в системах. Тепловая инерция воды замедляет регулирование теплопередачи приборов.

При использовании пара сравнительно сокращается расход металла за счет уменьшения площади приборов и поперечного сечения конденсатопроводов, достигается быстрое прогревание приборов

и отапливаемых помещений. Гидростатическое давление пара в вертикальных трубах по сравнению с водой минимально. Однако пар как теплоноситель не отвечает санитарно-гигиеническим требованиям, его температура высока и постоянна при данном давлении, что затрудняет регулирование теплопередачи приборов, движение его в трубах сопровождается шумом.

При использовании воздуха можно обеспечить быстрое изменение или равномерность температуры помещений, избежать установки отопительных приборов, совмещать отопление с вентиляцией помещений, достигать бесшумности его движения в воздуховодах и каналах. Недостатками являются его малая теплоаккумулирующая способность, значительные площадь поперечного сечения и расход металла на воздуховоды, относительно большое понижение температуры по их длине.

4.42. По каким признакам и как классифицируются отопительные системы?

Системы отопления можно разделить:

– по *радиусу действия* отопительные системы подразделяются: на *местные* (при этом генератор теплоты и отопительный прибор конструктивно скомпонованы вместе и устанавливаются в обогреваемом помещении; к этому виду относятся: печное, электрическое и газовое отопление); *центральные* (при этом получение теплоты из топлива и передача ее теплоносителю производится в едином для всего здания тепловом центре, а в помещениях обогреваемого здания устанавливаются только нагревательные приборы);

– *типу источника нагрева*: газовые, мазутные, электрические (кабельная и прочие), дровяные, угольные, торфяные, пеллетные, солнечные, геотермальные;

– *преобладающему виду теплоотдачи отопительных приборов*: конвективные, лучистые и конвективно-лучистые;

– *типу теплоносителя*: воздушные, водяные, паровые, комбинированные;

– *виду циркуляции теплоносителя*: с естественной и искусственной (механической, с использованием насосов);

– *режиму работы*: постоянно работающие на протяжении отопительного периода и периодические (в том числе и аккумуляционные) системы отопления;

– *гидравлическим режимам*: с постоянным и изменяемым режимом;

– *ходу движения теплоносителя в магистральных трубопроводах*: тупиковые и попутные.

Кроме того, для систем отопления характерно разделение:

– по *типу теплоносителя*: системы водяного, парового и воздушного отопления;

– по *способу разводки*: с верхней, нижней, комбинированной, горизонтальной, вертикальной;

– по *способу присоединения отопительных приборов*: однотрубные, двухтрубные, трехтрубные, четырехтрубные, комбинированные.

Все эти признаки отопительных систем, в реальности, как правило, смешиваются. Например, водяная система с нижней разводкой, тупиковая, с изменяемой гидравликой, с нагревательными приборами – конвекторами; электрическая – прямого действия и воздушная или водяная системы отопления.

4.43. Что входит в понятие «комбинированные системы отопления»?

Наличие теплоносителей с высокими параметрами, недопустимыми по санитарно-гигиеническим условиям для непосредственного использования в системах отопления, вызвало необходимость применения так называемых комбинированных систем отопления, которые могут быть: пароводяными, паровоздушными, водоводяными, водовоздушными, огневоздушными, электровоздушными, лучисто-воздушными (инфракрасными).

4.44. Какие системы отопления применяются в АПК?

В сельском хозяйстве для обогрева помещений и зданий применяются системы водяного, парового, панельно-лучистого, воздушного и печного отопления.

Водяное отопление рекомендуется в помещениях с длительным пребыванием людей, где требуется стабильная температура воздуха в течение суток, и в которых отсутствуют источники пыли и избыточных влаговывделений. Паровое отопление используют в производственных помещениях с хорошей вентиляцией, где допускается колебание температуры воздуха. Панельно-лучистое отопление может быть применено в помещениях и зданиях любого типа и назначения. Оно поддерживает равномерную температуру воздуха по высоте помещения, но средняя температура воздуха в этих помещениях бывает

ниже, чем при радиаторном отоплении. Воздушное отопление применяется в производственных помещениях с определенными условиями микроклимата (животноводческие и птицеводческие комплексы и фермы, теплицы). Печное отопление (рис. 4.4 и 4.5) чаще всего применяют в личных домах сельского населения и реже в конторах и административных помещениях. Оно не обеспечивает стабильной температуры воздуха в течение суток из-за неравномерности теплоотдачи печей.

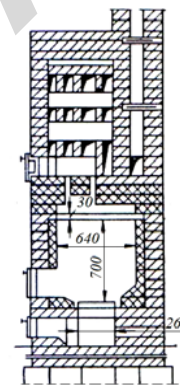


Рис. 4.4. Печь бесканальная

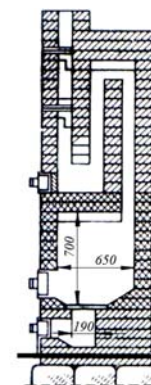


Рис. 4.5. Печь двухоборотная

Следует учитывать, что системы отопления различных типов зданий и помещений выбираются на основе анализа противопожарных требований и гигиенических условий, предъявляемым к данным отапливаемым объектам, а также сравнения технико-экономических

показателей систем отопления. Из применяемых систем отопления наиболее гигиеничными являются системы водяного отопления, позволяющие регулировать температуру воздуха в помещениях в широких пределах.

4.45. На основе чего можно реализовать лучистое отопление?

Лучистое отопление может быть реализовано на основе:

- *газовых обогревателей* (светлых излучателей с температурой на излучающей поверхности 900–1300 °С; темных излучателей – 400–600 °С и супертемных (ленточных) – 200–400 °С);
- *водяных излучающих потолочных панелей* (температура теплоносителя 40–180 °С);
- *электрических инфракрасных обогревателей* (температура на излучающей поверхности 60–280 °С).

4.46. На основе чего можно реализовать воздушное отопление?

Воздушное отопление может быть реализовано на основе:

- *газовых воздухонагревателей* (теплогенераторов, приточно-вытяжных установок и т. п., которые делятся на смесительные (прямой нагрев воздуха) и рекуперативные (непрямой нагрев воздуха));
- *водяных воздухонагревателей* (воздушно-отопительных установок, приточных установок и т. п.);
- *электрических воздухонагревателей* (электрических калориферов и т. п.).

4.47. В чем преимущество воздушных отопительных систем?

Преимуществом воздушных отопительных систем является возможность построения единой системы отопления, вентиляции и кондиционирования.

4.48. В чем преимущество лучистых отопительных систем?

Основные преимущества лучистых отопительных систем:

- за счет лучистой составляющей обогревается не воздух, а непосредственно предметы в рабочей зоне;
- человек вместе с температурой воздуха чувствует излучение (теплое и холодное) от окружающих предметов; при этом можно

поддерживать температуру воздуха в рабочей зоне на 2–3 °С ниже по сравнению с температурой при воздушном отоплении;

- малое движение воздуха в рабочей зоне, что приводит к минимальному переносу пыли, запахов и т. п.

4.49. В чем недостатки лучистых отопительных систем?

Главными недостатками лучистых отопительных систем являются:

- ограничение температуры поверхности обогревателя и плотности лучистого теплового потока на рабочем месте (предметах) требует детального расчета распределения лучистой теплоты по поверхностям обслуживаемых помещений с учетом негативных теневых зон (между стеллажами, под агрегатами и оборудованием и т. п.);
- при необходимости выполнения нормируемой (расчетной) вентиляции помещения, как правило, требуется предусматривать дополнительную приточную установку (воздухонагреватель любого типа).

4.50. В чем недостатки воздушных отопительных систем?

Так как воздушная система отопления является конвективной и обогревает весь объем здания (помещения), необходимо при ее расчете учитывать инфильтрацию воздуха, включая сквозняки, перетекание запахов и пыли.

При эксплуатации воздушной системы отопления возникают дополнительные (иногда достаточно значительные) затраты электроэнергии на работу привода вентиляторов.

4.51. В чем состоят сильные стороны каждого варианта исполнения лучистых систем отопления?

Газовые обогреватели. Светлые (высокоинтенсивные) излучатели (рис. 4.6). Тепловой КПД около 100 %. Монтаж на высотах до 17 м за счет высокоинтенсивного лучистого излучения. Отсутствие дымохода, стандартное, типовое оборудование. Отсутствие промежуточного теплоносителя, а, значит, нет протечек и разморозки.

Темные (низкоинтенсивные) излучатели (рис. 4.7). Отсутствие дымохода, стандартное, типовое оборудование. Разработки последних лет (2010–2011 гг.) предполагают использование конденсатных темных излучателей с высоким (до 80 %) общим тепловым КПД. Отсутствие промежуточного теплоносителя, а, значит, нет протечек и разморозки.



Рис. 4.6. Светлые газовые излучатели



Рис. 4.7. Темные газовые излучатели

Супертемные (ленточные) излучатели. Высокий лучистый КПД (до 80–85 %, при рециркуляции продуктов сгорания). Возможность обогревать сверхвысокие помещения (более 17 м). Отсутствие промежуточного теплоносителя, а, значит, нет протечек и разморозки. Меньше точек подключения газа и отвода продуктов сгорания.

Водяные излучающие потолочные панели (рис. 4.8): пожаро- и взрывобезопасность; бесшумность; возможность применить их не только для отопления, но и для охлаждения. Свободный выбор источника энергии (котельная на газе, жидком топливе, дровах (пеллетах), электрическая или использование теплового насоса).

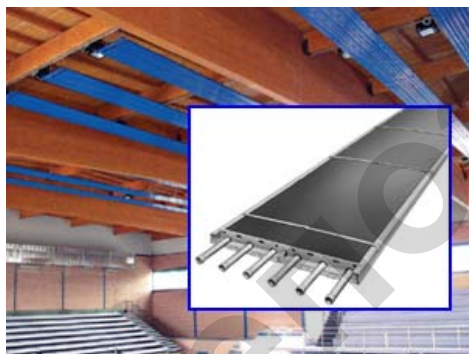


Рис. 4.8. Водяные излучающие потолочные панели

Электрические инфракрасные обогреватели: проектирование и монтаж без надзора со стороны Белтехнадзора. Ниже капитальные затраты. Отсутствие промежуточного теплоносителя, а, значит, протечек и разморозки.

4.52. В чем состоят сильные стороны каждого варианта исполнения воздушных систем отопления?

Газовые обогреватели. Смесительные газовые воздушонагреватели (прямой нагрев воздуха). Тепловой КПД около 100 %.

Рекуперативные газовые воздушонагреватели (для работы только с рециркулируемым воздухом). Стандартное, типовое оборудование. Тепловой КПД у конденсирующих воздушонагревателей около 80 %.

Рекуперативные газовые воздушонагреватели (с возможностью присоединения воздуховода или смесительной камеры). Возможность работы с приточным и рециркулируемым воздухом.

Все обогреватели характеризуются малой инерционностью, отсутствием дымохода и отсутствием промежуточного теплоносителя (а, значит, нет протечек и разморозки).

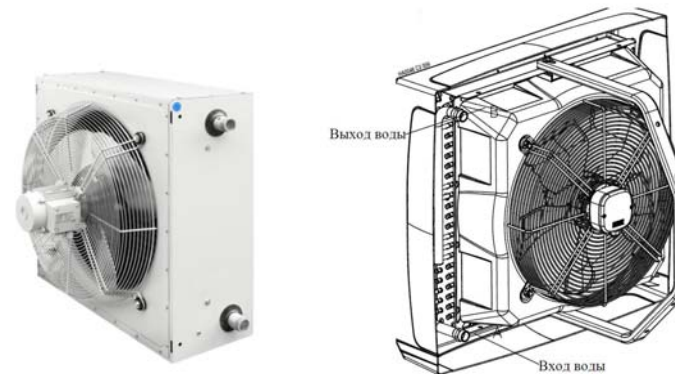


Рис. 4.9. Водяные обогреватели системы воздушного отопления фирмы *Aeromax*:

- 1 – воздушно-отопительный агрегат *A30 aeromax line*;
- 2 – воздушно-отопительный агрегат *Aqua* без диффузоров воздушной струи

Водяные воздушонагреватели (рис. 4.9): пожаробезопасность; широкий выбор вариантов исполнения (приточные, приточно-вытяжные); возможность применить их не только для отопления, но и для охлаждения. Свободный выбор источника энергии (котельная на газе, жидком

топливе, дровах (пеллетах), электрическая или использование теплового насоса).

Электрические воздушонагреватели: простота регулирования и исполнения, низкие капитальные затраты. Отсутствие промежуточного теплоносителя, а, значит, протечек и разморозки.

4.53. В чем состоят особенности использования лучистых систем отопления?

Газовые обогреватели. Светлые (высокоинтенсивные) излучатели. Рекомендуемая высота размещения обогревателей от 7 м, максимальная 15–17 м (при этом рекомендуется на каждый метр при монтаже обогревателя выше 7 м добавлять 5 % тепловой мощности системы лучистого отопления от расчетной, но не более 25 %).

Темные (низкоинтенсивные) излучатели. Рекомендуемая высота размещения обогревателей от 4 м, максимальная 10–12 м (при этом рекомендуется на каждый метр при монтаже обогревателя выше 7 м добавлять 5 % тепловой мощности системы лучистого отопления от расчетной, но не более 25 %).

Супертемные (ленточные) излучатели. Рекомендуемая высота размещения обогревателей от 4 м, максимальная 25–30 м.

Водяные излучающие потолочные панели: рекомендуемая высота размещения обогревателей от 2,5 м, максимальная до 40 м.

Электрические инфракрасные обогреватели: рекомендуемая высота размещения обогревателей от 2,5 м, максимальная до 10 м.

4.54. В чем состоят особенности использования воздушных систем отопления?

Для воздушонагревателей с осевыми вентиляторами, непосредственно размещаемых в помещениях (при горизонтальном размещении), оптимальная высота монтажа не более 3–4 м. При вертикальном монтаже с раздачей воздуха вертикальными струями максимальная высота монтажа стандартных воздушонагревателей и потолочных вентиляторов (дестратификаторов, см. рис. 4.10) до 18 м.

Дестратификаторы обеспечивают непрерывное перемешивание воздуха в пространствах больших (объемных) помещений, использующихся в промышленных и коммерческих целях. Их применение устраняет перекося температуры и влажности по высоте в помещении, т. е. снижают энергозатраты при эксплуатации системы отопления (кондиционирования).

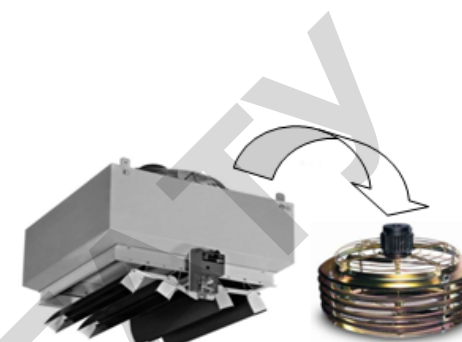


Рис. 4.10. Потолочные приточные вентиляционные установки с энергосберегающими вентиляторами (дестратификаторы)

Дестратификаторы монтируются на потолке (рис. 4.11) и управляются с помощью электрошита, оснащенного регулятором скорости. Скорость перемещения воздуха соответствует нормам по обеспечению гигиены помещений и не превышает 0,1 м/с. Горизонтальный поток воздуха не затрагивает людей и не приводит к перемещению пыли и других легких частиц.

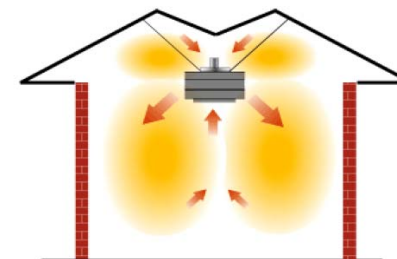


Рис. 4.11. Размещение дестратификаторов в помещении

Для воздушонагревателей с центробежными вентиляторами (приточных установок) нет принципиальных ограничений (кроме капитальных затрат) по организации забора воздуха под потолком (на любой высоте).

4.55. Что собой представляют воздушные завесы?

Воздушной завесой называют как сам поток воздуха, «запечатывающий» дверной проем, так и прибор, который этот поток создает (рис. 4.12, 4.13). Воздушные завесы предназначены для разделения зон с разной температурой по обе стороны открытых проемов рабочих окон, входных дверей и ворот.



Рис. 4.12. Принцип работы воздушной завесы

Правильно установленная воздушная завеса снижает потери тепла на 90 % и улучшает тепловой комфорт в помещении. Кроме очевидной экономии средств и энергии, воздушные завесы не допускают проникновения сквозняков, которые приводят к болезням сотрудников, сохраняют тепло и обеспечивают великолепную возможность магазинам держать двери открытыми в зимнее время года для привлечения покупателей.



а



б

Рис. 4.13. Воздушные завесы:
а – агрегаты серии *AB Airbloc* (Великобритания);
б – агрегаты серии *ACR* Голландской компании *Winterwarm*

В летнее время воздушные завесы могут работать без включения нагревательных элементов, оберегая охлаждаемые помещения от проникновения тепла и удерживая кондиционируемый воздух, защищая от попадания пыли и насекомых.

4.56. Что собой представляют тупиковые системы водяного отопления?

Тупиковые системы – системы, в которых вода, идущая по подающей магистрали, дойдя до последнего стояка, попадает как бы в тупик и, поступив в обратную магистраль, возвращается в тепловой центр уже в противоположном направлении.

4.57. Что собой представляют системы водяного отопления с попутным движением теплоносителя?

В системе с попутным движением вода и в подающей магистрали, и в обратной течет в одном направлении. Применение попутной схемы движения теплоносителя дает возможность уравнивать длину циркуляционных колец системы и поставить все отопительные приборы системы отопления в одинаковые условия.

4.58. Что такое длина циркуляционного кольца системы водяного отопления?

Длиной циркуляционного кольца называют путь, который проходит вода от котла или иного источника теплоты к отопительному прибору и обратно.

4.59. Когда целесообразно применять системы водяного отопления с естественной циркуляцией воды?

Системы с естественной циркуляцией воды обычно применяются в небольших зданиях, в квартирных (коттеджных) системах (рис. 4.14). В промышленных зданиях они встречаются крайне редко.

Циркуляция в таких системах отопления происходит непрерывно за счет разности плотностей горячей и охлажденной воды.

Чтобы полностью удалить воздух и выпустить воду из системы отопления, подающему трубопроводу придают уклон 0,005–0,01, а обратному – 0,005–0,002 по направлению движения теплоносителя.

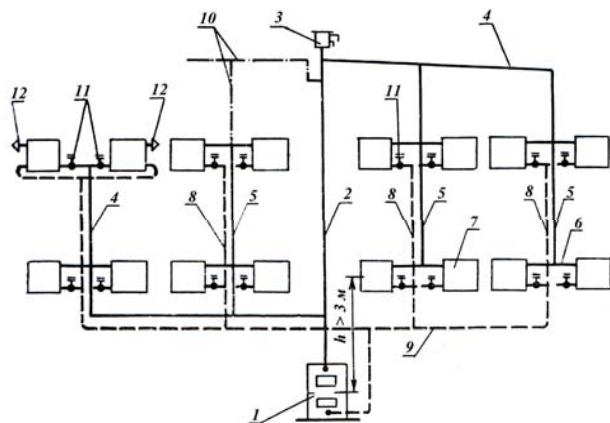


Рис. 4.14. Принципиальная схема двухтрубной системы отопления с тупиковым движением воды и естественной циркуляцией теплоносителя: 1 – источник теплоты (котел); 2 – главный стояк; 3 – расширительный бак; 4 – подающая магистраль; 5 – подающий стояк; 6 – подающий участок (к отопительному прибору); 7 – отопительный прибор; 8 – обратный стояк; 9 – обратная магистраль; 10 – воздушная линия (к воздухооборудованию); 11 – регулирующий кран; 12 – воздушный кран

Двухтрубные системы надежны в работе, обладают высокой гидравлической устойчивостью. Однако они более металлоемки и сложнее в монтаже. Применяют двухтрубные системы в основном в зданиях до двух этажей.

Системы водяного отопления с естественной циркуляцией теплоносителя весьма удобны для отдельных небольших зданий, получающих теплоту от собственной котельной. Радиус действия таких систем не превосходит 30 м. Эти системы надежны, бесшумны, просты в эксплуатации и не требуют затрат механической (электрической) энергии для повседневной работы.

Вертикальное расстояние от середины нагревательного прибора первого этажа до середины котла не менее 3 м.

4.60. Основные функции расширительного сосуда системы водяного отопления.

Поскольку объем воды при нагревании увеличивается, то для предотвращения повышения давления и возможных при этом аварий система отопления в самой высокой точке оборудована расширительным

сосудом (рис. 4.14, поз. 3), который сообщается с атмосферой. При заполнении системы водой через него удаляется воздух. Запас воды в расширительном сосуде служит для подпитки системы при ее охлаждении и для компенсации небольших утечек воды. Современные системы водяного отопления оборудуются, как правило, двумя типами сосудов расширения: открытыми (атмосферными) и закрытыми (мембранными).

4.61. Как устроены современные расширительные сосуды системы водяного отопления?

Расширительный сосуд открытого (атмосферного) типа (рис. 4.15) представляет собой металлический бак, к которому присоединяются четыре трубы. Расширительная труба, соединяет сосуд с системой отопления; сигнальная – для контроля уровня воды при подпитке системы; переливная (воздушная) – для слива избытка воды при переполнении сосуда и удаления воздуха из системы при заполнении ее водой. Циркуляционная труба, связанная с обратной магистралью служит для создания циркуляции через расширительный сосуд с целью предотвращения замерзания в нем воды.

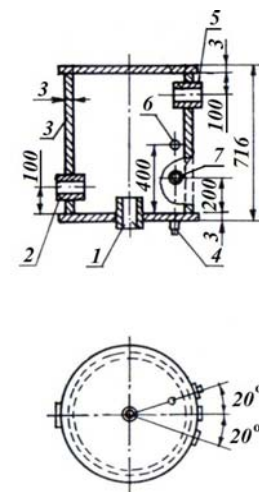


Рис. 4.15. Расширительный бак типа 1 EO10-5EO10 емкостью 100–400 л: 1 – патрубок расширительной трубы; 2 – патрубок циркуляционной трубы; 3 – корпус бака; 4 – спускной патрубок; 5 – патрубок переливной трубы; 6 – патрубок сигнальной трубы; 7 – патрубок контрольной трубы

Расширительный сосуд закрытого типа представлен на рис. 4.16. Принцип его действия легко понять по рис. 4.17.



Рис. 4.16. Расширительные баки VAREM мембранного типа (емкость от 2 до 700 л)

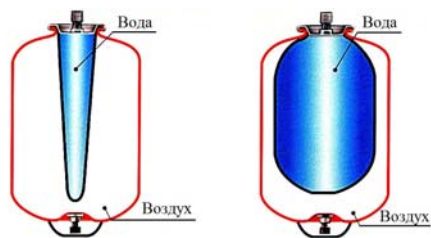


Рис. 4.17. Принцип работы расширительного бака мембранного типа

4.62. Как определить необходимую емкость расширительного сосуда системы водяного отопления?

Полезную емкость (объем воды между сигнальной и переливной трубами) расширительного сосуда открытого типа определяют по формуле:

$$V_{pc} = 0,045V_c,$$

где V_c – объем воды в системе отопления (сумма объемов воды в котле, нагревательных приборах и трубопроводах, рассчитанных с запасом 20–25 %).

Полезную емкость расширительного сосуда мембранного типа определяют по формуле:

$$V_{pc} = \frac{0,029V_c}{K_p},$$

где K_p – коэффициент, учитывающий колебание давлений (от минимального до максимального).

4.63. Как устроены системы водяного отопления с искусственной циркуляцией теплоносителя?

Если радиус действия системы водяного отопления больше 30 м, то вода циркулирует под напором, создаваемым насосом (устанавливается на обратной линии перед котлом).

Принципиальная схема двухтрубной системы отопления с верхней разводкой и насосной циркуляцией теплоносителя приведена на рис. 4.18. Выполнение такой же системы с нижней разводкой показано на рис. 4.20.

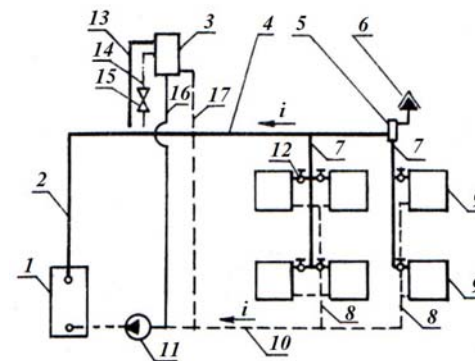


Рис. 4.18. Принципиальная схема двухтрубной системы отопления с верхней разводкой и насосной циркуляцией теплоносителя:

1 – источник теплоты (котел); 2 – главный стояк; 3 – расширительный бак; 4 – подающая магистраль; 5 – воздушный кран; 6 – воздушный кран; 7 – подающий стояк; 8 – обратный стояк; 9 – отопительный прибор; 10 – обратная магистраль; 11 – циркуляционный насос; 12 – регулирующий кран; 13 – переливная труба; 14 – сигнальная труба; 15 – вентиль; 16 – соединительная труба; 17 – циркуляционная труба

Подающий трубопровод имеет подъем не менее 0,002, благодаря чему вода и воздух, проникающий в систему, движется в одном направлении. В наивысшей точке подающей магистрали установлен воздухоотборник (рис. 4.19), из которого воздух выпускается в атмосферу. Расширительный сосуд присоединен к обратному трубопроводу перед насосом.

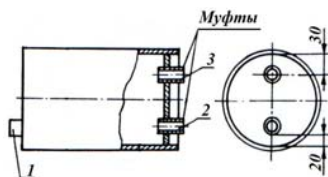


Рис. 4.19. Воздухоотборник проточный с плоским дном:

1 – патрубок для входа теплоносителя; 2 – патрубок для выхода теплоносителя;
3 – патрубок для выпуска воздуха

Основные преимущества систем водяного отопления с насосной циркуляцией: большой радиус действия; снижение капитальных затрат в результате применения труб меньших диаметров; дешевле монтаж трубопроводов.

Основные недостатки: потребность в более высокой квалификации обслуживающего персонала; расход электроэнергии на привод насоса; при длительной вынужденной остановке насоса из-за отсутствия электроэнергии необходим спуск воды из системы для предотвращения ее замерзания в зимнее время.

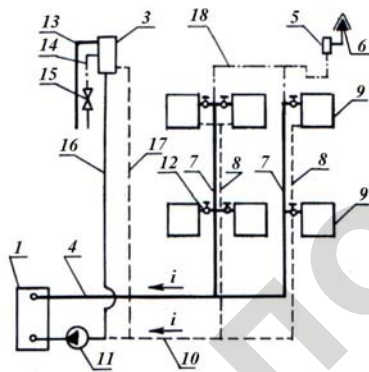


Рис. 4.20. Принципиальная схема двухтрубной системы отопления с нижней разводкой и насосной циркуляцией теплоносителя:
(поз. см. рис. 4.18; 18 – воздушная линия)

4.64. Как устроены горизонтальные однотрубные системы водяного отопления с искусственной циркуляцией теплоносителя?

Горизонтальные однотрубные системы водяного отопления (рис. 4.21) находят применение в промышленных и общественных зданиях большой протяженности (павильоны, залы, цеха и т. п.). Горизонтальные ветви системы получают воду из стояков, прокладываемых вертикально во вспомогательных помещениях.

Эти системы также могут быть проточными, с обходными участками и с комбинированным подключением отопительных приборов. Как правило, такие системы устраивают с насосной циркуляцией.

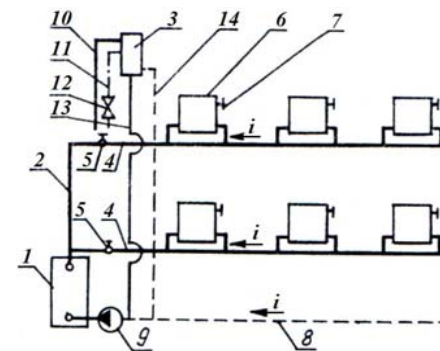


Рис. 4.21. Принципиальная схема горизонтальной однотрубной системы отопления с насосной циркуляцией теплоносителя:

1 – источник теплоты (котел); 2 – главный стояк; 3 – расширительный бак; 4 – подающая магистраль; 5 – регулирующий клапан; 6 – отопительный прибор; 7 – воздушный кран; 8 – обратная магистраль; 9 – циркуляционный насос; 10 – переливная труба; 11 – сигнальная труба; 12 – вентиль; 13 – соединительная труба; 14 – циркуляционная труба

Преимущество однотрубных систем перед двухтрубными состоит в том, что они требуют меньше затрат труда при монтаже и дают большую возможность для индустриализации монтажных работ.

4.65. Виды систем парового отопления.

В системах парового отопления теплоносителем является насыщенный пар, при конденсации которого в отопительных приборах

выделяется теплота фазового перехода. Количество выделяемой теплоты зависит от давления, при котором происходит конденсация пара. Существуют системы парового отопления:

- высокого давления (при избыточном давлении пара 0,07 МПа и выше);
- низкого давления (при избыточном давлении 0,005–0,07 МПа);
- вакуум-паровое отопление (при давлении пара ниже атмосферного).

4.66. Какие преимущества имеют системы парового отопления в сравнении с системами водяного отопления?

К основным преимуществам систем парового отопления по сравнению с системами водяного отопления относятся следующие:

- возможность перемещения пара с большими скоростями, что приводит к уменьшению сечений, а соответственно и к уменьшению расхода труб;
- более высокая температура пара и больший коэффициент теплоотдачи от пара к стенкам отопительных приборов приводят к уменьшению требуемых греющих площадей отопительных приборов;
- возможность быстрого нагрева помещений и быстрого прекращения работы системы;
- возможность применения систем отопления в зданиях любой этажности, т. к. высота столба пара, вследствие малой плотности пара, не создает повышенного гидростатического давления в нижних этажах здания и тем самым не ограничивает возможности применения чугунных отопительных приборов;
- меньшая опасность замерзания системы при условии обеспечения хорошего отвода конденсата из конденсатопроводов.

4.67. Какие недостатки имеют системы парового отопления в сравнении с системами водяного отопления?

Применение пара как теплоносителя для систем отопления допустимо не во всех случаях. Основной причиной этого является высокая температура пара (от 100 до 115 °С), которая влечет за собой следующие недостатки:

- невозможность регулирования теплоотдачи отопительных приборов путем изменения температуры теплоносителя; постоянство

температуры пара вынуждает устраивать перерывы в подаче пара, что приводит к колебанию температуры в помещениях и неудобствам в эксплуатации систем;

- загрязнение воздуха продуктами разложения органической пыли, оседающей на поверхности отопительных приборов и чрезмерная сухость воздуха в помещении;
- увеличение потерь теплоты транзитными теплопроводами;
- сокращение сроков службы трубопроводов систем парового отопления; при перерывах в подаче пара трубопроводы систем заполняются воздухом, что способствует усиленной коррозии внутренней поверхности паропроводов и конденсатопроводов.

Вследствие этих недостатков системы парового отопления нельзя применять в зданиях школ, в детских и лечебных учреждениях, в жилых и административных зданиях, а также в зданиях научных и проектных учреждений и ряде других.

Применение систем парового отопления допускается лишь: в коммунальных предприятиях (бани, прачечные); небольших зданиях зрелищных предприятий; спортивных сооружений; в небольших зданиях ресторанов (не более 500 м³); столовых и магазинов. А также, в промышленных предприятиях, где при технологическом процессе могут выделяться невзрывоопасная, негорючая органическая и неорганическая пыль и не поддерживающие горение газы, а также в бытовых помещениях промышленных предприятий.

Системы парового отопления выполняются двухтрубными.

4.68. Как устроены системы парового отопления низкого давления?

Системы парового отопления низкого давления могут быть замкнутыми (рис. 4.22) и открытыми (рис. 4.23).

Расстояние от котла до конденсатопровода выбирается в зависимости от избыточного давления пара и служит для уравнивания избыточного давления пара в котле (например, при $P_{из} = 0,02$ МПа, $h > 2$ м).

Для получения пара используют котлы с паросборником, из которого пар по главному стояку поступает в разводящие магистрали, а из них по стоякам в отопительные приборы. Пар в отопительных приборах конденсируется, а конденсат собирается в общий конденсатопровод и возвращается в котел. Для выхода воздуха из

трубопроводов системы при заполнении ее паром служит воздушная труба; через эту же трубу система трубопроводов заполняется воздухом при прекращении подачи пара в них.

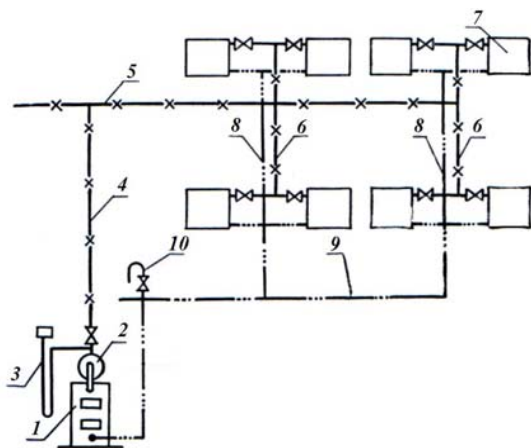


Рис. 4.22. Принципиальная схема замкнутой системы парового отопления низкого давления:

- 1 – паровой котел; 2 – паровой барабан; 3 – гидравлический затвор; 4 – подающая магистраль; 5 – паропровод; 6 – подающий стояк; 7 – отопительный прибор; 8 – обратный стояк; 9 – конденсатопровод; 10 – воздушная труба

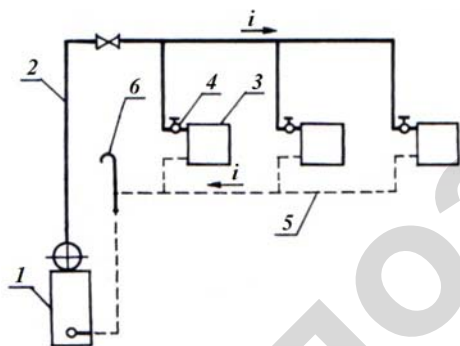


Рис. 4.23. Принципиальная схема открытой (разомкнутой) системы парового отопления низкого давления:

- 1 – паровой котел; 2 – паропровод; 3 – отопительный прибор; 4 – регулирующий вентиль; 5 – конденсатопровод; 6 – воздушная труба

Для того чтобы сборный конденсатопровод не заполнялся конденсатом полностью, высота прокладки его над уровнем воды в паросборнике должна быть на 0,3–0,35 м больше высоты столба воды, уравновешивающего давление в котле.

Каждый котел системы парового отопления низкого давления должен быть снабжен предохранительным устройством, срабатывающим при повышении давления в котле выше заданного.

При невозможности установки котла ниже отопительных приборов применяют открытую (разомкнутую) схему парового отопления низкого давления. Отличие этой системы от замкнутой состоит в том, что конденсат попадает не непосредственно в котел, а собирается в специальный конденсаторный бак через конденсатоотводчик (пропускающий только конденсат, но не пропускающий пар). Возврат конденсата производится насосом.

На подводках к отопительным приборам для возможности их выключения или регулирования теплоотдачи устанавливаются паровые вентили.

При наличии пара, но недопустимости устройства парового отопления в здании, осуществляют комбинированные пароводяные системы отопления. Устройство пароводяных систем оправдывается только в тех случаях, когда пар, вырабатываемый в котельной, используется не только для нужд отопления. Следует учитывать, что паровые системы отопления сложны в эксплуатации, а срок их службы меньше, чем систем водяного отопления.

Принципиальная схема горизонтальной системы парового отопления показана на рис. 4.24.

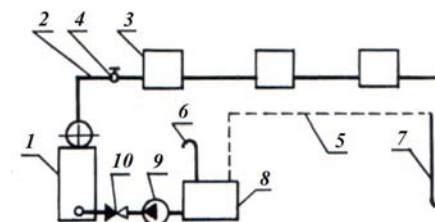


Рис. 4.24. Принципиальная схема горизонтальной системы парового отопления низкого давления:

- 1 – паровой котел; 2 – паропровод; 3 – отопительный прибор; 4 – регулирующий вентиль; 5 – конденсатопровод; 6 – воздушная труба; 7 – гидравлический затвор; 8 – конденсатный бак; 9 – конденсатный насос; 10 – обратный клапан

4.69. Как устроены системы парового отопления высокого давления?

Принципиальная схема системы парового отопления высокого давления приведена на рис. 4.25.

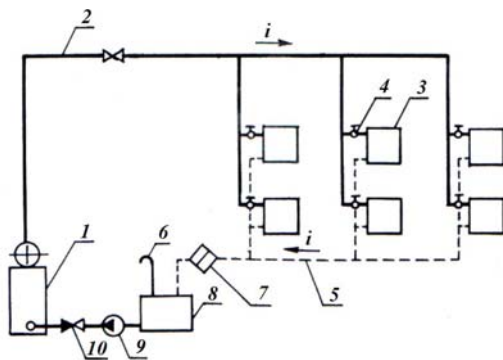


Рис. 4.25. Принципиальная схема системы парового отопления высокого давления:

1 – паровой котел; 2 – паропровод; 3 – отопительный прибор; 4 – регулирующий вентиль; 5 – конденсатопровод; 6 – воздушная труба; 7 – конденсатоотводчик; 8 – конденсатный бак; 9 – конденсатный насос; 10 – обратный клапан

4.70. Что такое отопительный прибор?

Отопительный прибор – устройство, предназначенное для передачи теплоты от теплоносителя к воздуху и ограждающим конструкциям отапливаемого помещения.

4.71. Какие требования предъявляются к отопительным приборам?

Отопительные приборы должны удовлетворять определенным требованиям, к которым относятся:

- теплотехнические (оцениваются главным образом коэффициентом теплопередачи);
- санитарно-гигиенические (прежде всего ограничение температуры поверхности нагревательных приборов; для жилых зданий она не должна превышать 95 °С);

– технико-экономические (определяются первоначальной стоимостью нагревательного прибора, отнесенной к единице полезно передаваемой теплоты).

Кроме того, современные нагревательные приборы должны соответствовать эстетическим требованиям: быть компактными, удобными для осмотра, уборки и по конструкции и отделке соответствовать отапливаемому помещению.

4.72. Какие существуют типы современных отопительных приборов?

Отопительные приборы разделяются на два вида: металлические и неметаллические. Основными типами металлических отопительных приборов являются:

– *чугунные радиаторы* (рис. 4.26, 4.27). Отдельные секции, отливаемые из серого чугуна, соединяются между собой ниппелями, имеющими на одной своей половине наружную правую, а на другой половине левую резьбу. Изготовление радиаторов в виде секций позволяет собирать отопительный прибор любой расчетной поверхности. Однако следует помнить, что увеличение количества секций, соединенных последовательно, приводит к уменьшению общего коэффициента теплопередачи отопительного прибора по двум основным причинам: большая площадь сечения колонок радиаторов предопределяет весьма малые скорости движения теплоносителя в них, чем в значительной степени снижается величина теплоотдачи от теплоносителя к внутренней поверхности колонки радиатора; значительная часть греющей площади радиатора, собираемого из отдельных элементов, подвержена взаимному облучению и вследствие этого из результирующего теплообмена излучением исключается около 75 % площади. Относительное уменьшение теплоотдачи излучением сказывается тем больше, чем больше количество элементов имеет отопительный прибор;



Рис. 4.26. Современные чугунные радиаторы

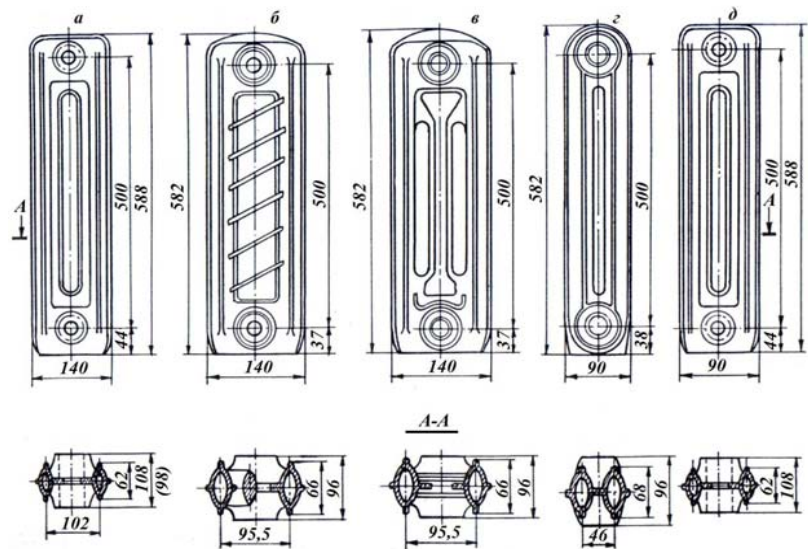


Рис. 4.27. Чугунные радиаторы (секции):
 а – МС-140-108; б – М-140-АО; в – М-140А; г – М-90; д – МС-90-108

– *чугунные ребристые трубы* (рис. 4.28). Они выполняются с круглыми ребрами, нашли применение в системах отопления промышленных зданий. Ребра увеличивают поверхность нагрева и понижают температуру на ней. Чугунные ребристые трубы являются наиболее дешевыми нагревательными приборами;

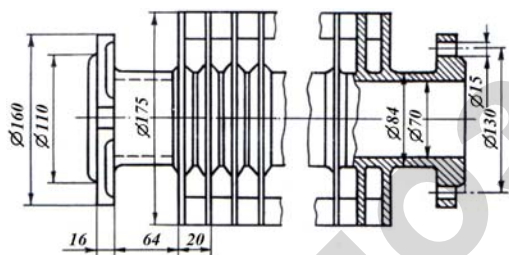


Рис. 4.28. Чугунная ребристая труба

– *приборы из гладких стальных труб (регистры)*. Они менее экономичные, чем чугунные (рис. 4.29);

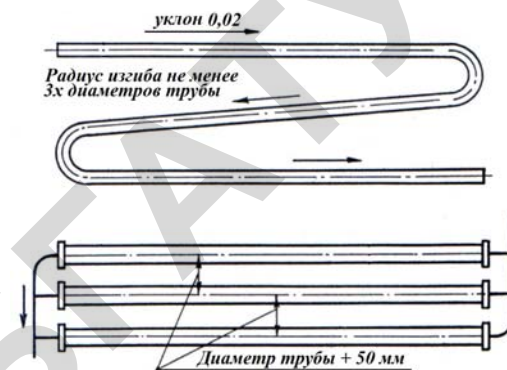


Рис. 4.29. Стальная труба (регистр)

– *стальные штампованные радиаторы* (рис. 4.30). Прибор предназначен для применения в системах водяного отопления. Недостаток – быстрая коррозия в условиях эксплуатации;

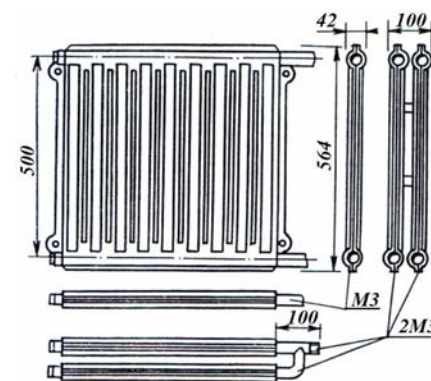


Рис. 4.30. Стальной штампованный радиатор

– *алюминиевые штампованные радиаторы* (рис. 4.31). Данный вид отопительных приборов является наиболее «молодым». Они представляют собой преамники чугунных радиаторов отопления. Изготовление алюминиевых секционных радиаторов проводится на современном технологическом уровне. Эти отлитые из алюминия приборы обладают высоким уровнем теплоотдачи. Их лицевая панель является идеально плоской поверхностью, хорошо излучающей тепло. Верхняя часть секций оснащена «кошками», сквозь которые проходит нагретый

воздух, синтезируя тем самым интенсивный конвективный поток. Емкость одной секции составляет около 0,25 л, а вес – около 1 кг. Благодаря данным качествам алюминиевые радиаторы отопления весьма быстро прогревают помещение, а также быстро реагируют на изменения параметров регулировки. Данные радиаторы рассчитаны на довольно широкий диапазон давлений. Рабочее давление большинства моделей составляет 9 ати;



Рис. 4.31. Алюминиевые штампованные радиаторы

– *биметаллические радиаторы*. Их изготавливают из алюминия (внешний корпус) и стали («начинка» радиатора). Благодаря сочетанию металлов, он может использоваться в системе с любым давлением;

– *конвекторы* (рис. 4.32). Состоят из двух конструктивных элементов: трубы, по которой перемещается теплоноситель, и насаженных на нее стальных пластин (оребрение), составляющих основную поверхность нагревательного прибора;

– *стальные трубчатые радиаторы* (рис. 4.33). Сравнительно новый и активно развивающийся тип приборов, которые обеспечивают отопление. В них входной и выходной коллекторы соединены рядом стальных трубок (обычно диаметром 25 мм) без всякого оребрения. Толщина металла не превышает 1,5 мм. Приборы отлично держат рабочее давление в 10–12 ати и противостоят коррозии. Они обладают небольшим гидравлическим сопротивлением и пригодны для городских домов. Плавные закругления трубок снижают травмоопасность и помогают создать ажурные конструкции, хорошо вписывающиеся в любые интерьеры и обеспечивающие отопление дома. При этом приборы гигиеничны и легко чистятся;

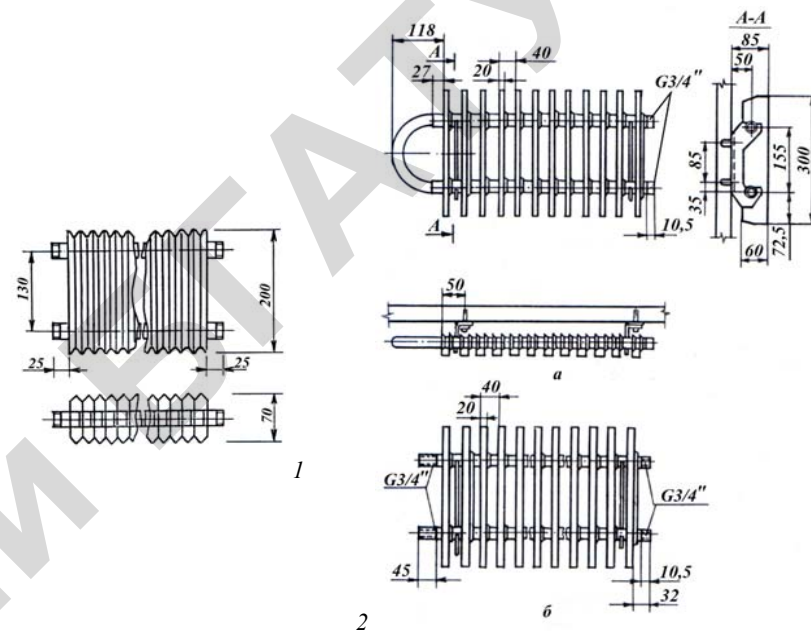


Рис. 4.32. Конвекторы:
1 – конвектор «Прогресс» тип 20К1; 2 – концевой (а) и проходной (б) конвектор «Аккорд-1»



Рис. 4.33. Стальные трубчатые радиаторы

– *панельные стальные радиаторы* (рис. 4.34). Они изготавливаются из двух стальных пластин, толщиной 1,25 мм и соединяются сваркой. Большая площадь пластин увеличивает теплоизлучение радиаторов

и, как следствие, всей системы отопления. Радиатор обычно закрывают кожухом, что придает радиатору нарядно-строгий вид. Такие радиаторы работают при давлении до 10 атм, отдают тепла примерно на 20–25 % больше, а стоят намного дешевле, чем алюминиевые секционные радиаторы. Помимо стандартного монтажного комплекта, который поставляется вместе с радиатором, есть широкая гамма комплектов, позволяющая устанавливать их в напольном исполнении с регулированием расстояния от пола;



Рис. 4.34. Панельные стальные радиаторы

– *дизайн-радиаторы* (рис. 4.35). Термин «дизайн-радиатор» – новый, неустоявшийся. Часто его воспринимают как собирательное название радиаторов с необычным оформлением, а не как обозначение особого типа отопительных приборов, выполняющих двойную функцию: отопление и дизайн. Потребителям важен дизайн интерьера, поэтому белые прямоугольники панельных и алюминиевых радиаторов их перестают привлекать. Многие прячут в нишах за декоративными решетками даже современные отопительные конструкции. Кстати, небесполезно отметить, что при этом комната недополучает от прибора до 25 % его номинального тепла.

К неметаллическим нагревательным приборам относятся:

– *керамические и фарфоровые радиаторы*. Широкого практического применения не получили в основном из-за отсутствия надежного и простого способа присоединения приборов к металлическим трубопроводам. Они очень дороги, недолговечны, подвержены механическому воздействию, процесс изготовления трудоемок;

– *бетонные отопительные панели* (рис. 4.36). Они представляют собой бетонные плиты с заделанными в них змеевиками из труб. Они бывают: подоконные и перегородочные. Отопительные панели могут быть приставными и встроенными в конструкцию стен и перегородок. Бетонные панели отвечают самым строгим санитарно-гигиеническим требованиям и строительным требованиям. К недостаткам относятся: трудность ремонта, большая тепловая инерция,

усложняющая регулирование теплоотдачи, увеличение теплопотерь через дополнительно обогреваемые наружные конструкции зданий. Применяют преимущественно в лечебных учреждениях: операционных, родильных домах, детских комнатах.



Рис. 4.35. Дизайн-радиаторы (один из многочисленных типов)

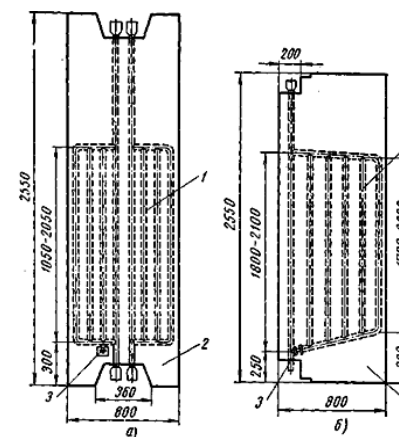


Рис. 4.36. Перегородочные бетонные отопительные панели: а – для двухтрубной системы отопления; б – для однотрубной системы отопления; 1 – водяные трубы (нагревательные элементы); 2 – бетонная панель; 3 – регулировочный кран

4.73. Какими достоинствами обладают чугунные радиаторы?

Достоинством чугунных радиаторов является то, что до 70 % теплового потока у них распределяется через излучение (радиацию) и только 30 % через конвекцию.

Большая доля радиационной составляющей обеспечивает более равномерный прогрев как нижней, так и верхней зон помещения. Современная медицина считает, что наиболее благоприятным для здоровья видом передачи тепловой энергии является лучистый или радиационный.

Большинство чугунных радиаторов рассчитано на рабочее давление до 9 ати, и испытательное до 15 ати. Исключение составляют белорусские марки 2К-60П-300 и 2К-60П-500, у которых эти значения декларируются заводом-изготовителем 12 ати и 18 ати соответственно.

4.74. Какие недостатки имеют чугунные радиаторы?

Недостатки чугунных радиаторов:

- большая масса (вес одной секции до 8 кг);
- значительная тепловая инерционность;
- трудности с удалением пыли из-за маленького зазора между секциями;
- шероховатая поверхность лицевых панелей, а также наличие острых углов;
- необходимость произведения протяжки межсекционных соединений перед установкой.

4.75. Расчет отопительных приборов.

Расчет отопительных приборов состоит в определении поверхности, под которой понимается поверхность нагревательного прибора, омываемая воздухом помещения.

Суммарная площадь поверхности нагрева приборов (m^2) определяется по формуле:

$$A_p = \frac{\Phi_{\text{ПР}}}{K_{\text{ПР}} (t_{\text{ПР}} - t_{\text{В}}) \beta_4} \beta_1 \beta_2 \beta_3,$$

где $\Phi_{\text{ПР}}$ – тепловой поток, отдаваемый прибором.

$$\Phi_{\text{ПР}} = \Phi_{\text{ОТ}} - \Sigma \Phi_{\text{ТР}},$$

где $\Phi_{\text{ОТ}}$ – тепловой поток (мощность) на отопление помещения;

$\Phi_{\text{ТР}}$ – тепловой поток, учитывающий теплоотдачу открытых трубопроводов, проложенных в отапливаемых помещениях:

$$\Phi_{\text{ТР}} = \pi d l K_{\text{ТР}} (t_{\text{ТР}} - t_{\text{В}}) \varphi,$$

где d, l – наружный диаметр и длина трубопровода;

$K_{\text{ТР}}$ – коэффициент теплопередачи трубопровода;

$t_{\text{ТР}}$ – средняя температура теплоносителя в трубопроводе;

$t_{\text{В}}$ – расчетная температура воздуха в помещении;

φ – коэффициент, зависящий от места расположения трубопровода в помещении (принимается 0,25–1,0);

$K_{\text{ПР}}$ – коэффициент теплопередачи прибора, зависящий от вида теплоносителя, разности температур ($t_{\text{ПР}} - t_{\text{В}}$) и определяемый экспериментальным путем;

$t_{\text{ПР}}$ – средняя температура теплоносителя в приборе (для водяных систем $t_{\text{ПР}} = 0,5(t_{\text{ВХ}} + t_{\text{ВЫХ}})$; при расчете нагревательных приборов паровых систем отопления низкого давления $t_{\text{ПР}} = 100^\circ\text{C}$, а высокого давления – принимается равной температуре пара в зависимости от давления перед нагревательным прибором);

β_1 – поправочный коэффициент, учитывающий способ установки отопительного прибора (в нише, на стенке, в один ряд и т. п.); принимается 0,9–1,25 (см. рис. 4.37);

β_2 – поправочный коэффициент, учитывающий влияние остывания воды в трубопроводах (принимается 1,0–1,1);

β_3 – поправочный коэффициент на количество секций в радиаторах (принимается 0,95–1,1);

β_4 – поправочный коэффициент, зависящий от вида присоединения радиатора к трубопроводам системы отопления и от расхода воды в приборе, принимается 0,91–1,23 (рис. 4.38).

Следует учитывать, что если теплоноситель пар, то для всех приборов $\beta_4 = 1$; если же теплоноситель – вода, то для ребристых труб и регистров из гладких труб $\beta_4 = 1$.

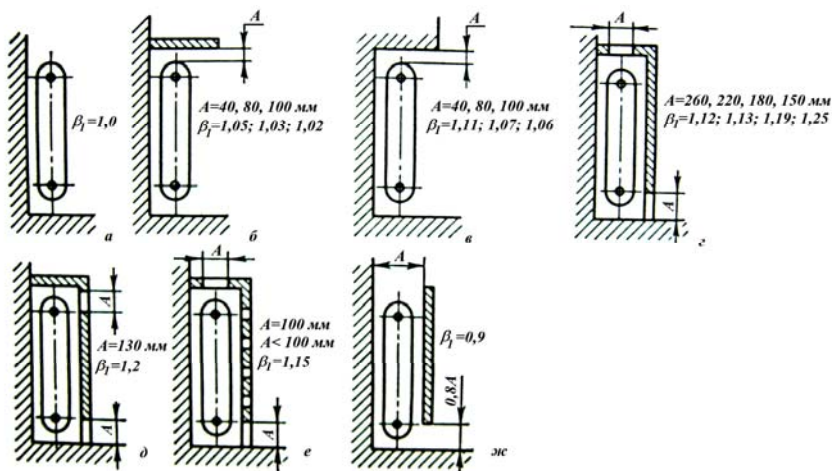


Рис. 4.37. Типовые схемы размещения отопительных приборов:
 а – у стен без ниш; б – прибор под подоконником; в – в стенной нише; з – прибор расположен в укрытии со щелями у пола и в верхней доске; д – прибор расположен в укрытии и с открытыми щелями у пола и в верхней части; е – прибор закрыт решеткой (у пола и в верхней доске имеются отверстия); ж – прибор закрыт экраном

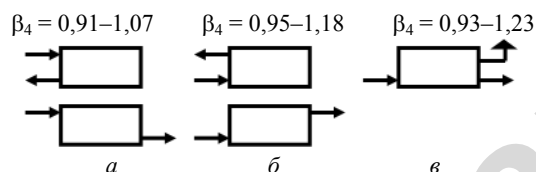


Рис. 4.38. Основные схемы присоединения отопительных приборов к стоякам системы отопления, применяемые в настоящее время:
 а – «сверху–вниз»; б – «снизу–вверх»; в – «снизу–вниз»

4.76. Как присоединяются отопительные приборы в вертикальных системах водяного отопления?

Присоединение отопительных приборов осуществляется с учетом схемы системы отопления и согласно рис. 4.39.

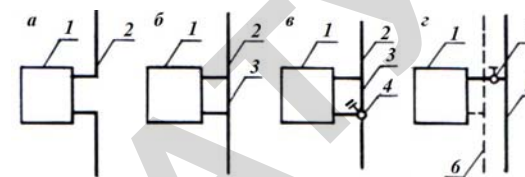


Рис. 4.39. Схемы присоединения отопительных приборов в вертикальных системах отопления (а – однотрубная проточная; б – однотрубная с замыкающими участками; в – однотрубная с регулирующим трехходовым краном; з – двухтрубная):
 1 – отопительный прибор; 2 – однотрубный стояк; 3 – замыкающий участок; 4 – регулирующий трехходовой кран; 5 – подающий стояк; 6 – обратный стояк; 7 – регулирующий кран

4.77. Как присоединяются отопительные приборы в горизонтальных системах водяного отопления?

Присоединение отопительных приборов осуществляется с учетом схемы системы отопления и согласно рис. 4.40, 4.41.

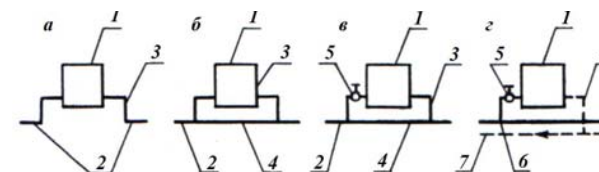


Рис. 4.40. Схемы присоединения отопительных приборов в вертикальных системах отопления (а – однотрубная проточная; б – однотрубная с замыкающими участками; в – однотрубная с регулирующим трехходовым краном; з – двухтрубная):
 1 – отопительный прибор; 2 – горизонтальный трубопровод; 3 – подводы к прибору; 4 – замыкающий участок; 5 – регулирующий кран; 6 – подающий трубопровод; 7 – обратный трубопровод

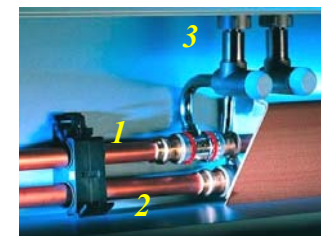


Рис. 4.41. Схема присоединения современного отопительного прибора к двухтрубной горизонтальной системе отопления:
 1 – подающий трубопровод; 2 – обратный трубопровод; 3 – отопительный прибор (панельный радиатор)

4.78. Что называется вентиляцией?

Вентиляция – обмен воздуха в помещениях для удаления избытков теплоты, влаги, вредных и других веществ, с целью обеспечения допустимых параметров микроклимата и чистоты воздуха в обслуживаемой или рабочей зоне.

4.79. Что такое обслуживаемая и рабочая зоны?

Обслуживаемая зона (зона обитания) – пространство в помещении, ограниченное плоскостями, параллельными полу и стенам: на высоте 0,1 и 2 м над уровнем пола, на расстоянии 0,5 м от внутренних поверхностей наружных и внутренних стен, окон и отопительных приборов.

Рабочая зона – пространство в помещении, ограниченное по высоте 2 м над уровнем пола или площадки, на которых находятся места пребывания работающих.

4.80. Что является вредными выделениями в животноводческих помещениях?

Основными вредными выделениями, которые образуются в животноводческих помещениях, являются влага, углекислый газ и избыточная теплота. Их количество зависит от вида, возраста, массы и количества животных, а так же от температуры внутреннего воздуха.

4.81. Как определить поступление влаги от животных?

Влага испаряется с кожного покрова животных, а так же со слизистых оболочек дыхательных путей и ротовой полости. Влаговыделения животными $W_{ж}$, кг/ч, следует определять по формуле:

$$W_{ж} = K_t'' W'n \cdot 10^{-3},$$

где K_t'' – температурный коэффициент влаговыделений;
 W' – влаговыделения одним животным, г/ч;
 n – число голов.

4.82. Что такое дополнительные влаговыделения в помещении?

Дополнительные влаговыделения – это поступления влаги с открытых водных и смоченных поверхностей. Открытыми водными считают поверхности водного зеркала навозного лотка и поилок. Смоченными являются поверхности подстилки, решетчатого пола, участки пола на расстоянии 0,5 м от навозного лотка.

4.83. Как определить дополнительные влаговыделения в животноводческих помещениях?

В помещениях для содержания крупного рогатого скота и свиней дополнительные влаговыделения $W_{доп}$, кг/ч, принимают:

– в холодный период и для переходных условий года:

$$W_{доп} = 0,1W_{ж};$$

– в теплый период года:

$$W_{доп} = 0,25W_{ж}.$$

4.84. Как определить дополнительные влаговыделения в птицеводческих помещениях?

В помещениях для содержания птицы дополнительные влаговыделения $W_{доп}$, кг/ч, следует определять с учетом усушки помета по формуле:

$$W_{доп} = 0,05W_{ж} + \frac{nPz \cdot 10^{-3}}{24K},$$

где P – масса помета от одной птицы, г/сут;
 z – доля усушки помета за одни сутки;
 K – число уборки помета в сутки.

4.85. Как найти количество выделений углекислого газа животными?

Углекислый газ выделяется в результате дыхания животных. Его количество V_{CO_2} , л/ч, следует определять по формуле:

$$V_{CO_2} = K_t''' V'_{CO_2} n,$$

где K_t''' – температурный коэффициент выделения углекислого газа;

V'_{CO_2} – выделения углекислого газа одним животным, л/ч.

4.86. Как определить количество избыточной теплоты в помещении?

Избыточная теплота представляет собой сумму всех теплоступлений в помещение за вычетом теплопотерь в нем. Тепловой поток теплоизбытков Φ , кВт, в животноводческих помещениях следует определять:

– в холодный период года:

$$\Phi = \Phi_O - \Phi_{ТП};$$

– для переходных условий года:

$$\Phi = \Phi_O - \Phi_{ТП}^{(II)};$$

– в теплый период года:

$$\Phi = \Phi_O + \Phi_{С.Р},$$

где Φ_O – тепловой поток полных тепловыделений животными в рассматриваемый период года, кВт;

$\Phi_{ТП}$ и $\Phi_{ТП}^{(II)}$ – тепловые потоки теплопотерь через ограждающие конструкции помещения в холодный период и переходные условия года, кВт;

$\Phi_{С.Р}$ – тепловой поток от солнечной радиации, кВт.

4.87. Что такое система вентиляции?

Система вентиляции – совокупность взаимосвязанных технических элементов и устройств, предназначенных для обработки, транспортирования, подачи и удаления воздуха.

Выбор системы вентиляции зависит от назначения здания, его этажности, характера помещений и наличия вредных выделений. При этом необходимо учитывать санитарно-гигиенические и технологические требования, а также экономические факторы.

4.88. Как подразделяются системы вентиляции по назначению?

По назначению системы вентиляции подразделяются на приточные, вытяжные и приточно-вытяжные.

Приточные системы вентиляции предназначены для подачи чистого атмосферного воздуха в помещения, а вытяжные – для удаления загрязненного (отработанного) воздуха из помещений. Приточно-вытяжные системы обеспечивают одновременно подачу чистого и удаление загрязненного воздуха.

4.89. Как подразделяются системы вентиляции по способу организации воздухообмена?

В зависимости от способа организации воздухообмена различают общеобменные, местные и смешанные системы вентиляции.

Общеобменная вентиляция осуществляет обмен воздуха во всем объеме помещения. При этом вредные вещества разбавляются до предельно допустимых концентраций, а избытки теплоты и влаги ассимилируются (поглощаются) чистым воздухом.

Местная вентиляция обеспечивает подачу воздуха в определенную часть помещения или удаление его непосредственно от технологического оборудования, которое является источником вредных выделений. Местные системы вентиляции достигают максимального эффекта при минимальном количестве воздуха, но их устройство не всегда возможно.

Смешанные системы представляют собой комбинации общеобменной вентиляции с местной.

4.90. Как подразделяются системы вентиляции по конструктивному исполнению?

По конструктивному исполнению различают канальные и бесканальные системы вентиляции. В канальных системах воздух перемещается по разветвленной сети каналов (воздуховодов), а в бесканальных – вентиляция осуществляется через проемы в наружных ограждающих конструкциях.

4.91. Как подразделяются системы вентиляции по способу побуждения движения воздуха?

В зависимости от способа побуждения движения воздуха различают системы вентиляции с естественным и искусственным побуждением.

В системах с естественным побуждением воздух перемещается под действием естественных сил природы – гравитационного и ветрового давлений. При этом естественная вентиляция может быть неорганизованной и организованной. Неорганизованная вентиляция обусловлена фильтрацией воздуха через наружные ограждающие конструкции. Организованная вентиляция (аэрация) осуществляется через специально предусмотренные регулируемые проемы в наружных ограждениях.

В системах с искусственным побуждением воздух перемещается с помощью вентилятора. В соответствии с [2] искусственную вентиляцию следует предусматривать:

- если параметры микроклимата и чистота воздуха не могут быть обеспечены вентиляцией с естественным побуждением;
- для помещений без проветривания.

4.92. Что такое воздухообмен?

Воздухообмен – частичная или полная замена загрязненного воздуха в помещении чистым атмосферным воздухом. Расчетный воздухообмен должен обеспечивать нормируемые параметры микроклимата и чистоту воздуха в обслуживаемой или рабочей зоне помещения во все периоды года.

4.93. Как определить воздухообмен в животноводческих помещениях?

Расчет воздухообмена в животноводческих помещениях сводится к определению расхода приточного воздуха. Расход воздуха следует определять отдельно для холодного и теплого периодов года и переходных условий.

В холодный период года расход воздуха определяют по избыткам влаги (водяного пара), количеству углекислого газа и норме минимального воздухообмена. В качестве расчетного воздухообмена следует принимать большую из трех полученных величин.

Для переходных условий года расход воздуха рассчитывают из условия одновременного удаления избыточной теплоты и влаги. При этом воздухообмен принимают равным расчетному, но не меньше его значения для холодного периода года.

В теплый период года расход воздуха определяют из условия одновременного удаления избыточной теплоты и влаги, а также по норме минимального воздухообмена. Расчетный воздухообмен принимают равным большей из двух полученных величин.

4.94. Как определить расход приточного воздуха по избыткам влаги?

Расход приточного воздуха L_B , м³/ч, по избыткам влаги (водяного пара), а также по условию одновременного удаления избыточной теплоты и влаги следует определять по формуле:

$$L_B = \frac{W \cdot 10^3}{\rho(d_B - d_H)},$$

где W – влаговыделения в помещении, определяемые как сумма поступлений влаги от животных и дополнительных влаговыделений, кг/ч;
 ρ – плотность воздуха, кг/м³;
 d_B и d_H – влагосодержания внутреннего и наружного воздуха, г/кг.

4.95. Как определить расход приточного воздуха по количеству углекислого газа?

Расход приточного воздуха L_B , м³/ч по количеству углекислого газа следует определять по формуле:

$$L_B = \frac{V_{CO_2}}{C_B - C_H},$$

где C_B – предельно допустимая концентрация углекислого газа в помещении, л/м³;

C_H – концентрация углекислого газа в наружном воздухе, л/м³.

4.96. Как определить расход приточного воздуха по норме минимального воздухообмена?

Расход приточного воздуха L_B , м³/ч, по норме минимального воздухообмена следует определять по формуле:

$$L_B = nlm \cdot 10^{-2},$$

где l – норма минимального воздухообмена на 1 кг живой массы животных, м³/ч;

m – масса одного животного, кг.

4.97. Что такое предельно допустимые концентрации вредных веществ?

Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ – концентрации вредных веществ в воздухе, которые не могут вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья настоящего и последующего поколений.

Значения ПДК в помещениях для содержания животных следует принимать в соответствии с нормами технологического проектирования животноводческих зданий.

4.98. Как рассчитать воздухообмен при местных отсосах?

Местные отсосы представляют собой разнообразные укрытия (вытяжные зонты, шкафы и т. п.) источников вредных выделений. Они предназначены для локализации вредных выделений у места их образования и удаления загрязненного воздуха за пределы помещения. Количество воздуха, удаляемого местными отсосами, зависит от типа укрытия, характера технологического процесса и вида вредных выделений.

В общем случае расход воздуха L_B , м³/ч, удаляемого местным отсосом, может быть определен по формуле:

$$L_B = 3600 Fv,$$

где F – площадь расчетного сечения укрытия, м²;

v – средняя скорость воздуха в расчетном сечении укрытия, м/с.

4.99. Что такое кратность воздухообмена?

Кратность воздухообмена – количество смен воздуха в помещении за единицу времени.

Расход воздуха L_B , м³/ч, по нормируемой кратности воздухообмена следует определять по формуле:

$$L_B = n_B V_{П},$$

где n_B – нормируемая кратность воздухообмена, 1/ч;

$V_{П}$ – объем помещения, м³.

Кратность воздухообмена устанавливают на основании практического опыта и применяют в том случае, когда нельзя расчетным путем определить количество вредных выделений в помещении. Значение n_B зависит от назначения помещения и приводится в соответствующих нормативных документах.

4.100. Как организуется распределение приточного и вытяжного воздуха?

Распределение приточного воздуха и удаление воздуха из помещений следует предусматривать с учетом использования этих помещений в течение суток или года, а также с учетом переменных поступлений теплоты, влаги и вредных веществ.

В производственные помещения приточный воздух следует подавать в рабочую зону из воздухораспределителей:

– горизонтальными струями, выпускаемыми в пределах или выше рабочей зоны;

– наклонными к низу струями на высоте 2 м и более от пола;

– вертикальными струями на высоте 4 м и более от пола.

В помещениях с выделениями пыли приточный воздух следует подавать струями, направленными сверху вниз из воздухораспределителей, расположенных в верхней зоне.

Удаление воздуха из помещений организуют из зон, в которых воздух наиболее загрязнен или имеет наиболее высокую температуру. При выделении пыли удаление воздуха системами общеобменной вентиляции следует предусматривать из нижней зоны. В этом случае воздухоприемные отверстия размещают на высоте не более 0,3 м от пола до низа отверстий.

Для удаления избытков теплоты, влаги и вредных газов системами общеобменной вентиляции воздухоприемные отверстия следует размещать под перекрытием на высоте не менее 2 м от пола.

4.101. Из каких конструктивных элементов состоит система приточной вентиляции с искусственным побуждением?

Системы приточной вентиляции с искусственным побуждением конструктивно состоят из следующих элементов:

- воздухоприемного устройства;
- приточной камеры;
- воздуховодов и воздухораспределителей;
- регулирующих устройств.

4.102. Конструкция воздухоприемного устройства.

Воздухоприемное устройство (рис. 4.42) предназначено для забора наружного воздуха. Его выполняют в виде приточной шахты или проема в наружной стене. Для защиты от попадания посторонних предметов и атмосферных осадков воздухоприемное отверстие располагают на высоте не менее 2 м от земли и закрывают неподвижной стальной жалюзийной решеткой.

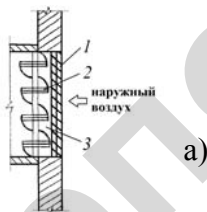


Рис. 4.42. Воздухоприемное устройство:

1 – жалюзийная решетка; 2 – утепленный клапан; 3 – воздухоприемное отверстие

За жалюзийной решеткой размещают утепленный многостворчатый клапан с ручным или механическим приводом, причем последний блокируется с пусковым устройством вентилятора. Клапан предназначен для предотвращения проникновения в приточную камеру наружного воздуха при прекращении работы системы вентиляции. Для предохранения от замерзания створок предусматривают электрообогрев клапана.

4.103. Назначение воздуховодов и воздухораспределителей.

Воздуховоды предназначены для транспортирования вентиляционного воздуха. В системах вентиляции используют металлические и неметаллические воздуховоды.

Металлические воздуховоды изготавливают круглого и прямоугольного сечений из листовой кровельной и оцинкованной стали. Предпочтение следует отдавать круглым воздуховодам из-за меньшего аэродинамического сопротивления, расхода металла и простоты в изготовлении. Воздуховоды прямоугольного сечения используют для обеспечения архитектурно-эстетических требований, а так же при ограниченной высоте помещений.

Воздухораспределители обеспечивают равномерное распределение приточного воздуха в помещении и исключают возможность образования застойных (плохо вентилируемых) зон. В животноводческих помещениях в качестве воздухораспределителей используют перфорированные металлические или полиэтиленовые воздуховоды, которые подают воздух в виде компактных рассредоточенных струй.

4.104. Какие фасонные части используют в системах вентиляции?

При монтаже разветвленной сети воздуховодов используют фасонные части различной конфигурации (рис. 4.43). Фасонные части и воздуховоды соединяются между собой при помощи фланцев.



Рис. 4.43. Фасонные части воздуховодов:

а, б – отводы сегментные с углом поворота 90° и 45°; в, г – тройники прямой и штанообразный; д – крестовина; е, ж – переходы центральный и односторонний

4.105. Что такое вентиляционная камера?

Вентиляционная камера (венткамера) – изолированное помещение, предназначенное для размещения оборудования приточных или вытяжных систем вентиляции.

Венткамеры выполняют из негорюемых или трудногорюемых материалов. Размеры этих помещений должны позволять проведение монтажных и ремонтных работ. Проходы для обслуживания оборудования должны быть шириной не менее 0,7 м.

4.106. Назначение регулирующих устройств.

Регулирующие устройства предназначены для изменения расхода воздуха и отключения отдельных ветвей или всей сети воздуховодов. Наиболее простым регулирующим устройством является шибер (рис. 4.44). Шибер позволяет изменять живое сечение воздуховода путем ручного перемещения заслонки в направлении, поперечном движению воздуха. Шиберы, как правило, устанавливают на магистральном воздуховоде вблизи от нагнетательного патрубка вентилятора, а также перед воздухораспределителем при условии, что он не имеет в своей конструкции регулирующих устройств.

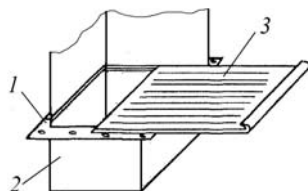


Рис. 4.44. Шибер:
1 – фланец; 2 – воздуховод; 3 – заслонка

4.107. В какой последовательности следует выполнять аэродинамический расчет воздуховодов?

Задача аэродинамического расчета состоит в определении размеров поперечного сечения воздуховодов и потерь давления в системе вентиляции.

Расчет воздуховодов круглого сечения следует проводить в следующей последовательности:

- в соответствии с принятыми конструктивными решениями составить расчетную аксонометрическую схему воздуховодов с указанием вентиляционного оборудования и регулирующих устройств;
- разделить схему на отдельные участки, границами которых являются тройники и крестовики;
- пронумеровать участки, начиная с магистрали (наиболее протяженной ветви воздуховодов);
- номера участков проставить, начиная с периферийного (наиболее удаленного);
- по расчетному расходу и рекомендуемой скорости воздуха определить диаметры воздуховодов на участках магистрали;
- рассчитать потери давления на этих участках.

Аэродинамический расчет ответвлений следует выполнять с увязкой потерь давления путем последовательного подбора диаметров воздуховодов. При этом невязка потерь давления не должна превышать 10 %.

4.108. Как определить потери давления в воздуховодах?

Потери давления на расчетном участке воздуховода складываются из потерь давления на трение и в местных сопротивлениях.

Потери давления на трение ΔP_T , Па, следует определять по формуле:

$$\Delta P_T = Rl,$$

где R – удельные потери давления на трение, Па/м;

l – длина расчетного участка воздуховода, м.

Потери давления в местных сопротивлениях ΔP_M , Па, следует определять по формуле:

$$\Delta P_M = \Sigma \zeta P_D,$$

где $\Sigma \zeta$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений на расчетном участке воздуховода;

P_D – динамическое давление воздуха, Па.

Динамическое давление определяет кинетическую энергию потока, отнесенную к 1 м³ воздуха. При скорости движения воздуха ϑ динамическое давление P_D , Па, будет равно:

$$P_D = \frac{\rho \vartheta^2}{2}.$$

4.109. Что представляет собой местная система воздушного отопления?

Местные системы воздушного отопления предназначены для обогрева одного помещения. При этом воздухонагреватель (калорифер, рис. 4.45) находится непосредственно в обогреваемом помещении. Нагретый воздух подается в помещение в виде компактных или неполных веерных струй.

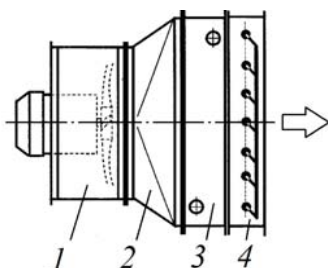


Рис. 4.45. Отопительный агрегат:

1 – осевой вентилятор; 2 – диффузор; 3 – калорифер; 4 – многостворчатый клапан

Калорифер входит в состав отопительного агрегата. Агрегат подвешивают выше рабочей зоны под углом 35° к горизонту, что обеспечивает наибольшую дальность струи. Предусматривают установку не менее двух агрегатов. При этом их тепловая мощность должна быть достаточной для поддержания температуры в помещении не ниже 5°C при выходе из строя одного из агрегатов.

4.110. Что представляет собой центральная система воздушного отопления?

В центральных системах воздушного отопления воздух от воздухонагревателя к обогреваемым помещениям транспортируется по воздуховодам и подается в эти помещения через воздухораспределители. При этом калорифер и вентилятор выносятся в отдельное помещение – вентиляционную камеру.

В производственных помещениях центральную систему воздушного отопления конструктивно совмещают с общеобменной приточной вентиляцией. Такие системы называются отопительно-вентиляционными.

4.111. Как подразделяются системы воздушного отопления по степени замены воздуха?

По степени замены воздуха в помещении системы воздушного отопления разделяют на прямоточные, с частичной и полной рециркуляцией.

В прямоточных системах количества подаваемого и удаляемого воздуха равны. В системах с частичной рециркуляцией часть внутреннего воздуха подмешивается к наружному. При полной рециркуляции наружный воздух не поступает в помещения.

Прямоточные системы используют, когда рециркуляция воздуха не допускается, а именно:

- из помещений, в которых выделяются вредные вещества;
- из помещений, в воздухе которых имеются болезнетворные бактерии и грибки;
- из помещений с резко выраженными неприятными запахами.

Прямоточные системы воздушного отопления отличаются самыми высокими эксплуатационными затратами. Для уменьшения расходов тепловой энергии предусматривают утилизацию теплоты вытяжного воздуха.

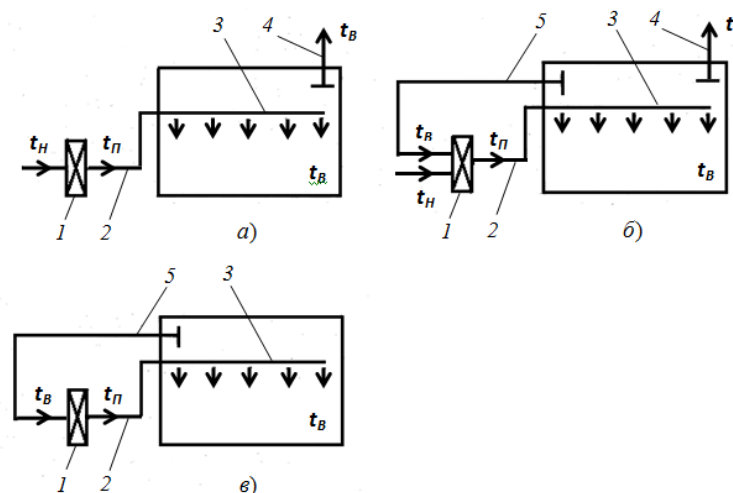


Рис. 4.46. Схемы прямоточной (а), с частичной (б) и полной (в) рециркуляцией центральных систем воздушного отопления:

1 – калорифер; 2 и 5 – приточный и рециркуляционный воздуховоды; 3 – воздухораспределитель; 4 – вытяжная шахта

Рециркуляционные системы применяют в помещениях, где допускаются рециркуляция воздуха. Системы с полной рециркуляцией отличаются меньшими капиталовложениями и эксплуатационными затратами. Системы с частичной рециркуляцией следует предусматривать, как правило, с переменным расходом рециркуляционного воздуха в зависимости от изменения параметров наружного и внутреннего воздуха.

4.112. Что такое отопительно-вентиляционные системы?

Отопительно-вентиляционные системы (ОВС) – комплекс оборудования для обеспечения воздушного отопления или вентиляции производственных помещений.

4.113. Как определить тепловую мощность отопительно-вентиляционной системы?

Тепловую мощность ОВС $\Phi_{ОВС}$, кВт, животноводческого помещения следует определять по формуле:

$$\Phi_{ОВС} = \Phi_{ТП} + \Phi_{В} + \Phi_{ИСП} - \Phi_{Ж},$$

где $\Phi_{ТП}$ – тепловой поток теплопотерь через ограждающие конструкции помещения, кВт;

$\Phi_{В}$ – тепловой поток на нагрев приточного воздуха, кВт;

$\Phi_{ИСП}$ – тепловой поток на испарение влаги внутри помещения, кВт;

$\Phi_{Ж}$ – тепловой поток явных тепловыделений животными, кВт.

4.114. Как найти тепловые потоки на нагрев приточного воздуха и на испарение влаги внутри помещения?

Тепловой поток на нагрев приточного воздуха $\Phi_{В}$, кВт, подаваемого в помещение для содержания животных, следует определять по формуле:

$$\Phi_{В} = c_p \rho L_B (t_B - t_{Н.О}) / 3600,$$

где c_p – удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг·°С);

L_B – расчетный воздухообмен в холодный период года, м³/ч;

t_B и $t_{Н.О}$ – расчетные температуры внутреннего и наружного воздуха в холодный период года, °С.

Тепловой поток на испарение влаги в животноводческом помещении $\Phi_{ИСП}$, кВт, рассчитывают по формуле:

$$\Phi_{ИСП} = 0,69 W_{доп},$$

где $W_{доп}$ – дополнительные влаговыведения в помещении в холодный период года, кг/ч.

4.115. Как определить температуру воздуха, подаваемого в помещение?

Приточный воздух должен быть нагрет до такой температуры, чтобы в результате его смешения с внутренним воздухом и теплообмена с ограждающими конструкциями в помещении поддерживалась заданная температура.

Температуру воздуха после подогрева, подаваемого в животноводческое помещение, $t_{П}$, °С, следует определять по формуле:

$$t_{П} = t_{Н.О} + \frac{3600 \Phi_{ОВС}}{c_p \rho L_B}.$$

Так как воздух является не только теплоносителем, но и средой необходимой для дыхания, то температуру его подогрева рекомендуется принимать не более 60 °С. При более высоких температурах санитарно-гигиенические свойства воздуха ухудшаются.

При использовании пленочных воздухораспределителей значение $t_{П}$ не должно превышать 45 °С, что обусловлено низкой теплоустойчивостью полиэтилена.

4.116. Методика подбора калориферов.

Подбор водяных калориферов следует проводить в следующей последовательности:

– задаваясь значением массовой скорости воздуха w_p' в интервале от 4 до 10 кг/(м²·с), определить требуемую площадь живого сечения для прохода воздуха f' , м²;

– по значению f' , пользуясь таблицами технических характеристик, подобрать марку, номер и число калориферов в одном ряду n_1 и выписать табличные данные: площадь поверхности нагрева A_K , м², площади живого сечения по воздуху f , м², и трубок $f_{ТР}$, м²;

- уточнить массовую скорость воздуха ν_p , кг/(м²·с);
- определить скорость воды в трубках калорифера ω , м/с, с учетом принятой схемы подключения по воде;
- по значениям ν_p и ω находят коэффициент теплопередачи k , Вт/(м²·°С);
- определить требуемую площадь поверхности нагрева калориферной установки A , м²;
- найти необходимое число калориферов n_k , округляя до целого в большую сторону с учетом значения n_1 ;
- определить запас по поверхности нагрева, который не должен превышать 20 %;
- рассчитать аэродинамическое сопротивление калориферной установки ΔP , Па.

4.117. Что такое массовая скорость воздуха?

Массовая скорость воздуха – массовый расход воздуха, проходящий через живое сечение калорифера за единицу времени.

Массовую скорость воздуха ν_p , кг/(м²·с), следует определять по формуле:

$$\nu_p = \frac{L\rho}{3600 f n_1},$$

где L – расход нагреваемого воздуха, м³/ч.

Использование массовой скорости позволяет упростить расчеты, т. к. она остается постоянной на всем пути прохождения воздуха через калорифер, в то время как линейная скорость изменяется вследствие нагрева и увеличения объема воздуха.

Массовая скорость воздуха должна находиться в интервале значений от 4 до 10 кг/(м²·с).

4.118. Как определить скорость воды в трубках калорифера?

Скорость воды в трубках калорифера ω , м/с, следует определять по формулах:

- при последовательном подключении по воде:

$$\omega = \frac{\Phi_0}{c_B \rho_B (t_{\Gamma} - t_0) f_{\Gamma}};$$

- при параллельном подключении по воде (возможно при $n_1 \geq 2$):

$$\omega = \frac{\Phi_0}{c_B \rho_B (t_{\Gamma} - t_0) f_{\Gamma} n_1},$$

где Φ_0 – тепловая мощность калориферной установки, кВт;
 c_B – удельная теплоемкость воды, кДж/(кг·°С);
 ρ_B – плотность воды, кг/м³;
 t_{Γ} и t_0 – температуры горячей и обратной воды, °С.

Значение ω должно находиться в пределах от 0,2 до 0,5 м/с. Увеличение скорости воды не приводит к значительному увеличению коэффициента теплопередачи, а гидравлическое сопротивление калорифера сильно возрастает. Снижение скорости приводит к уменьшению теплоотдачи, а при значении ω менее 0,12 м/с возникает опасность замерзания воды в трубках калорифера.

4.119. Как определить требуемую площадь поверхности нагрева калориферной установки?

Требуемую площадь поверхности нагрева A , м², калориферной установки следует определять по формуле:

$$A = \frac{\Phi_0 \cdot 10^3}{k(t_{CP} - t'_{CP})},$$

где t_{CP} и t'_{CP} – средние температуры воды и воздуха, °С.

Среднюю температуру воды определяют как среднее арифметическое значение температур горячей и обратной воды, т. е. $t_{CP} = 0,5(t_{\Gamma} + t_0)$.

Среднюю температуру воздуха находят как среднее арифметическое значение начальной и конечной температур воздуха, т. е. $t'_{CP} = 0,5(t_{H,O} + t_{II})$.

4.120. Как выбрать центробежный вентилятор?

Центробежный вентилятор выбирают по рассчитанным значениям подачи и полного давления, пользуясь сводным графиком аэродинамических характеристик. На графике строят точку пересечения координат «подача – давление». Если точка не попадает на «рабочую»

характеристику, то ее сносят на ближайшую (вверх или вниз) и пересчитывают систему вентиляции на новое давление.

Окончательный выбор вентилятора проводят, пользуясь его индивидуальными аэродинамическими характеристиками, по которым определяют частоту вращения рабочего колеса, КПД и потребляемую мощность. При этом следует стремиться к тому, чтобы КПД вентилятора был не менее 0,9 максимального значения. Это обусловлено не только экономическими соображениями, но и возможностью снизить шум при работе вентилятора.

4.121. Как определить подачу и полное давление центробежного вентилятора?

Подачу вентилятора определяют с учетом потерь или подсосов воздуха в воздуховоды, вводя поправочный коэффициент 1,1 при длине воздуховодов до 50 м и 1,15 – во всех остальных случаях.

Подачу вентилятора L_V , м³/ч, рассчитывают по формуле:

$$L_V = 1,1 - 1,15L,$$

где L – расчетный расход воздуха, м³/ч.

Требуемое полное давление вентилятора P_V , Па, следует определять по формуле:

$$P_V = \Delta P \frac{273+t}{293} \cdot \frac{0,101}{B},$$

где ΔP – потери давления в системе вентиляции (по результатам аэродинамического расчета), Па;

t – температура воздуха, проходящего через вентилятор, °С;

B – атмосферное давление в данной местности, кПа.

4.122. Какими способами осуществляется воздушное отопление?

Воздушное отопление может осуществляться канальными и бесканальными способами.

В первом случае горячий воздух подготавливается в определенных центрах и подводится по воздуховодам к местам его потребления,

а во втором случае воздух подогревается непосредственно в отапливаемых помещениях крупными отопительными агрегатами, откуда он подается сосредоточенными струями при значительных скоростях. Первые системы называются *центральными* системами воздушного отопления (рис. 4.47), а вторые – *местными* (рис. 4.48).

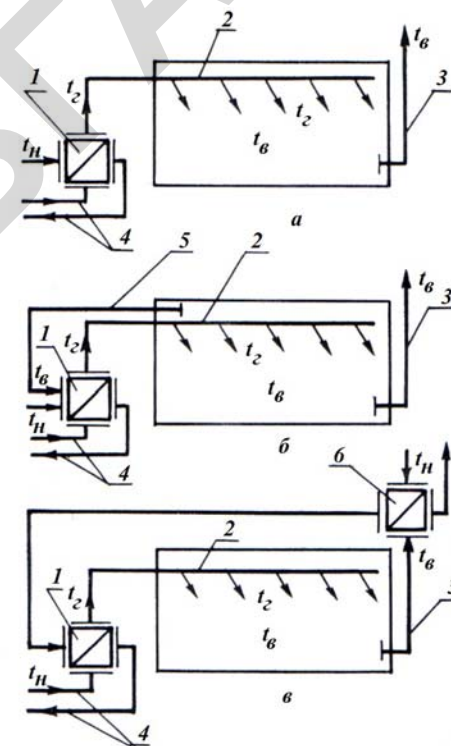


Рис. 4.47. Схемы центральных систем воздушного отопления: а – прямоточная; б – с частичной рециркуляцией; в – прямоточная рекуперативная; 1 – тепловой центр; 2 – приточный воздуховод; 3 – вытяжной воздуховод; 4 – трубопроводы теплоносителя; 5 – рециркуляционный воздуховод; 6 – теплообменник-теплоутилизатор

При необходимости организации воздушного отопления по смешанной схеме применяют отопительно-вентиляционные агрегаты, которые имеют более мощные калориферы и смесительную камеру с подводом к ней рециркуляционного и свежего наружного воздуха. В системах воздушного отопления перемещение воздуха по каналам

может происходить за счет естественного или искусственного перепада давлений. Первое возникает вследствие разности плотностей горячего и холодного воздуха, а искусственное давление создается вентилятором.

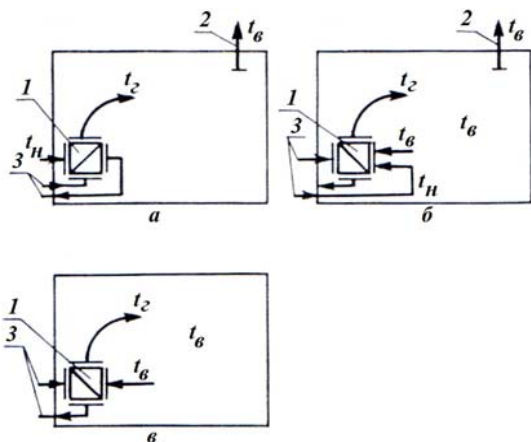


Рис. 4.48. Схемы местных систем воздушного отопления:

а – прямоточная; *б* – с частичной рециркуляцией; *в* – рециркуляционная;
 1 – тепловой центр; 2 – шахты вытяжной вентиляции;
 3 – трубопроводы подачи теплоносителя

Системы воздушного отопления с искусственной циркуляцией и сосредоточенной подачей воздуха в нескольких точках применяют при отоплении промышленных зданий.

Системы воздушного отопления с искусственной циркуляцией и рас-средоточенной подачей воздуха при помощи воздуховодов применяют при отоплении производственных сельскохозяйственных зданий.

4.123. Какое вентиляционное оборудование используется в ОВС производственных помещениях АПК?

Для обеспечения параметров воздушного режима производственных помещений АПК применяются:

- вентиляционные башни (приточные и вытяжные);
- вентиляционные приточные шахты;
- клапаны вентиляционные приточные («форточки») и клапаны воздушные;

- вентиляторы осевые и центробежные;
- крышные вентиляторы;
- потолочные вентиляторы (дестратификаторы);
- приточно-вытяжные установки (ПВУ и другие);
- увлажнители воздуха;
- комплектное вентиляционное оборудование (типа «Климат»).

4.124. Что собой представляют вентиляционные башни?

Вентиляционные башни предназначены для обеспечения подачи свежего воздуха в помещения в основном в переходной и теплый периоды года. Они представляют собой цилиндрические вертикально устанавливаемые воздуховоды с двухскоростными вентиляторами. На нижней части башни имеется рассекаватель воздуха, позволяющий подавать воздух в рабочую зону помещения горизонтальными струями; кроме того имеется система автоматического управления, представляющая собой шкаф для регулирования частоты вращения электродвигателей вентиляторов нескольких вентиляционных башен одновременно.

Технические характеристики вентиляционных башен типа КПС представлены в табл. 4.4.

Таблица 4.4

Вентиляционные башни КПС

Параметры	КПС 108.21.08 и КПС 108.21.09
Максимальная подача воздуха, м ³ /ч	4000/8000
Установленная мощность электродвигателя, кВт	0,18/0,55
Синхронная частота, об/мин	750/1500
Внутренний диаметр, мм	509
Частота вращения вентилятора при максимальной подаче, об/мин	697,5/1410
КПД вентилятора	0,67
Размеры, мм	1004×1004×3100
Масса, кг	86,5 (73,8)

Вентиляционные башни приточные ВВП и вытяжные ВВВ (рис. 4.49) предназначены для обеспечения притока свежего воздуха или вытяжки загрязненного (отработанного) воздуха соответственно в животноводческих, птицеводческих и иных помещений. Они состоят из:

зонтика (алюминиевый композитный материал – ФКМ), корпуса (оцинкованная сталь или АКМ), обратного клапана «бабочка» (АКМ), вентилятора и дефлектора (АКМ). Башни могут быть удлинены за счет составных удлинителей. Основные технические характеристики приведены в табл. 4.5. Вентиляционная башня приточная комбинированная ВБПК состоит из корпуса (оцинкованная сталь), зонтика, дефлектора, воздушной заслонки (все – АКМ) с электроприводом.



Рис. 4.49. Вентбашня типа ВБП/ВБВ

Технические параметры вентбашен

Таблица 4.5

Тип башни	Мощность двигателя, кВт	Частота вращения, мин ⁻¹	Производительность, м ³ /ч	Диаметр, мм
ВБВ/ВБП-4,0	0,16	1430	4200	400/480
ВБВ/ВБП-4,5	0,25	1400	5700	450/530
ВБВ/ВБП-5,6	0,37	1000	6000	560/640
ВБВ/ВБП-6,3	0,37	1000	9000	630/700
ВБВ/ВБП-7,1	0,37	1000	11 000	710/796
ВБВ/ВБП-8,0	0,55	1000	17 500	800/880

Дополнительно можно комплектовать вентиляторами, приточными и смешивающими. Смешивающий вентилятор предназначен для смешивания холодного приточного воздуха с теплым, находящимся внутри помещения. ВБПК работают в комплекте с вытяжными башнями или вытяжными вентиляторами и особенно эффективны в малых помещениях. Габаритные размеры башен ВБПК (рис. 4.50) аналогичны размерам ВБП.



Рис. 4.50. Башня ВБПК

4.125. Что собой представляют вентиляционные приточные шахты?

Шахта вентиляционная приточная ШВП-ПЭ (рис. 4.51) состоит из корпуса цилиндрического и опорного листа. На верхней части башни установлен зонт с ограждением из сетки, выполненный из оцинкованной стали.

На нижней части башни установлен кольцевой воздухоораспределитель, оснащенный линейным электроприводом, перемещающим заслонку вдоль оси башни, что позволяет регулировать количество подаваемого воздуха.

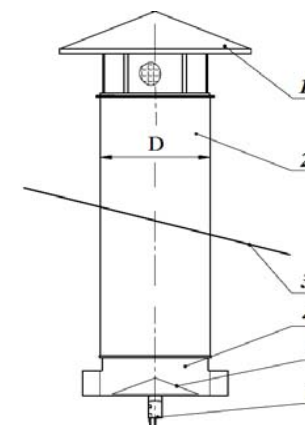


Рис. 4.51. Шахта вентиляционная приточная ШВП-ПЭ:
1 – зонт; 2 – цилиндрический корпус; 3 – опорный лист;
4 – кольцевой воздухоораспределитель; 5 – заслонка;
6 – линейный электропривод

Опорный лист приварен к корпусу башни и имеет форму плоского листа. Угол установки опорного листа задается в зависимости от уклона кровли.

Количество воздуха проходящего через шахту зависит от величины разрежения создаваемого вытяжными вентиляционными башнями и их производительности. Технические характеристики приведены в табл. 4.6.

Таблица 4.6

Технические характеристики вентиляционных приточных шахт ШВП-ПЭ

Тип шахты	Подача воздуха, м ³ /ч	Диаметр, мм	Масса, кг
ШВП-01ПЭ	3500	470	45
ШВП-02ПЭ	4300	520	50
ШВП-03ПЭ	6700	650	55
ШВП-04ПЭ	8600	730	60
ШВП-05ПЭ	11100	830	70
ШВП-06ПЭ	14000	930	75

Шахта вентиляционная приточная ШВП-Ц (рис. 4.52) состоит из зонта и корпуса с теплоизоляционным слоем, имеющего прямоугольное сечение; опорного листа; клапана вентиляционного приточного (типа форточка).

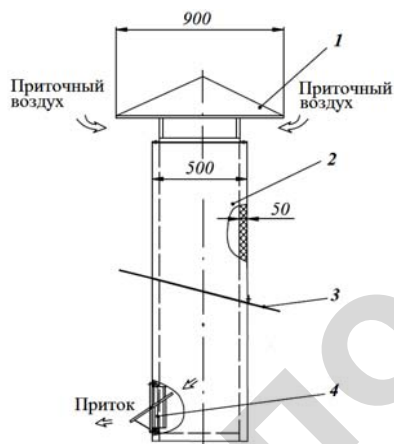


Рис. 4.52. Приточная вентиляционная шахта ШВП-Ц:

1 – зонт; 2 – прямоугольный корпус с теплоизоляционным слоем;
3 – опорный лист; 4 – клапан вентиляционный (типа форточка)

Корпус клапана выполнен из винила, шарниры из нержавеющей стали; остальные элементы выполнены из оцинкованной стали. Угол наклона опорного листа задается в зависимости от уклона кровли.

Технические характеристики приведены в табл. 4.7.

Таблица 4.7

Технические характеристики вентиляционных приточных шахт ШВП-Ц

Тип шахты	Подача воздуха, м ³ /ч	Ширина, мм	Масса, кг
ШВП-01Ц	4300	1100	110
ШВП-02Ц	4900	1250	116

4.126. Что собой представляют воздушные клапаны и «форточки»?

Клапан вентиляционный приточный («форточка») предназначен для равномерной подачи и распределения воздушных потоков внутри помещения. Корпус выполнен из поливинилхлорида, имеет надежную теплоизоляцию и нержавеющие шарнирные элементы. Оснащаются козырьком от попадания осадков и защитной ячеистой сеткой. Размеры: 230×1170 мм и 230×990 мм.

Приточные форточки применяются для равномерного распределения воздушных потоков в проветриваемом помещении. Система управления микроклиматом птичника «Климат-2000» может контролировать приток воздуха в птичник, изменяя угол открытия форточки (через систему тросов и блоков).

Клапаны воздушные (рис. 4.53) применяются для плавного регулирования расхода воздуха в системах вентиляции и кондиционирования воздуха. Клапаны воздушные предназначены для пропуска воздуха или невзрывоопасных смесей воздуха, не содержащих липких и волокнистых веществ и с температурой от минус 400 °С до плюс 700 °С. Клапаны воздушные предназначены для работы при перепаде давления до 1800 Па без деформации при длине створок 1 м. Максимально допустимая скорость воздушного потока 15 м/с.

Клапан воздушный состоит из алюминиевого корпуса, алюминиевых поворотных лопаток, уплотнений, шестерен и привода (ручного или электрического). Корпус и поворотные лопатки изготовлены из анодированного алюминиевого профиля, уплотнение – из профильной резины, шестерни и опорные втулки изготовлены из нейлона. Уплотнение лопаток в стыке предусмотрено профилированной резиной

заделанной в лопатку. Торцевое уплотнение лопаток с корпусом предусмотрено лабиринтным упором.

Клапаны изготавливаются двух типов: КВр – клапан воздушный с ручным приводом и КВэ – клапан воздушный с электрическим приводом.

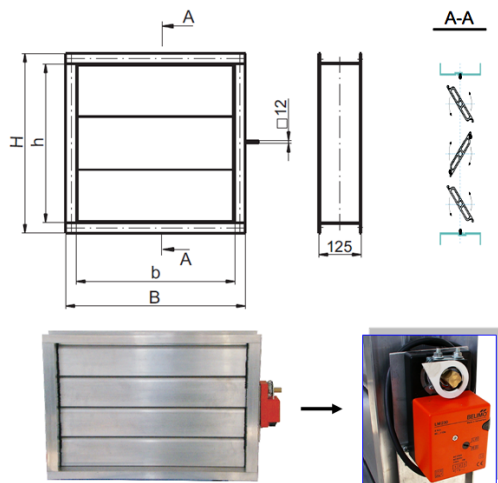


Рис. 4.53. Клапаны воздушные КВэ и КВр

Технические характеристики воздушных клапанов приведены в табл. 4.8.

Таблица 4.8

Технические характеристики воздушных клапанов

Тип клапана	Размеры				Тип привода	Масса, кг
	B	H	b	h		
КВ 1400×1500	1480	1592	1400	1512	SM24, SM230	31,88
КВ 1400×1900	1480	1992	1400	1912	SM24, SM230	39,56
КВ 1400×2400	1480	2492	1400	2412	SM24, SM230	49,16
КВ 1600×1200	1680	1292	1600	1212	SM24, SM230	33,76
КВ 1600×1600	1680	1692	1600	1612	SM24, SM230	43,84
КВ 1800×1600	1880	1692	1800	1612	SM24, SM230	47,48
КВ 2000×1600	2080	1692	2000	1612	SM24, SM230	51,12
КВ 2000×2000	2080	2092	2000	2012	GM24	62,80

4.127. Как устроены осевые вентиляторы?

Осевые вентиляторы выполняются, как правило, низкого давления при количестве лопаток 4 или 6 шт. (рис. 4.54).

Конструктивные элементы вентиляторов выполнены из стали обыкновенного качества; лопатки рабочего колеса – из алюминиевых или стальных сплавов; покрытие элементов вентилятора лакокрасочное или полимерное.



Рис. 4.54. Осевой вентилятор

Назначение: вентиляция промышленных, общественных и сельскохозяйственных зданий. Условия эксплуатации: температура окружающей среды от минус 40 до плюс 40 °С.

В АПК применяются различные марки осевых вентиляторов, но наиболее распространенными являются вентиляторы низкого давления [19–21]: ВО-10-360, ВО-12-380, ВО-06-300; АW/AR 200–1000 (рис. 4.55, табл. 4.9) и вентиляторы среднего давления: ВО-17-220, ВО-20-197 и АХС (рис. 4.56, табл. 4.10) [21].

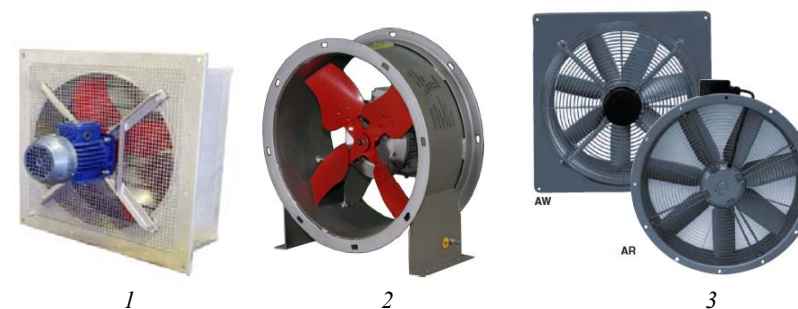


Рис. 4.55. Осевые вентиляторы низкого давления: 1 – ВО-10-360; 2 – ВО-12-380; 3 – АW/AR 500 и 560

Таблица 4.9
Технические характеристики осевых вентиляторов низкого давления

Марка вентилятора	Параметры		
	Расход воздуха, м³/ч	Мощность, кВт	Вес, кг
AW/AR-400	4200	0,16	7,9
AW/AR-450	7380	0,6	7,9
AW/AR-500	9000	0,78	15,8
AW/AR-560	13 400	1,4	27,0
AW/AR-630	17 800	0,6	19,0
AW/AR-710	17 000	0,9	32,0
BO-10-360-5,6	8300	0,37	28,0
BO-10-360-6,3	12 000	0,75	36,0
BO-10-360-7,1	11 500	0,37	37,0
BO-12-380-5,6	9000	0,37	24,0
BO-12-380-6,3	15 000	1,1	42,0
BO-12-380-7,1	12 700	0,37	39,0

Таблица 4.10
Технические характеристики осевых вентиляторов среднего давления

Марка вентилятора	Параметры		
	Расход воздуха, м³/ч	Мощность, кВт	Вес, кг
BO-17-220-8-01	18 000	3,0	130
BO-17-220-8-04	24 000	7,5	150
BO-20-197-8-01	18 000	7,5	170
BO-20-197-8-03	20 000	4,0	130
AXC-1250-6	95 000	37	600

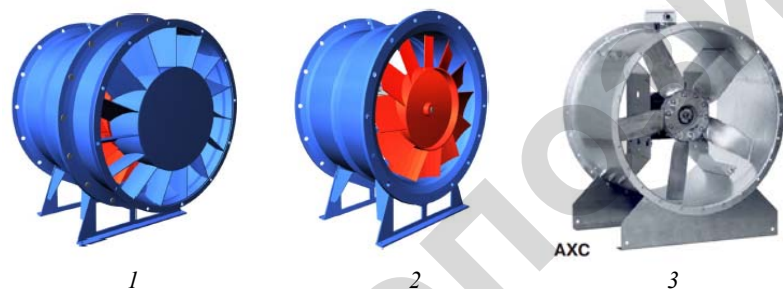


Рис. 4.56. Осевые вентиляторы среднего давления:
1 – BO-17-220; 2 – BO-20-197; 3 – АХС-1250-6

Вентиляторы BO-06-300 имеют производительность по воздуху в диапазоне 2–70 тыс. м³/ч, при электрической мощности привода 0,12–15 кВт.

В птичниках применяются осевые вентиляторы BO-10-410-12,5, совмещенные с воздушным клапаном (рис. 4.57). Корпус и диффузор вентилятора выполнены из оцинкованной стали, а рабочее колесо – из полипропилена, армированного стекловолокном. Воздушный клапан вентилятора выполнен из алюминиевых сплавов и может оснащаться ручным приводом либо электрическим, который обеспечивает автоматическое открытие и закрытие лопаток при включении и выключении вентиляторов. Он предусматривает полную герметичность при закрытых лопатках клапана, что позволяет в зимнее время не применять дополнительную герметизацию и утепление проема.



Рис. 4.57. Осевой вентилятор BO-10-410-12,5

Скорость подачи воздуха вентиляторов составляет 44–50 тыс. м³/ч, мощность привода электродвигателя – 1,5 кВт, масса вентиляторов – 120 кг.

В помещениях содержания КРС молочного стада в летний период года применяют осевые вентиляторы различных типов для охлаждения внутреннего воздуха. Эти вентиляторы имеют производительность по воздуху 5–50 тыс. м³/ч (мощность привода 0,25–1,5 кВт) и подвешиваются в верхней части здания.

4.128. Как устроены центробежные вентиляторы?

Вентилятор имеет вращающийся ротор, состоящий из лопаток спиральной формы. Воздух через входное отверстие засасывается вовнутрь ротора, где он приобретает вращательное движение и, за счет центробежной силы и специальной формы лопаток, направляется

в выходное отверстие специального спирального кожуха, так называемой «улитки» (рис. 4.58). Таким образом, выходной поток воздуха находится под прямым углом к входному. Конструктивные особенности устройства климатических систем обусловили необходимость производства центробежных вентиляторов с левым и правым вращением рабочего колеса, направление воздушного потока в которых изменяется диаметрально противоположно (рис. 4.59).



Рис. 4.58. Центробежный вентилятор ВЦ 4-75

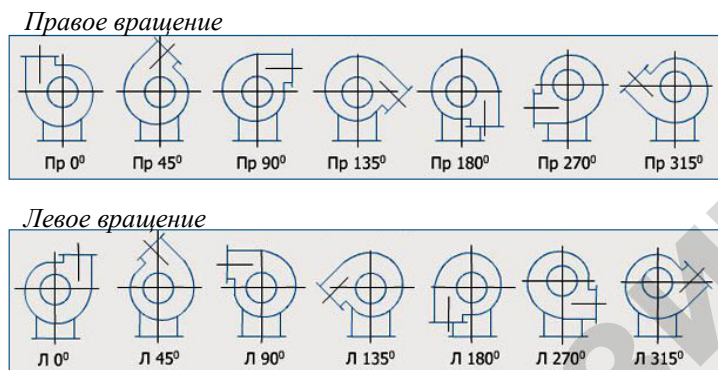


Рис. 4.59. Положение корпуса центробежного вентилятора

В качестве привода при наличии электроэнергии преимущественно применяется электродвигатель. Соединение его с рабочей лопаткой осуществляется с помощью эластичной муфты (исполнение 1) или клиноременной передачи (исполнение 6).

Основные технические характеристики, определяющие эффективность работы центробежных вентиляторов – их производительность

и полное давление. По величине давления воздушного потока на выходе центробежные вентиляторы классифицируют как низконапорные, средненапорные и высоконапорные. Низконапорные и средненапорные центробежные вентиляторы устанавливают преимущественно в системах приточно-вытяжной вентиляции и кондиционирования.

Сфера применения центробежных вентиляторов довольно велика, различны и их исполнения. Центробежные вентиляторы изготавливают во взрывозащищенном, коррозионностойком, термостойком и обычном исполнениях. Устанавливают центробежные вентиляторы на стенах, крышах зданий и стационарных фундаментах с использованием всевозможных рамных конструкций. В промышленности и АПК широко применяются вентиляторы ВЦ 4-75, ВЦ 4-76, ВЦ 14-46, ВР 80-75, ВР 86-77 и др. Технические характеристики некоторых центробежных вентиляторов приведены в табл. 4.11.

Таблица 4.11

Технические характеристики центробежных вентиляторов серии ВЦ 14-46

Характеристики	Индекс (номер) вентилятора			
	2	2,5	3,15	4
Мощность электродвигателя, кВт	0,12–2,2	0,37–5,5	0,55–2,2	1,1–4,0
Производительность, тыс. м ³ /ч	0,46–3,75	0,97–4,45	1,34–4,80	2,65–5,66
Полное давление, Па	235–1300	370–1960	305–875	506–1400
Масса, кг	20–31	29–53	43–51	67–78

4.129. Как устроены крышные вентиляторы?

Крышные вентиляторы предназначены для работы без сети воздуховодов. При оптимальном режиме работы, когда производительность больше минимальной, вентиляторы могут работать с сетью воздуховодов.

Наиболее распространены отечественные крышные вентиляторы серий ВКР и КЦ. Вентиляторы серии ВКР (рис. 4.60) – одностороннего всасывания, низкого давления, имеют загнутые назад лопатки, выполненные из углеродистой стали. Вентиляторы предназначены для эксплуатации в умеренном климате при температуре окружающей среды от минус 40 до плюс 45 °С. Основные характеристики вентиляторов серии ВКР приведены в табл. 4.12.



Рис. 4.60. Крышной вентилятор серии ВКР

Таблица 4.12

Технические характеристики крышных вентиляторов серии ВКР

Характеристики	Индекс вентилятора				
	ВКР 4	ВКР 5	ВКР 5	ВКР 8	ВКР 12,5
Мощность электродвигателя, кВт	0,37	0,75	2,2	3,0	4,0
Частота вращения, об/мин	920	920	950	700	395
Производительность, м ³ /ч	3990	7880	16 500	20 300	43 700
Полное давление, Па	167	266	466	335	340
Масса, кг	56,4	70,4	117,0	163,0	608,0

Вытяжные системы вентиляции (крышные вентиляторы серий *DVS*, *DHS* и *DVSI*, рис. 4.61) применяются в условиях агрессивной окружающей среды. *DVS* – надежность эксплуатации в зданиях различного назначения (например, склады), *DHS* – экономичное решение для промышленных зданий с загрязненным вытяжным воздухом (например, птичники), и *DVSI* применяются в административных зданиях и жилом фонде с высокими требованиями к уровню шума.



Рис. 4.61. Крышные вентиляторы серий *DVS*, *DHC* и *DVSI*

Корпус и рабочее колесо вентиляторов выполнены из алюминия. Рама – из оцинкованной стали с защитным порошковым покрытием. Вентиляторы *DHS* имеют горизонтальный выброс воздуха, остальные – вертикальный.

Электродвигатели привода вентиляторов оснащены встроенными термоконтактами (с выводами для подключения внешнего устройства защиты).

Изменение скорости вращения однофазных вентиляторов осуществляется с помощью бесступенчатого тиристорного регулирования или пятиступенчатого трансформатора (путем переключения). Регулирование скорости двухскоростных трехфазных электродвигателей осуществляется изменением способа подключения («звезда» / «треугольник») или с помощью пятиступенчатого трансформатора.

Вентиляторы монтируются на крышный короб (рис. 4.62).



Рис. 4.62. Пример монтажа крышных вентиляторов серий *DVS*, *DHS* и *DVSI*

Основные технические характеристики указанных вентиляторов приведены в табл. 4.13.

Вытяжные системы вентиляции помещений различного назначения с загрязненным вытяжным воздухом (где по условиям эксплуатации требуется частая очистка рабочего колеса) рекомендуется оснащать крышными вентиляторами серии *TOV* и *TOE* (рис. 4.63).

Таблица 4.13

Технические характеристики вентиляторов серий *DVS*, *DHS* и *DVSI*

Характеристики	Марка вентилятора					
	<i>450E4</i>	<i>450DV</i>	<i>499DV</i>	<i>500DV</i>	<i>560DV</i>	<i>630DV</i>
Количество фаз	1	3	3	3	3	3
Потребляемая мощность, кВт	0,77	0,75	0,9	1,19	1,9	3,9
Частота вращения, мин ⁻¹	1260	1260	1200	1325	1210	1400
Расход воздуха, м ³ /ч	5700	5500	6600	7900	10500	14200
Масса, кг	47	38	50	52	70	99

Рис. 4.63. Крышные вентиляторы серий *TOV* и *TOE*

Вентиляторы имеют плоский восьмиугольный корпус, изготовленный из листовой оцинкованной стали и окрашенный порошковой краской в черный цвет.

Вертикальный выброс воздуха из вентилятора предотвращает проблемы, связанные с попаданием осадков. Электродвигатель с рабочим колесом закреплен на откидной крышке вентилятора, что позволяет легко проводить осмотр и обслуживание.

Основные технические характеристики приведены в табл. 4.14.

Таблица 4.14

Технические характеристики вентиляторов серий *TOV* и *TOE*

Характеристики	Марка вентилятора				
	<i>TOE 400-4</i>	<i>TOV 450-4</i>	<i>TOV 450-4</i>	<i>TOV 500-4</i>	<i>TOV 560-4</i>
Количество фаз	1	3	3	3	3
Потребляемая мощность, Вт	658	718	1083	1833	2854
Частота вращения, мин ⁻¹	1300	1400	1340	1397	1374
Расход воздуха, м ³ /ч	4070	4390	5725	8365	10 980
Масса, кг	36	33	42	75	103

4.130. Что собой представляют установки приточно-вытяжные установки?

Приточно-вытяжные установки (ПВУ, рис. 4.64) предназначены для организации воздухообмена с рекуперацией теплоты в отдельных помещениях различного назначения (производственные, бытовые). В холодное время года рекуператор позволяет снизить энергопотребление на нагрев приточного воздуха до 70 %, а летом сокращает расходы на кондиционирование.

Рис. 4.64. Современные ПВУ *LuftMeer*

ПВУ представляет собой агрегат, состоящий из приточной и вытяжной установки, расположенной в одном корпусе. ПВУ имеют различные конфигурации: могут быть – крышные, потолочные, подвесные и т. п. Обычно установки комплектуются гибкими вставками, воздушными клапанами, фильтрами, камерами смешения, нагревателями, охладителями и шумоглушителями.

Установки с рекуперацией тепла очищают, нагревают и подают свежий воздух. Они извлекают тепло у выходящего воздуха и передают его поступающему воздуху. Установки имеют производительные и бесшумные вентиляторы, электрический нагреватель. Система автоматики позволяет регулировать воздушный поток и температуру подаваемого воздуха.

Включение установок и управление их производительностью осуществляется, как правило, при помощи тиристорного регулятора оборотов двигателя, который позволяет плавно изменять скорость вращения вентиляторов в диапазоне 0–100 %.

В классе вентиляционного оборудования приточно-вытяжные установки обладают широкой гаммой производительности от 0,3 до 250 тыс. м³/ч. Теплопроизводительность установок (мощность нагревателя) находится в диапазоне от 6 до 2300 кВт, холодопроизводительность (например, установки КЦКП МАСКАЭРО фирмы ВУТ В (*Ventus*)) может достигать 1000 кВт.

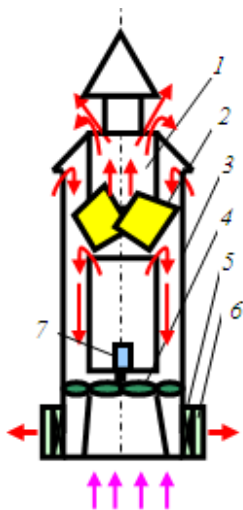


Рис. 4.65. Принципиальная схема классической ПВУ:
1 – внутренний воздуховод; 2 – смесительная заслонка;
3 – наружный воздуховод; 4 – вентилятор; 5 – электрокалориферы;
6 – кольцевой канал; 7 – электродвигатель

В состав классических ПВУ входят два воздуховода, вставленные один в другой. По внутреннему воздуховоду удаляется воздух из помещения, а по кольцевому каналу между воздуховодами производится подача воздуха в помещение. Соотношение между расходом удаляемого и приточного воздуха изменяется с помощью смесительных заслонок (рис. 4.65). Движение воздуха в ПВУ в противоположных направлениях обеспечивается вентилятором с двумя рядами лопаток. Лопатки наружного ряда так развернуты относительно лопаток внутреннего ряда, что достигается совмещение притока и вытяжки в одной установке. Вентилятор работает при постоянной частоте вращения и общей подаче воздуха, равной сумме расходов приточного и удаляемого воздуха.

В теплый и переходной периоды года, когда температура воздуха соответствует заданной, смесительные заслонки 2 перекрывают сообщение между внутренним воздуховодом 1 и кольцевым каналом 6. В помещении поступает только наружный воздух, рециркуляция воздуха отсутствует. При снижении температуры внутри помещения открываются заслонки, и часть удаляемого воздуха подмешивается к приточному наружному воздуху. Тем самым уменьшается расход удаляемого воздуха (и подаваемого), снижается интенсивность воздухообмена в помещении. В холодный период года включаются секции электрокалориферов 5; так осуществляется подача подогреваемого воздуха. Основные данные ПВУ представлены в табл. 4.15.

Таблица 4.14

Технические характеристики ПВУ

Характеристики	ПВУ-4	ПВУ-6	ПВУ-9
Подача приточного воздуха, м ³ /ч	4000	6000	9000
Подача вытяжного воздуха, м ³ /ч	3400	5300	7600
Максимальная тепловая мощность, кВт	15,0	15,0	19,2
Диаметр башни, мм	1000	1150	1250
Масса, кг	340	470	630

Серия современных установок «Климат» (рис. 4.66) представляет собой самый популярный в настоящее время класс вентиляционного оборудования, совмещающий систему приточно-вытяжной вентиляции и кондиционер в компактном теплоизолированном корпусе из оцинкованной стали со встроенной системой автоматики.

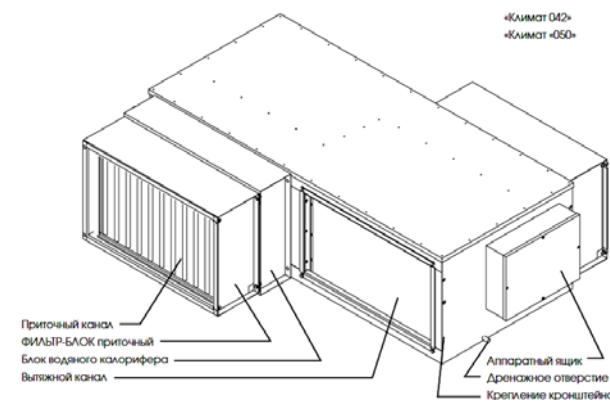


Рис. 4.66. Общий вид ПВУ «Климат»

Внутри установки в изолированных приточном и вытяжном каналах размещены два радиальных вентилятора двустороннего всасывания, два кассетных фильтра, блок реверсивного теплового насоса, электрический (водяной) нагреватель и система автоматики. Реверсивный тепловой насос представляет собой заправленный в заводских условиях герметичный фреоновый контур с установленными в приточном и вытяжном каналах медно-алюминиевыми пластинчатыми теплообменниками.

При работе установки в режиме охлаждения теплообменник в приточном канале является испарителем и охлаждает приточный воздух, а теплообменник-конденсатор охлаждается удаляемым из помещения воздухом. В свою очередь, при работе в режиме нагрева, приточный наружный воздух нагревается от теплообменника, который в данном режиме работы выполняет функцию конденсатора, а расположенный в вытяжном канале теплообменник-испаритель поглощает тепловую энергию удаляемого воздуха. Основные технические характеристики установок «Климат-035», «Климат-042» и «Климат-050» приведены в табл. 4.16.

Таблица 4.16

Технические характеристики ПВУ «Климат»

Характеристики	Номер модели установки		
	98, 108	97, 109	95, 120
Максимальная подача и приток воздуха, м ³ /ч	1200	3000	4000
Минимальная подача и приток воздуха, м ³ /ч	300	400	600
Мощность охлаждения воздуха (приток), кВт	4	8	12
Мощность подогрева воздуха (приток), кВт	4,2	8,4	12,6
Коэффициент хладопроизводительности	2,9–3,3	2,9–3,3	3,0–3,5
Коэффициент теплопроизводительности	4,1–5,4	4,1–5,4	4,5–5,8
Масса, кг	95,5	203	249

Приточно-вытяжная многофункциональная вентиляционная установка «Климат 7200» (рис. 4.67, табл. 4.17) предназначена для выполнения следующих функций:

- подачи в обслуживаемые помещения свежего приточного воздуха без рециркуляции (смешения с вытяжным воздухом);
- удаления из обслуживаемых помещений отработанного воздуха;
- очистки приточного воздуха от пыли и аэрозолей (в зависимости от класса используемых фильтров степень фильтрации может составлять от EU-3 до EU-7);
- охлаждения или нагрева приточного воздуха с помощью встроенного реверсивного теплового насоса (режим «лето») и нагрева воздуха электрическим нагревателем (режим «зима»).

Конструктивно установка состоит из трех блоков. Внутри установки в полностью изолированных приточном и вытяжном каналах размещены радиальные вентиляторы, фильтры, блок реверсивного теплового насоса, электрические нагреватели и система автоматики.

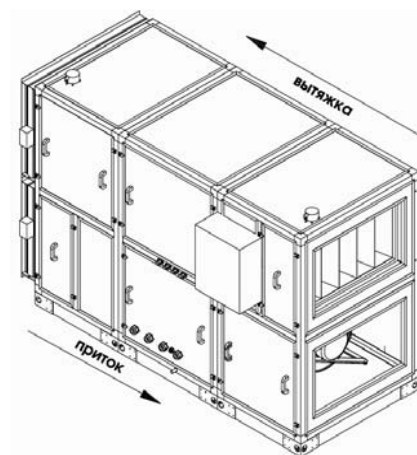


Рис. 4.67. Общий вид ПВУ «Климат 7200»

Таблица 4.17

Технические характеристики ПВУ «Климат 7200» (модель 111)

Характеристики	Значения
Максимальная подача и приток воздуха, м ³ /ч	7200
Минимальная подача и приток воздуха (летний режим), м ³ /ч	5000
Минимальная подача и приток воздуха (зимний режим), м ³ /ч	2800
Мощность охлаждения воздуха (приток), кВт	30,0
Мощность дополнительного подогрева приточного воздуха, кВт	112,0
Коэффициент хладопроизводительности	3,3–4,2
Масса, кг	960

Во всех ПВУ «Климат» использована система автоматизированного управления, которая осуществляет: независимое трехступенчатое регулирование скорости приточного и вытяжного вентиляторов и автоматическое переключение режимов «нагрев / охлаждение» согласно показаниям температурных датчиков и настроек пользователя.

4.131. Для чего нужны увлажнители воздуха и как они работают?

Когда температура наружного воздуха опускается ниже температуры воздуха в помещении, холодный влажный воздух при попадании в теплое здание прогревается и становится сухим. Аналогично тому, как влага из воздуха поглощается материалами, находящимися в здании, теплый сухой воздух вытягивает влагу из всего, с чем он соприкасается, пытаясь достичь «влажностного равновесия».

Необходимость увлажнения воздуха чаще всего возникает в трех случаях:

- использование гигроскопических материалов в технологическом процессе или их хранение внутри здания;
- проблема статического электричества;
- необходимость создания комфортных условий.

Системы кондиционирования и холодильное оборудование также способствуют снижению влажности воздуха, когда воздух сначала охлаждается до температуры ниже точки росы, а избыток влаги конденсируется и удаляется. При последующем нагреве воздух становится сухим и вызывает дискомфорт. В гигроскопических материалах влага проходит через клеточную оболочку и заполняет полость клеток; в результате объем материала увеличивается. Гигроскопические материалы стремятся к выравниванию уровня влажности с окружающей средой. Таким образом, именно перепады относительной влажности, а не температуры воздуха, приводят к изменениям объема материалов и непосредственно влияют на свойства материалов и параметры технологических процессов. Аналогичные негативные процессы происходят со всеми гигроскопическими материалами: бумагой, тканями, фруктами и овощами и т. д.

Создание комфортных условий становится все более приоритетной задачей в современном обществе. При поддержании нормальной влажности снижается уровень концентрации пыли, улучшается самочувствие людей, легче переносятся перепады температуры, исключается высыхание и деформация гигроскопичных контактных линз.

Кроме того, поддержание комфортного уровня влажности в помещении снижает ощущение сухости кожи, восприимчивость к холоду и позволяет поддерживать температуру в помещении на более низком уровне, что ограничивает энергозатраты и снижает теплопотери всего здания.

Точное поддержание заданной влажности требуется на многих промышленных и административных объектах. Высокие объемы производства в ряде технологий зависят от поддержания требуемого уровня влажности. В морозильных камерах и на складах продуктов питания контроль требуемого уровня влажности позволяет сохранить товарный вид и качество продукции.

К данному сегменту относятся типографии, текстильное производство, морозильные камеры и магазины, производство пищевых продуктов, деревообработка, табачные фабрики, оранжереи, покрасочные камеры и др.

Для повышения влажности воздуха используются два принципиально разных способа:

- *изотермическое увлажнение* (камеры заквашивания теста, созревания сыра, лаборатории пищевой промышленности и административные здания);
- *адиабатическое увлажнение* (животноводство, инкубаторы, теплицы, холодильные камеры и технологические линии пищевой промышленности).

При изотермическом увлажнении водяной пар образуется в результате испарения воды в специальном парогенераторе. Потребляемая энергия обеспечивает фазовый переход воды из жидкого состояния в парообразное. При этом количество явного тепла, содержащегося в воздухе, остается неизменным, в связи с чем, процесс называется изотермическим, а увлажнители – изотермическими или паровыми. В адиабатических увлажнителях происходит распыление воды в воздухе в виде тонкого монодисперсного аэрозоля, который интенсивно испаряется, потребляя явную теплоту, содержащуюся в воздухе. В результате перехода воды из жидкого состояния в парообразное температура воздуха понижается.

В качестве примеров рассмотрим два типа увлажнителей: для больших производственных помещений и административных помещений.

Увлажнитель воздуха для больших помещений *Venta LW80* (рис. 4.68, табл. 4.18) предназначен для промышленных и торговых помещений, банковских офисов, галерей, клиник, компьютерных залов. Это основная модель промышленной системы очистки и увлажнения не требует специального подключения к водоснабжению, т. к. она автономна.



Рис. 4.68. Увлажнитель воздуха для больших помещений *Venta LW80*

Таблица 4.18

Технические характеристики увлажнителя воздуха *Venta LW80*

Характеристики	Значение
Максимальный объем помещения (увлажнение и очистка), м ³	800
Поток воздуха, м ³ /мин	6–13
Потребляемая мощность, Вт	140
Емкость водяного резервуара, л	23
Выход испарения, л/сут	20
Уровень шума, Дб	37–48
Вес, кг	18

Увлажнитель «АТМОС-2710» (рис. 4.69) использует принцип ультразвукового распыления воды и рассчитан на эффективное увлажнение помещений площадью около 35 м² (табл. 4.19). Изделие имеет форму яйца, которая известна человечеству как символ зарождения жизни, пульт дистанционного управления и вращающуюся на 360° форсунку распылителя. Используемый в приборе картридж с инновационным керамическим наполнителем способен при соприкосновении с водой производить целый ряд полезных эффектов: дезинфекцию и очистку воды, удаление запахов, поглощение солей жесткости и даже освобождение полезных для здоровья ионов.



Рис. 4.69. Ультразвуковой бытовой увлажнитель воздуха «АТМОС-2710» (Германия)

Таблица 4.19

Технические характеристики увлажнителя воздуха «АТМОС-2710»

Характеристики	Значение
Максимальный объем помещения (увлажнение и очистка), м ³	35
Потребляемая мощность, Вт	38
Емкость водяного резервуара, л	5
Выход испарения, л/сут	0,25
Вес, кг	2,8

Отличительной особенностью увлажнителя воздуха «АТМОС-2710» является цифровой жидкокристаллический дисплей, который позволяет комфортно управлять прибором: задавать желаемую влажность, изменять мощность испарения, программировать таймер, а также подключать функцию ионизации увлажненного воздуха. В изделии используется пьезокерамический элемент (преобразователь), который способен преобразовывать электрическое напряжение высокой частоты в механические (ультразвуковые) колебания.

В данном изделии из водяного резервуара с помощью датчика уровня жидкости непрерывно подается необходимое количество воды в испарительную камеру, которая находится внутри корпуса прибора. Находящийся на дне испарительной камеры преобразователь образует в воде чередующиеся между собой волны повышенного и пониженного давления. В областях пониженного давления происходит испарение жидкости без нагрева (эффект кавитации). За счет потока воздуха, водяная смесь мелкодисперсных частиц устремляется из испарительной камеры через выпускную форсунку в воздух помещения при обычной комнатной температуре и переходит в парообразное состояние.

4.132. Что собой представляет комплексное оборудование «Климат»?

Массовым специализированным оборудованием для отопления и вентиляции животноводческих помещений являются комплекты оборудования: «Климат-2», «Климат-3», «Климат-4», «Климатика».

В составе «Климат-2» и «Климат-3» предусмотрены осевые вентиляторы типа ВО, приточные отопительно-вентиляционно-увлажнительные установки (ПОВУА) и станция автоматического управления. Регулирование подачи воздуха производится изменением частоты вращения рабочих колес вентиляторов.

Комплект оборудования «Климат-4» состоит из осевых вентиляторов типа ВО и блока управления, который может быть контактным (с автотрансформатором АТ-10) или бесконтактным (на базе МК-ВАУЗ).

«Климатика» – полностью бесконтактная схема управления вентиляторами; все остальное аналогично «Климат-4». Все технические характеристики некоторых комплектов приведены в табл. 4.20, 4.21.

Таблица 4.20

Технические характеристики оборудования «Климат-4»

Обозначение типоразмеров	Тип вентилятора	Число вентиляторов	Установленная мощность, кВт	Подача воздуха, м ³ /ч
Климат-44-6	ВО-4 МУЗ	6	1,5	14 400
Климат-44-16	ВО-4 МУЗ	16	4,0	38 400
Климат-44-20	ВО-4 МУЗ	20	5,0	48 000
Климат-45-6	ВО-5,6 МУЗ	6	2,22	30 000
Климат-45-14	ВО-5,6 МУЗ	14	5,18	70 000
Климат-45-18	ВО-5,6 МУЗ	18	6,66	90 000
Климат-47-8	ВО-7,1 МУЗ	8	8,8	75 000
Климат-47-10	ВО-7,1 МУЗ	10	11,0	93 000
Климат-47-12	ВО-7,1 МУЗ	12	13,0	112 000

Таблица 4.21

Комплекс вентиляционного оборудования «Климат-47М»

Параметры	47М-00	47М-01	47М-02	47М-03	47М-04
Количество осевых вентиляторов	14	24	8	10	12
Масса одного вентилятора, кг	45	45	45	45	45
Тип вентилятора	ВО-Ф-7,1А 00.00.000 ПС				
Максимальная подача воздуха оборудованием, тыс.м ³ /ч	150	255	85	107	128
Установленная мощность оборудования, кВт	10	15	5	6,25	6,5
Масса комплекса, кг	710	1180	430	525	620
Регулирование подачи воздуха	1:6				

4.133. Какое отопительное оборудование используется в ОВС производственных помещений АПК?

При децентрализованном теплоснабжении производственных помещений АПК применяются:

- электрокалориферные установки (типа СФОЦ и СФОО);
- калориферы (водяные и паровые);
- автоматизированные электрокалориферные системы микроклимата (типа АЭСМ);
- теплогенераторы;
- тепловентиляторы;
- воздушные тепловые завесы;
- фанкойлы (вентиляторные доводчики для автоматического поддержания заданной температуры воздуха в помещении);
- теплоутилизационные установки.

4.134. Что собой представляют электрокалориферные установки?

Электрокалориферные установки имеют в своем составе электрокалорифер (типа СФО) и центробежный вентилятор. Основные технические характеристики широко используемых в народном хозяйстве электрокалориферных установок СФОЦ (рис. 4.70) приведены в табл. 4.22.

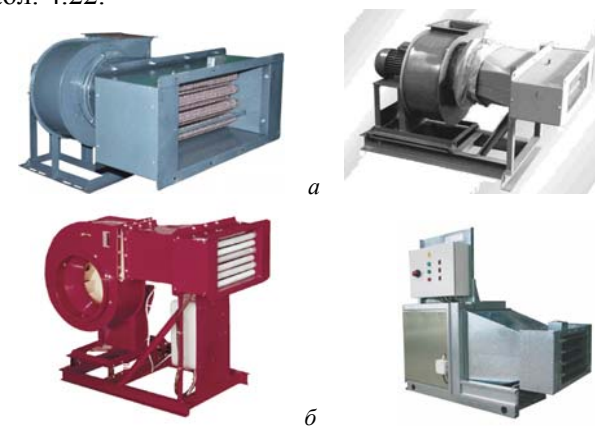


Рис. 4.70. Электрокалориферные установки серии СФОЦ: а – классическое исполнение (с гибкой вставкой); б – современное исполнение (жесткое соединение между электрокалорифером и вентилятором)

Технические характеристики электрокалориферных установок СФОЦ

Параметры	СФОЦ-16	СФОЦ-25	СФОЦ-40	СФОЦ-60	СФОЦ-100
Установленная мощность, кВт	16,1	23,6	47,2	69,7	97,5
Мощность электрокалорифера, кВт	15,0	22,5	45,0	67,5	90,0
Подача воздуха, м ³ /ч	1900	2500	3500	4000	5000
Подогрев воздуха, °С	30	35	50	65	70
Номер вентилятора	4	4	5	5	6,3
Потери давления воздуха, Па	500	500	900	1000	1000
Размеры, мм:					
– длина	1540	1540	1540	1540	1685
– ширина	790	790	887	887	1035
– высота	940	940	1140	1140	1380
Масса, кг	200	200	230	250	400

Примечание. Электрокалориферные установки имеют в своем составе электрокалорифер мощностью от 5 до 250 кВт и радиальный вентилятор (тип ВЦ4-75, рис. 4.49). В сельском хозяйстве для ОВС используются типы установок, указанные в таблице.

Электрокалориферы серии СФО (рис. 4.71) предназначены для комплектации: отопительных агрегатов применяемых в вентиляционных системах сельскохозяйственных помещений для нагрева воздуха и в системах для создания микроклимата в зданиях промышленного, коммунального, бытового и культурного назначения при условии, если окружающая среда невзрывоопасная и не содержит значительного количества токопроводящей пыли.



Рис. 4.71. Электрокалорифер типа СФО

Электрокалориферы СФО способны быстро нагреть воздух в помещении, могут применяться как основной или дополнительный источник тепла. Основным преимуществом данного оборудования является его экономичность и мобильность. Оправдано использование электрокалориферов СФО для вентиляции и сушки помещений.

4.135. Что собой представляют автоматизированные электрокалориферные системы микроклимата?

Автоматизированные электрокалориферные системы микроклимата (АЭСМ) включают в себя металлическую воздухозаборную камеру, в которой установлен электрокалорифер (СФО-40), основной и дополнительный вентиляторы, подключенные к воздухозаборной камере и подающие воздух в помещение через магистральный воздуховод (рис. 4.72).

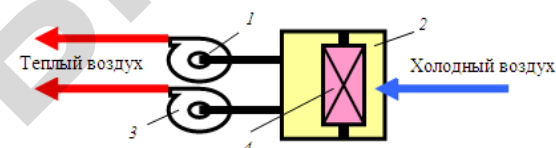


Рис. 4.72. Принципиальная схема АЭСМ:

1 – основной приточный центробежный вентилятор; 2 – воздухозаборная камера; 3 – дополнительный приточный центробежный вентилятор; 4 – электрокалорифер

Установленная мощность электрокалорифера составляет 45 кВт; воздухопроизводительность вентиляторов по 5000 м³/ч (при работе двух вентиляторов одновременно общая воздухопроизводительность составляет $L_{об} = 9000$ м³/ч).

Последнее время разработаны две основные модификации АЭСМ, которые предназначены для обеспечения заданных параметров воздушной среды (температуры, относительной влажности, газового состава воздуха) в различных животноводческих помещениях путем рационального вентилирования в различные периоды года и подогрева приточного воздуха в холодное время при дефиците теплоты (табл. 4.23).

Технические данные современных АЭСМ

Характеристики	АЭСМ-5	АЭСМ-60
Мощность общая, кВт, в том числе:	49,4	71,0
– электрокалорифера	45	60
– электродвигателя	4,4	11,0
Воздухопроизводительность, м ³ /ч:		
– летом, до	9000	18000
– зимой, до	3500	8000
Масса, кг	750	1050

4.136. Что собой представляют калориферы?

Калориферы служат для нагревания воздуха в системах воздушного отопления, кондиционирования воздуха, в сушильных установках и воздушных тепловых завесах.

Калориферы состоят из теплообменных элементов, собранных в трубные решетки на распределительно-сборных коллекторах, обеспечивающих многоходовое движение теплоносителя (в паровых калориферах многоходовое движение теплоносителя не организуется). На распределительно-сборных коллекторах имеются патрубки для подвода и отвода теплоносителя. К распределительно-сборным коллекторам присоединены боковые щиты, создающие проточное пространство для нагреваемого воздуха. Распределительно-сборные коллекторы и боковые щиты имеют отгибы с отверстиями с двух сторон образующие фланцы для присоединения калориферов к отопительно-вентиляционной системе (ОВС).

Используются в ОВС как самостоятельно, так и в составе специальных установок (например, тепловентиляторах типа ТВ). Основные технические данные представлены в табл. 4.24 и 4.25.

Таблица 4.24

Технические данные калориферов серий КВС (водяные) и КПС (паровые)

Номер калорифера	Площадь поверхности нагрева, м ²		Площадь живого сечения, м ²			Длина трубок, м
	КВСБ, КПС	КВББ, КПБ	по воздуху	по теплоносителю		
				КВСБ	КВББ	КПС, КПБ
6	12,92	17,22	0,267	0,00087	0,00116	0,53
7	15,92	21,22	0,329	0,00087	0,00116	0,655
8	18,96	25,29	0,392	0,00087	0,00116	0,78
9	22,02	28,34	0,455	0,00087	0,00116	0,905
10	28,11	37,48	0,581	0,00087	0,00116	1,155
11	80,3	107,08	1,66	0,00261	0,00348	1,655
12	120,36	160,49	2,488	0,00392	0,00522	1,655

Таблица 4.25

Технические данные калориферов серий КСк 3 и КСк 4 (водяные)

Номер калорифера	Площадь поверхности нагрева, м ²		Площадь живого сечения, м ²		
	КСк 3	КСк 4	по воздуху	по теплоносителю	
				КСк 3	КСк 4
1	2	3	4	5	6
6	13,26	17,42	0,267	0,000846	0,001112
7	16,34	21,47	0,329	0,000846	0,001112

Окончание табл. 4.25

1	2	3	4	5	6
8	19,42	25,52	0,392	0,000846	0,001112
9	22,50	29,57	0,455	0,000846	0,001112
10	28,66	37,66	0,581	0,000846	0,001112
11	83,12	110,05	1,66	0,002576	0,003410
12	125,27	166,25	2,488	0,003881	0,005151

Теплообменный элемент калориферов (рис. 4.73) типа КСк (водяные)² и КП-Ск (паровые)³ выполнен из стальной трубки наружным диаметром 21 мм, толщиной стенки 2 мм с плотно навитой по наружной поверхности стальной лентой с шагом навивки 3,5–0,5 мм, образующей оребрение наружным диаметром 42 мм. Калориферы типа КСк 3 и КП-Ск 3 имеют три ряда теплообменных элементов по ходу движения воздуха, а калориферы типа КСк 4 и КП-Ск 4 – четыре ряда.



Рис. 4.73. Калориферы биметаллические серии КСк 3 и КСк 4

Воздух, проходящий через калорифер, не должен содержать липких веществ и волокнистых материалов; запыленность не должна превышать 0,5 мг/м³. Теплоносителем для калориферов типа КСк, КП-Ск служит горячая вода с температурой до 180 °С и рабочим давлением до 1,2 МПа. Теплоносителем для калориферов типа КП-Ск, КП-Ск служит пар с температурой до 190 °С и рабочим давлением до 1,2 МПа.

Калориферы изготавливаются в соответствии с [22].

² Новое обозначение ВНВ (воздухонагреватели водяные).

³ Новое обозначение ВВП (воздухонагреватели паровые).

Одним из самых компактных и самых эффективных современных калориферов является промышленный приточный водяной калорифер *AVS* (рис. 4.74). Так как он изготовлен из медных трубок и алюминиевых пластин, его вес достаточно мал. Корпус изготовлен из оцинкованного листового металла. Крышка легко снимается после откручивания 4 винтов. Чистка и проверка нагревателя осуществляется после снятия верхней крышки. Это позволяет устанавливать его в составе сборных систем вентиляции, на высоте и в труднодоступных местах.

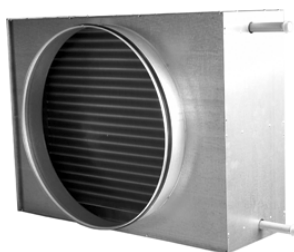


Рис. 4.74. Водяной калорифер *AVS*

Водяной калорифер *AVS* обладает большим сроком эксплуатации и не требует обслуживания высококвалифицированными специалистами; он имеет конструктивную особенность – не является законченным самостоятельным техническим продуктом. Лучше его приобретать в составе всей приточной системы вентиляции и с необходимой системой автоматики.

Водяные калориферы *AVS* имеют типоразмеры: 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400 и 500 (тепловая мощность от 1 до 56 кВт) и работают в трех температурных режимах подачи воды: 60/40, 80/60 и 90/70 °С.

Рабочие параметры водяных калориферов *AVS* можно рассчитывать, используя компьютерную программу подбора, находящуюся на сайте фирмы *SALDA*; там же приведены основные характеристики [23].

4.137. Что такое теплогенераторы?

Теплогенераторы представляют собой установку для нагрева воздуха продуктами сгорания жидкого (или газообразного) топлива (рис. 4.75). В конструкции предусмотрен нагрев воздуха через разделяющую поверхность нагрева с целью исключения возможности перемешивания воздуха с продуктами сгорания.



Рис. 4.75. Теплогенераторы типа ТГ

Теплогенераторы предназначены для воздушного отопления и вентиляции животноводческих, птицеводческих ферм, теплиц, промышленных зданий, производственных цехов и ангаров. Они активно используются для сушки сельскохозяйственной продукции.

Основные характеристики некоторых теплогенераторов, работающих на жидком ТГЖ (печное, бытовое и дизельное) и газообразном топливе ТГГ, приведены в табл. 4.26.

Таблица 4.26

Технические данные теплогенераторов

Генератор	Тепловая мощность, кВт	Подача воздуха, м ³ /ч	Расход топлива, кг/ч	КПД, %	Масса, кг
ТГ-1А	116	6000	12	85	325
ТГ-1,5	175	14 000	16,8	87	490
ТГ-2,5А	290	17 000	29	88,5	625
ТГ-3,5	408	25 000	39	90	745
ТГА-250	290	24 000	29	90	680
ТГА-500	580	27 500	58	89	1070
ТГЖ-0,9	90	5000	7–9,6	88,5	145
ТГГ-0,06	60	3000	5,1	88,5	105
ТГЖ-0,18	180	17 000	17	91,5	540
ТГГ-0,29	290	17 000	31	91,5	640
ТВГ-30	30	2000	15–20	95	–

Примечания:

* при использовании газообразного топлива его расход принят в м³/ч;

** работает на дровах и отходах древесины влажностью не более 40 %, кроме опилок

4.138. Что такое тепловоздушные агрегаты?

Современной разновидностью теплогенераторов являются тепловоздушные агрегаты. Они предназначены для отопления (обогрева) производственных помещений, удаленных от систем централизован-

ного отопления, путем подачи нагретого воздуха по воздуховодам к распределителям в выбранные зоны, а также сушки сена, зерна, овощей и фруктов.

Агрегаты надежны и высокоэффективны (рис. 4.76), просты в обслуживании. Изготавливаются с использованием высококачественных комплектующих и материалов: теплообменник из нержавеющей стали, колосники и своды из жаропрочного чугуна, изоляция из огнеупорного бетона и т. д.



Рис. 4.76. Теплогенератор универсальный ТВГ-100

Системы воздушного отопления и сушки древесины на базе этих агрегатов состоят из воздухонагревателя, шкафа управления и вентиляционной системы. Простота отопительной схемы обеспечивает ее надежность и высокий КПД (до 95 %). Теплота от сгоревшего топлива (опилки, стружка, щепа, дрова влажностью не более 40 %) сразу передается воздуху через высокоэффективный теплообменник. Воздухонагреватели позволяют исключить строительство котельной, теплотрассы, системы отопительных приборов. Основные технические характеристики приведены в табл. 4.27 и в [24].

Таблица 4.27
Технические данные тепловоздушных агрегатов

Характеристики	ТВО-1ТМ	ТВО-3МУ	ТВГ-100	ТВГ-80М
Тепловая мощность, кВт	150	250	100	80
Подача воздуха, м ³ /ч	8000	10 000	6500	3500
Расход топлива, кг/ч	60	80	40–100	50
Мощность двигателя, кВт	7,7	11	6,6	4,5
Масса, кг	3800	5000	4000	1500

4.139. Что такое тепловентиляторы?

Тепловентиляторы представляют собой компактную установку (рис. 4.77), в состав которой входят водяной калорифер (типа КСк 4), двухскоростной вентилятор и центральный пульт управления «Приток», рассчитанный на управления двумя установками одновременно (при задании одинаковых параметров, т. е. установленных в одном помещении) [26]. Основные типоразмеры установок и их технические параметры приведены в табл. 4.28.

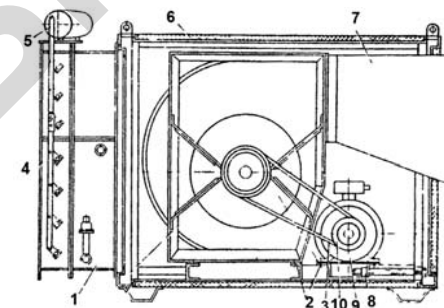


Рис. 4.77. Общий вид тепловентилятора типа ТВ:

- 1 – каркас; 2 – вентилятор; 3 – клиноремная передача; 4 – жалюзийный блок; 5 – исполнительный механизм; 6 – теплозвукоизоляционная панель; 7 – патрубок; 8 – натяжное устройство; 9 – электродвигатель вентилятора; 10 – шкивы

Таблица 4.28

Технические данные тепловентиляторов типа ТВ

Тепло-вентилятор	Подача воздуха, тыс. м ³ /ч	Тепловая мощность, кВт	Установленная мощность электродвигателей, кВт	Масса, кг, не более
ТВ-6	3/6*	70	0,55/2,2	230
ТВ-9	4,5/9	93	2,3/3,7	280
ТВ-12	6/12	128	3,2/5,2	325
ТВ-18	9/18	186	4,2/7,1	410
ТВ-24	12/24	209,3	6/9	650
ТВ-36	18/36	267,4	9/13	680

Примечание. * В числителе указана мощность для первой ступени частоты вращения; в знаменателе – для второй ступени частоты вращения электродвигателя.

На современном этапе используют и реконструированные тепловентиляторы на базе осевого вентилятора среднего давления ВСД-8, с сохранением основных элементов их конструкции, которые пред-

назначены для вентиляции общественных, промышленных и сельскохозяйственных предприятий. Использование вентилятора ВСД-8 (табл. 4.29), имеющего улучшенные аэродинамические характеристики и оснащенного односкоростным электродвигателем позволило уменьшить установленную мощность, отказаться от клинременной передачи и подшипника вала рабочего колеса.

Таблица 4.29

Технические характеристики вентилятора ВСД-8,0

Характеристики	Значение
Номинальная подача воздуха, тыс. м ³ /ч	15–20
Номинальное давление воздуха, Па	300–450
Частота вращения рабочего колеса, об/мин	1410
Установленная мощность электродвигателя, кВт	4
Масса, кг, не более	105
Габаритные размеры, мм, не более	550×1000×1150

Предлагаемые тепловентиляторы конструктивно обеспечивают высокую надежность и стабильность параметров в течение всего срока эксплуатации и используются для реконструкции существующих вентиляционных систем животноводческих помещений (табл. 4.30).

Таблица 4.30

Технические характеристики реконструированных тепловентиляторов

Характеристики	ТВ-9,1	ТВ-18,1
Подача воздуха, тыс. м ³ /ч (летний режим/зимний режим)	5,5/9,0	9,0/18,0
Тепловая мощность, кВт	80	160
Калорифер	КСк 4–8	КСк 4–10
Полное давление, Па	240	200
Установленная мощность электродвигателя, кВт	1,5	2,2

Для сельскохозяйственного производства разработаны специальные конструкции тепловентиляторов (рис. 4.78), технические характеристики которых представлены в табл. 4.31. Теплоносителем является горячая вода с параметрами – 95/70 °С.

Корпус тепловентиляторов изготовлен на базе каркаса из стального профиля прямоугольного сечения, к которому крепятся съемные панели из оцинкованной стали. В качестве привода радиального канального вентилятора типа ВКРц используются асинхронные электродвигатели типа АИР.

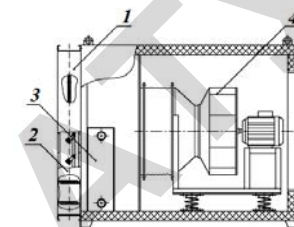


Рис. 4.78. Устройство тепловентилятора:

1 – клапан обводной утепленный; 2 – клапан воздухозаборный утепленный; 3 – воздухонагреватель (водяной калорифер типа КСк); 4 – вентилятор

Таблица 4.31

Технические характеристики тепловентиляторов

Характеристики	ТВ-6,1М	ТВ-9,1М	ТВ-9,1М	ТВ-18,1М
Подача воздуха, тыс. м ³ /ч	3,0/6,0	5,5/9,0	5,5/9,0	9,0/18,0
Тепловая мощность, кВт	60	80	110	160
Калорифер	КСк 4–7	КСк 4–8	КСк 4–9	КСк 4–10
Полное давление, Па	350	250	250	400
Мощность электродвигателя, кВт	2,2	2,2	2,2	7,5
Масса, кг	250	280	340	450

4.140. Что такое воздушные тепловые завесы?

Воздушной завесой называют как сам поток воздуха, «запечатывающий» дверной проем, так и прибор, который этот поток создает. Воздушные завесы предназначены для разделения зон с разной температурой по обе стороны открытых проемов рабочих окон, входных дверей и ворот.

Воздушные завесы подразделяются на несколько больших групп. По расположению (способу установки): горизонтальные завесы и вертикальные завесы. По способу нагрева: воздушные завесы с электрическим, водяным или газовым обогревом (рис. 4.79); воздушные завесы без нагрева. По типоразмеру: минизавесы, средние воздушные завесы и большие (высокорасходные) воздушные завесы.

Правильно установленная воздушная завеса снижает потери тепла на 90 % и улучшает тепловой комфорт в помещении. Воздушные завесы не допускают проникновения сквозняков, сохраняют тепло и обеспечивают великолепную возможность магазинам держать двери открытыми в зимнее время года для привлечения покупателей.

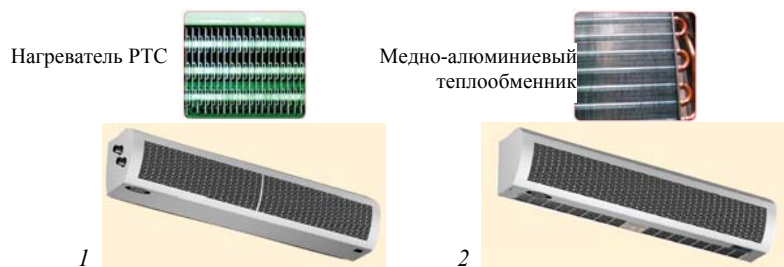


Рис. 4.79. Воздушные минизавесы GENERAL CLIMATE (Великобритания):
1 – с электрическим нагревателем; 2 – с водяным обогревом

В летнее время воздушные завесы могут работать без включения нагревательных элементов, оберегая охлаждаемые помещения от проникновения тепла и удерживая кондиционируемый воздух, защищая от попадания пыли и насекомых (рис. 4.80). Дополнительные функции воздушных завес представлены на рис. 4.81.

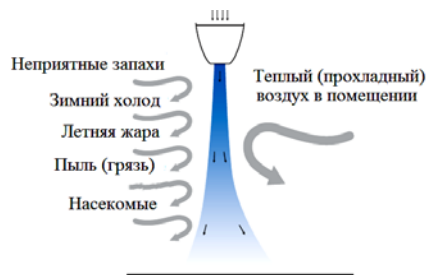


Рис. 4.80. Функциональные возможности воздушных завес

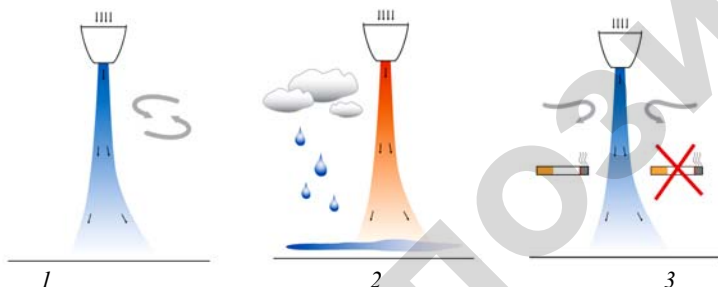


Рис. 4.81. Специфические функции воздушных завес:
1 – зонирование (разделение зон, например, курящих и некурящих);
2 – осушение и обогрев (с воздухонагревателями); 3 – циркуляция (помогает циркуляции воздуха в просторных помещениях)

Мощность электрических нагревателей воздушных минизавес находится в диапазоне от 1 до 9 кВт при расходе воздуха 250–2900 м³/ч. Тепловая мощность воздушных минизавес с водяным обогревом составляет 8–18 кВт в том же диапазоне расхода воздуха. Одна минизавеса защищает, как правило, проем шириной 1 м и высотой до 2,3 м.

Завесы воздушные средне- и высокорасходные предназначены для защиты производственных цехов (включая объекты АПК), производственно-складских и подобных помещений от попадания холодного воздуха с улицы. Они относятся к промышленному типу воздушных завес и предназначены для внутренней установки над или возле ворот. Высота или ширина перекрываемого проема от 2 до 6 м. Производительность завес по воздуху составляет от 3900 до 8400 м³/ч.

4.141. Как подобрать воздушные тепловые завесы?

При выборе воздушной завесы, прежде всего, следует обращать внимание на структуру потока, импульс струи и уровень шума. Необходимо учитывать также и внешние факторы: скорость и направление ветра, разность давлений и температур, частоту и продолжительность открытых дверей и др. Таким образом, основными критериями выбора завесы являются: ее назначение, высота и ширина проема, тип установки (горизонтальная или вертикальная) и тип завесы (без нагрева, с электрическим нагревом, с водяным нагревом).

Воздушные завесы с подогревом осушают пространство, примыкающее к входным дверям, придают комфорт в ощущении и удовлетворяют потребности в дополнительной теплоте к существующему обогреву помещения. Подогрев воздуха очень важный фактор для выбора воздушных завес, так как воздушные завесы с воздухонагревательными элементами осушают пол и пространство, примыкающее к входным дверям, а также дают дополнительный подогрев воздуха. Это идеальное решение для магазинов, торговых центров, учебных заведений и производственных помещений (ремонтные мастерские, помещения содержания животных при часто открываемых дверях или воротах и другие).

Завесы без подогрева устраняют теплопотери так же эффективно, как и завесы с подогревом, однако в некоторых случаях следует учитывать, что не подогретый воздушный поток может вызывать ощущение сквозняка.

Необходимая дополнительная теплота определяется исходя из оценки факторов, является ли воздушная завеса единственным источником

обогрева в помещении, разницей температур воздуха между холодной и теплой воздушными зонами и затратами. Воздушные завесы с водяной воздушнонагревательной секцией обеспечивают значительно больший теплосъем, чем завесы с электрической секцией.

4.142. Как осуществляется монтаж воздушных тепловых завес?

Следует помнить, что независимо от вида выбранной завесы (с нагревательными элементами или без них), воздушный поток завесы должен быть направлен так, чтобы основная его часть возвращалась в помещение, не забирая воздух снаружи.

Именно для этих целей струю следует направлять под углом 10–15° в сторону наружных помещений или улицы. При защите проемов холодильных комнат, завесы следует устанавливать снаружи, в примыкающей тепловой зоне под наклоном 15° к ней. Такая установка исключает возможность выдувания холодного воздуха в виде сквозняков в теплое помещение.

Для предотвращения холодных сквозняков вблизи пола следует примерно 30 % полного потока воздуха направлять наружу. Плоскость разделения воздушного потока должна находиться посередине дверного проема или несколько выдвинута из помещения. Скорость потока воздуха у пола должна достигать около 2 м/с (рис. 4.82).

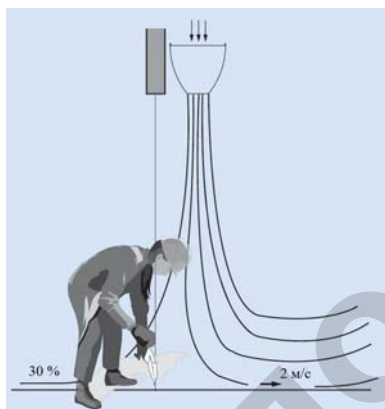


Рис. 4.82. Монтаж воздушной завесы

Ориентация и способы установки средне- и высокорасходных воздушных завес показаны на рис. 4.83.

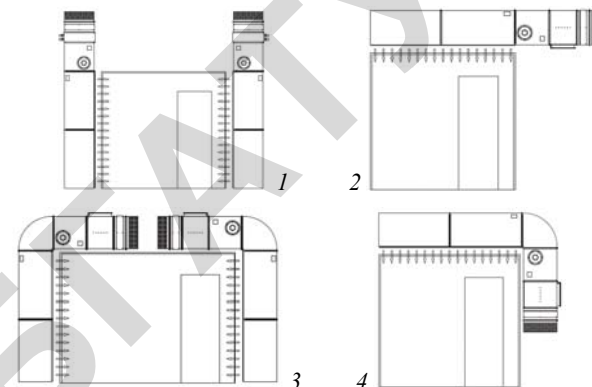


Рис. 4.83. Способы установки воздушных завес промышленного типа:
1 – односторонняя завеса с установкой сверху; 2 – двухсторонняя завеса с установкой сбоку; 3 – односторонняя Г-образная завеса с установкой сверху; 4 – двухсторонняя Г-образная завеса с установкой сбоку

4.143. Что такое фанкойл?

Фанкойл⁴ – это устройство, основной функцией которого является регулирование температуры воздуха в помещениях. Фанкойлы, как правило, состоят из теплообменника с вентилятором, фильтра, пульта управления.

Принцип работы фанкойла (рис. 4.84) состоит в следующем. Воздух, находящийся в помещении, поступает на теплообменник фанкойла. В нем он приобретает необходимую температуру – охлаждается или нагревается. Преимуществами фанкойлов является то, что свежий воздух в него может поступать либо из центрального кондиционера, либо из приточной установки. Это помогает также решить проблему вентиляции в помещении, установив систему с чиллерами и фанкойлами.

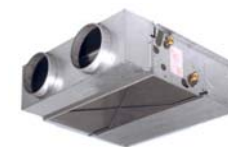


Рис. 4.84. Общий вид фанкойла SLIM серии FSL канального типа

⁴ Вентиляторный доводчик (англ. fan coil unit, от fan – вентилятор и coil – теплообменник; также англ. air handling unit – узел подготовки воздуха).

По способу установки фанкойлы могут быть напольными, настенными, также могут монтироваться под навесным потолком или встраиваться в воздуховоды (канального типа).

Основное предназначение фанкойла – отопление или охлаждение помещений, устройство тепловых завес.



Рис. 4.85. Общий вид вентиляционных агрегатов с рекуперацией теплоты типа *RIS HE 2000–5000*

Утилизация теплоты вытяжного воздуха – это процесс вторичного использования тепловой энергии в системе вентиляции. Теплота вытяжного вентиляционного воздуха – основной вторичный энергоресурс (ВЭР) производственных, жилых и общественных зданий. Расход теплоты на нагрев вентиляционного воздуха в жилых зданиях составляет 40–50 % расхода на отопление, в производственных и общественных достигает 40–80 %. В промышленных зданиях кроме теплоты вытяжного воздуха к ВЭР относятся уходящие газы топливоиспользующего оборудования, котельных и др.

Для утилизации теплоты используются теплоутилизационные установки различных типов.

4.145. Что собой представляют теплоутилизационные установки?

Теплоутилизационные установки – это вентиляционно-отопительные установки с утилизацией (рис. 4.85, 4.86), использующие теплоту вытяжного воздуха помещений (вторичных тепловых ресурсов, ВЭР) для нагрева свежего приточного воздуха. Они предназначены для вентиляции производственных, животноводческих и общественных помещений. В этом случае в качестве вторичных источников теплоты рассматриваются:

- теплота воздуха, удаляемого системами общеобменной вентиляции, кондиционирования воздуха и местных отсосов;
 - теплота потоков жидкостей и газов от технологических установок.
- Применяемые в вентиляции и кондиционировании воздуха утилизаторы теплоты удаляемого воздуха подразделяются на четыре типа:
- перекрестноточные и противоточные рекуперативные теплообменники пластинчатого типа;
 - регенеративные теплообменники с вращающейся насадкой;
 - теплообменники-утилизаторы с промежуточным теплоносителем;
 - теплообменники-утилизаторы на тепловых трубах.

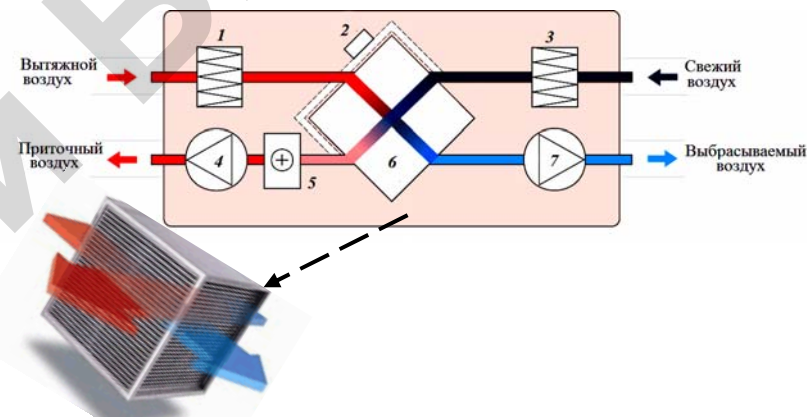


Рис. 4.86. Принципиальная схема вентиляционного агрегата с рекуперацией теплоты типа *RIS HE*:

1 – фильтр для вытяжного воздуха; 2 – воздухообводный клапан; 3 – фильтр для свежего воздуха; 4 – вентилятор приточного воздуха; 5 – электрический нагреватель; 6 – пластинчатый теплообменник; 7 – вентилятор вытяжного воздуха

Вентиляционные агрегаты с рекуперацией теплоты типа *RIS HE 2000–5000* (табл. 4.32, 4.33) очищают, нагревают и подают свежий воздух. Установки извлекают теплоту у выходящего воздуха и передают его поступающему воздуху. Они снабжены производительными и бесшумными вентиляторами (в некоторых установках применяются вентиляторы с ременной передачей). Пластинчатые теплообменники, используемые в теплоутилизационных установках, имеют эффективность теплопередачи 58–62 %, а роторные теплообменники – 74–75 %. Агрегаты предназначены для очистки, подогрева и подачи чистого воздуха в помещения и используются только в системах вентиляции и кондиционирования чистого воздуха.

Таблица 4.32

Технические характеристики вентиляционных агрегатов с рекуперацией теплоты типа *RIS*

Характеристики	2000HE	3000HE	4000HE	5000HE
Подача (вытяжка) воздуха, м ³ /ч	2000	3000	4000	5000
Мощность вентиляторов, кВт	1,5	2,5	2,2	3,0
Мощность нагревателя, кВт	15	24	27	33
Масса, кг	328	395	500	570

Таблица 4.33

Технические характеристики вентиляционных агрегатов с рекуперацией теплоты типа *RRIS*

Характеристики	400VE	700VE	1500VE
Подача (вытяжка) воздуха, м ³ /ч	400	700	1500
Мощность вентиляторов, кВт	0,19	0,3	0,28
Мощность нагревателя, кВт	1,2	2,0	4,5
Масса, кг	79	104	170

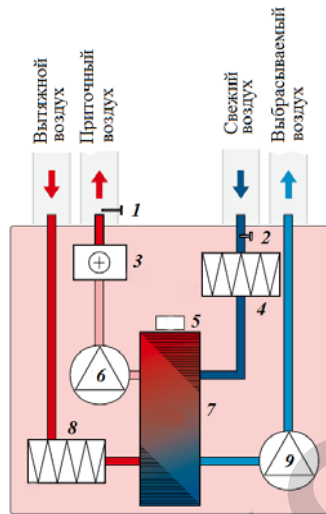


Рис. 4.87. Принципиальная схема вентиляционного агрегата с рекуперацией теплоты типа *RRIS VE*:

1, 2 – температурные датчики воздуха; 3 – электрический нагреватель; 4 – фильтр для свежего воздуха; 5 – мотор роторного теплообменника; 6 – вентилятор приточного воздуха; 7 – роторный теплообменник; 8 – фильтр для вытяжного воздуха; 9 – вентилятор вытяжного воздуха

Компания *Systemair* выпускает широкую гамму вентиляционных агрегатов с утилизацией теплоты (рис. 4.88). Они с успехом могут использоваться в системах вентиляции жилых, коммерческих и производственных зданий.

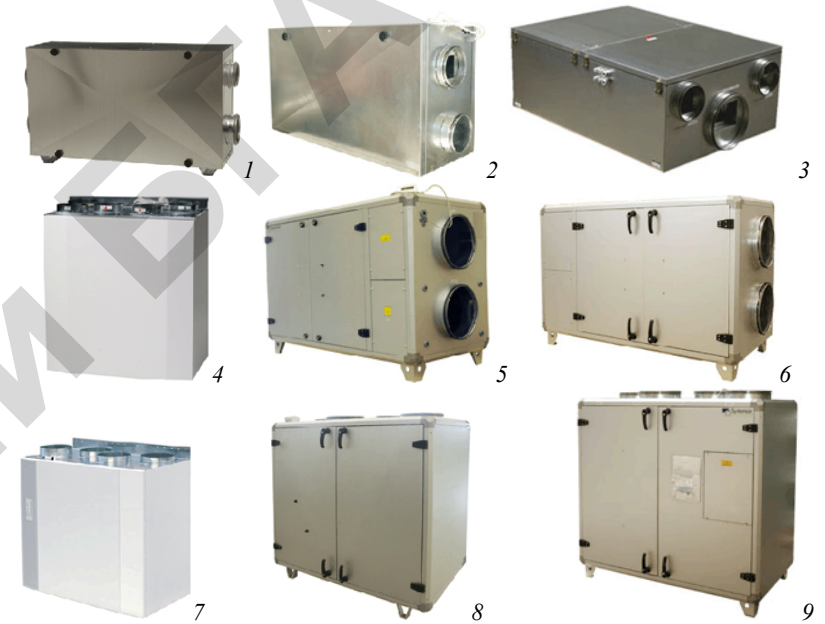


Рис. 4.88. Приточно-вытяжные вентиляционные агрегаты с утилизацией теплоты: горизонтальные:

1 – *VXE* (с перекрестно-точным утилизатором, до 700 м³/ч); 2 – *VR E* (с перекрестно-точным утилизатором, до 700 м³/ч); подпотолочные: 3 – *MAXI* (с пластинчатым утилизатором, до 2200 м³/ч); вертикальные: 4 – *VR EV* (с роторным утилизатором, до 700 м³/ч); горизонтальные: 5 – *TOPVEX SR* (с роторным утилизатором, 180–6500 м³/ч); 6 – *TOPVEX SX* (с пластинчатым утилизатором, 180–3200 м³/ч); вертикальные: 7 – *VX EV* (с перекрестно-точным утилизатором, до 700 м³/ч); 8 – *TOPVEX TR* (с роторным утилизатором, 180–6500 м³/ч); 9 – *TOPVEX TX* (с пластинчатым утилизатором, 180–3200 м³/ч)

Вентиляционные агрегаты с утилизацией тепла *Systemair* объединяют и характеризуют следующие особенности:

- малые габаритные размеры оборудования позволяют использовать его при нехватке свободного пространства;
- применение интегрированных и предварительно настроенных наборов автоматики;

- возможность управления производительностью вентиляторов;
- высокая энергетическая эффективность пластинчатых и роторных утилизаторов теплоты и низкий уровень шума.

Теплоутилизационные установки (рис. 4.89, табл. 4.34, 4.35), разработанные в Республике Беларусь, предназначены для обогрева и вентиляции животноводческих и птицеводческих помещений с использованием теплоты удаляемого воздуха.



Рис. 4.89. Общий вид утилизационной установки типа УТ

Таблица 4.34

Технические характеристики утилизационных установок типа УТ

Характеристики	УТ-5	УТ-10	УТ-15	УТ-15В	УТ-20
Подача (вытяжка) воздуха, м ³ /ч	5400	9700	15200	15700	16700
Мощность вентиляторов, кВт	5,5	5,5	15,0	15,0	15,0
Масса, кг	1345	2060	2420	2560	2770

Таблица 4.35

Технические характеристики утилизационных установок типа УТ-Ф-12

Характеристики	Значение
Подача (вытяжка) воздуха, тыс. м ³ /ч	12
Тепловая мощность ($\Delta t = 40 \text{ }^\circ\text{C}$), кВт	64
Количество тепловых трубок, шт.	200
Коэффициент эффективности утилизатора	0,5
Размеры, мм	3000×2500×1400
Масса, кг	2150

Конструктивно установка представляет собой приточно-вытяжной вентиляционный агрегат. Корпус установки состоит из алюминиевого каркаса, к которому крепятся съемные или несъемные панели из оцинкованной стали с теплоизоляцией толщиной 25 мм. На корпусе крепятся приточные и вытяжные клапаны. Для очистки свежего воздуха в приточном канале устанавливаются воздушные фильтры класса очистки *EU-3* или *EU-4*.

Теплоутилизатор представляет собой теплообменник, состоящий из оребренных алюминиевых тепловых трубок.

4.146. Как выбрать и рассчитать калориферы системы воздушного отопления?

Исходными данными к расчету и выбору водяных и паровых калориферов являются тепловая мощность калориферной установки (Φ_0 , кВт), расход воздуха (L , м³/ч), а также температура подаваемого в помещение воздуха ($t_{п}$) и поступающего воздуха на подогрев в калориферы ($t_{н}$).

Расчет калориферов необходимо выполнять в следующей последовательности. Вычислить требуемую площадь живого сечения для прохода воздуха, м²:

$$f = \frac{L\rho}{3600 \cdot (v\rho)},$$

где ρ – плотность воздуха (принимается 1,2 кг/м³);

$(v\rho)$ – массовая скорость воздуха (принимается в пределах 4–10 кг/(м²с)).

Пользуясь техническими данными калориферов (табл. 4.24, 4.25) и исходя из требуемой площади живого сечения, подобрать номер и число калориферов, устанавливаемых в одном ряду параллельно воздушному потоку (рис. 4.90, 4.91). Уточнить массовую скорость воздуха с учетом действительного живого сечения (f_T) применяемых калориферов:

$$(v\rho)_y = \frac{L\rho}{3600 \cdot f_T}.$$

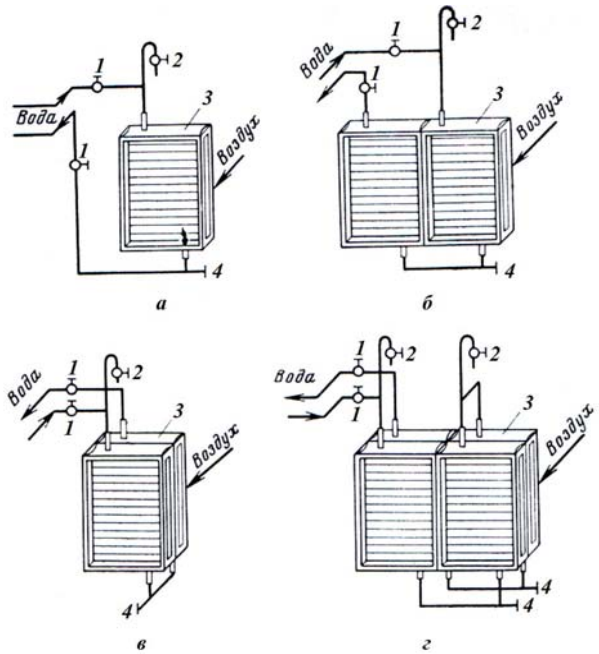


Рис. 4.90. Схема подключения калориферов к водяной сети:

a, б – соответственно одного и двух калориферов, установленных параллельно по воздуху; *в* – двух калориферов, установленных последовательно по воздуху; *г* – четырех калориферов, установленных параллельно-последовательно по воздуху; *1* – вентили; *2* – воздушные краны; *3* – калориферы; *4* – тройник с пробкой

Определить скорость горячей воды в трубках калорифера, м/с:

$$\omega = \frac{\Phi_0}{C_{\text{ВРВ}}(t_{\text{Г}} - t_{\text{О}})f_{\text{ТР}}},$$

где $C_{\text{В}}$ – удельная изобарная теплоемкость воды, кДж/(кг·К);
 $\rho_{\text{В}}$ – плотность воды, кг/м³;
 $t_{\text{Г}}$ – расчетная температура горячей воды, °С;
 $t_{\text{О}}$ – расчетная температура обратной воды, °С;
 $f_{\text{ТР}}$ – площадь живого сечения трубок, м².

Средняя скорость воды в трубках калорифера должна находиться в пределах 0,2–0,5 м/с.

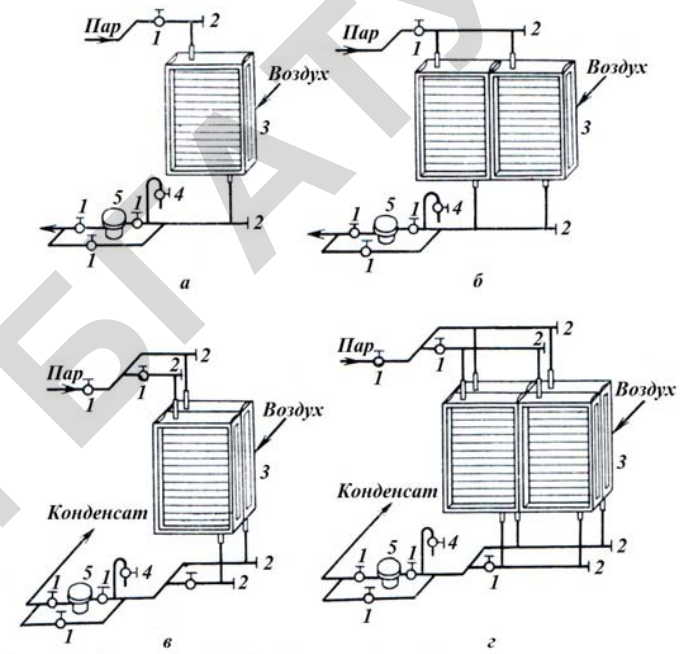


Рис. 4.91. Схема подключения калориферов к паровой сети:

a, б – соответственно одного и двух калориферов, установленных параллельно по воздуху; *в* – двух калориферов, установленных последовательно по воздуху; *г* – четырех калориферов, установленных параллельно-последовательно по воздуху; *1* – вентили; *2* – тройники с пробкой; *3* – калориферы; *4* – воздушные краны; *5* – конденсатоотводчики

Найти значение коэффициента теплопередачи:

– для водяных калориферов:

$$K = a \cdot (\nu\rho)^n w^r;$$

– для паровых калориферов:

$$K = a \cdot (\nu\rho)^n l^r,$$

где a – коэффициент, зависящий от конструкции калорифера (табл. 4.36);
 n, r – показатели степени (табл. 4.36);
 l – длина трубок, м.

Таблица 4.36

Коэффициенты и показатели степени в расчетных формулах

Марка калорифера	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>r</i>
КВСБ	23,05	5,980	1,525	0,350	0,130
КВББ	21,85	8,270	1,525	0,350	0,130
КСк 3	26,20	5,765	1,832	0,440	0,170
КСк 4	22,80	8,435	1,705	0,500	0,158
КПС	23,72	5,980	1,525	0,328	-0,052
КПБ	22,74	8,270	1,525	0,328	-0,052
КП-Ск 3	27,02	5,765	1,832	0,400	-0,068
КП-Ск 4	23,30	8,435	1,705	0,474	-0,038

Рассчитать требуемую площадь поверхности теплообмена калориферной установки, м²:

$$A = \frac{1000 \cdot \Phi_0}{K \cdot (t_{CP} - t_{CP}')},$$

где t_{CP} – средняя температура теплоносителя, °С;
 t_{CP}' – средняя температура нагрева воздуха, °С.

Среднюю температуру водяного пара принять равной температуре насыщения по таблицам водяного пара или из справочной литературы, а среднюю температуру горячей воды – среднему арифметическому значению температуры горячей и обратной воды.

Определить необходимое число калориферов:

$$N = \frac{A}{A_K},$$

где A_K – площадь поверхности нагрева одного калорифера, м².

Расчет считается законченным, если калориферы, подлежащие установке, имеют запас по поверхности нагрева, не превышающий 10 % при теплоносителе – водяном паре и 20 % при теплоносителе – горячей воде.

4.147. Основные направления энергосбережения при отоплении и вентиляции производственных помещений.

Проблему экономии энергоресурсов в сельском хозяйстве решают в трех направлениях:

- путем использования возобновляемых источников энергии (солнца, ветра, биогаза);
- путем использования ВЭР промышленных предприятий, а также утилизации сбросной теплоты ферм и комплексов;
- повышением тепловой защиты зданий, совершенствованием ОВС, улучшением систем регулирования и автоматизации сельскохозяйственных процессов.

Улучшение теплоизоляционных характеристик зданий является эффективным средством уменьшения потерь теплоты из помещений, но для животноводческих помещений это не является решающим фактором, вследствие чего изменяются теплоэнергетические особенности (последствия) ее применения. Другой своеобразной чертой теплоэнергетики животноводческих помещений является и то, что животных необходимо рассматривать как значительный источник теплоты и влаги.

4.148. Факторы, влияющие на энергопотребление производственными помещениями АПК.

Факторы, влияющие на энергетические потребности животноводческих помещений, можно разделить на две группы:

1. Факторы, которые изменяются вне зависимости от желания человека (т. е. нет реальной возможности их коррекции): объективные характеристики, определенные видом и возрастом животных; количество отданных животными теплоты и влаги; температура наружного воздуха и ее изменение в данной географической зоне.

2. Факторы, которые можно изменить в интересах более экономного использования энергии в целях отопления: теплоизоляция зданий; воздухообмен и система раздачи воздуха в помещении; температура воздуха внутри помещения.

Большое значение следует уделять уменьшению потерь теплоты через пол. Опыты показывают, что изоляция пола при помощи слоя с термическим сопротивлением, равным 1–2 м²К/Вт, снижает тепловые потери через пол на 80–90 %.

Увеличение воздухообмена на 20–30 % в животноводческом помещении при неизменных общей массе животных и их поголовья с точки зрения длительности отопительного периода равнозначно двукратному снижению величины теплоизоляционных свойств здания. Это, в свою очередь, означает, что длительность периода отопления, который является главным показателем годовых затрат энергии на отопление, может быть снижена в первую очередь не за счет устройства дорогостоящей теплоизоляции, а при помощи обеспечения минимального уровня вентиляции в зимнее время или с помощью тщательной настройки вентиляционного оборудования, включая утилизацию теплоты.

4.149. Основные пути повышения эффективности ОВС.

Основные пути повышения эффективности ОВС:

– правильный расчет ОВС с учетом норм минимального воздухообмена, внутренней температуры воздуха, рекомендаций по термическому сопротивлению ограждений:

$$R_{(\text{стен и пола})} > 3,2 \text{ м}^2\text{К/Вт};$$

$$R_{(\text{перекрытия})} > 6,0 \text{ м}^2\text{К/Вт};$$

– рациональное использование современных схем устройства ОВС с учетом вида животных (птицы) и способа их содержания;

– оптимальное расположение раздаточных воздухопроводов и приточных шахт, а также специального оборудования (тепловых завес, приточно-вытяжных и теплоутилизационных установок);

– применение новых технических решений ОВС, включая системы местного обогрева молодняка.

Следует помнить, что утилизация теплоты, содержащейся в вытяжном воздухе, обеспечивает до 20 % экономии теплоты, используемой на подогрев приточного воздуха, подаваемого в помещение.

4.150. Современные схемы ОВС для содержания птицы.

Система вентиляции птичника формирует температурно-влажностные параметры птичника. Эти параметры микроклимата индивидуальны для различных видов птиц и периодов их жизни.

К основным видам вентиляции птичников относятся (рис. 4.92):

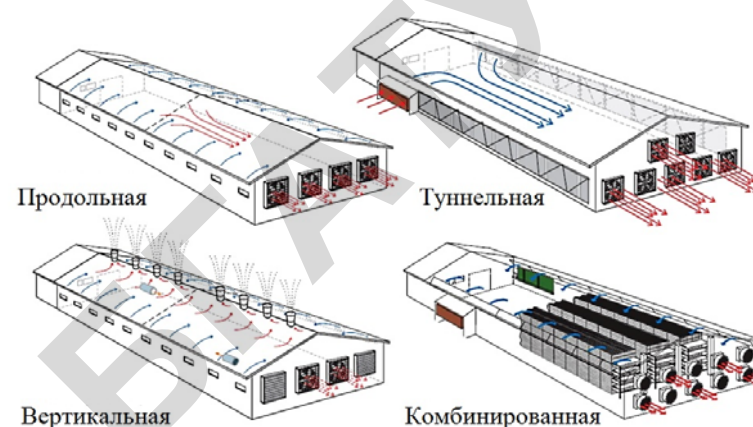


Рис. 4.92. Современные типовые схемы устройства вентиляции в птичниках

– продольная вентиляция – построена по принципу поперечной вентиляционной системы, но движение воздушных масс происходит вдоль помещения, т. к. вентиляторы установлены на торцевой стене;

– туннельная вентиляция – построена по принципу продольной вентиляции, за исключением того, что приточный воздух поступает при помощи вентиляционных жалюзи, которые смонтированы на противоположной стороне от вентиляторов. При этом создается «туннельный эффект»;

– вертикальная вентиляция – вытяжка воздуха производится через вентиляционные люки в крыше птичника. Уличный воздух поступает через приточные клапаны, расположенные с обеих сторон птичника;

– поперечная вентиляция – вытяжка воздуха производится через вентиляторы, расположенные по одной стороне здания. Уличный воздух заходит в клапаны, расположенные на противоположной стороне птичника. Система снабжена регулировочным механизмом и позволяет менять скорость вращения вентиляторов.

Существуют некоторые особенности вентилирования помещений при различных погодных условиях. Так, например, зимой целесообразно использовать вентиляционную систему с небольшим воздухообменом, а в жаркий период оптимальным является комбинированная вентиляция: туннельная совмещенная с поперечной вентиляцией. Помимо этого, при выращивании цыплят, обычно вентиляцию полностью отключают на первые три дня, и воздух увлажняют до необходимого значения.

При клеточном содержании птицы оптимальным является применение туннельной вентиляции, которая позволяет избежать застоев воздуха. Обычно для птичников применяются вентиляторы повышенной производительности; клапаны для притока воздуха снабжены электроприводом, что позволяет регулировать скорость движения воздушных масс.

Для отопления помещения на многих птицеводческих комплексах применяются газовые нагреватели мощностью от 30 до 250 кВт. В случае использования подвесных газовых нагревателей (рис. 4.93), особенно для птичников большой протяженности, рекомендуется одновременно устанавливать так называемые разгонные вентиляторы ОВР-4,0 (4500 м³/ч), достаточно высокая производительность которых обеспечивает минимальный перепад температуры по всему объему помещения (рис. 4.94).



Рис. 4.93. Общий вид газовых нагревателей для птичников

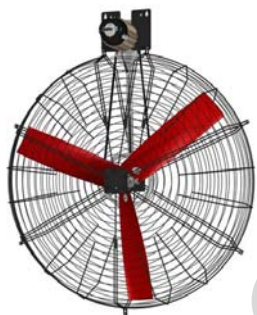


Рис. 4.94. Разгонный вентилятор

Следует отметить, что газовые нагреватели (теплогенераторы на природном газе) уменьшают запыленность воздуха на 60 %, расходы на отопление с использованием котельных установок – в 3 раза.

Рекомендуемые типы газовых и дизельных нагревателей и их технические характеристики приведены в табл. 4.37.

Таблица 4.37

Технические характеристики теплогенераторов для птичников

Показатели	Отечественные		Зарубежные			
	ВНС-90	ВГ-007	G-P75	GP-90	AGA-UI	TAS-800
Теплопроизводительность, кВт	90	70	70	90	105	95
Мощность, кВт	0,4	0,7	0,65	0,85	0,7	0,75
Расход газа, м ³ /ч	8,2	7,0	6,5	9,3	9,0	–
Расход дизельного топлива, л	5,4	–	5,4	6,4	7,5	9,5
Подача воздуха, м ³ /ч	5000	4000	5000	6500	7000	7000
Масса, кг	50	40	36	48	84	81

Как правило, разгонные вентиляторы имеют производительность по воздуху до 5000 м³/ч. Однако, если их используют в производственных помещениях для содержания КРС (взрослое поголовье), то их производительность по воздуху может достигать 34 000 м³/ч. Это обусловлено, в первую очередь, допустимыми значениями скорости передвижения воздуха в зоне поддержания параметров микроклимата, которая в помещениях содержания КРС выше, чем в птичниках.

4.151. Современные схемы ОВС для содержания КРС.

В помещениях коровников современная система вентиляции должна состоять из механизма приточной вентиляции и естественной (искусственной) вытяжки. Существует четыре основных варианта систем вентиляции:

Вариант 1: система основывается на осуществлении циркуляции воздуха. Приток воздушных масс осуществляется через крышные шахты, а вытяжка происходит с помощью крышных вентиляторов.

Вариант 2: приток воздуха происходит через перфорированный потолок, а вытяжка осуществляется через навозные каналы.

Вариант 3: система состоит из оконных блоков, через которые происходит приток воздуха, а вытяжка осуществляется через крышные вентиляторы. Может включать дополнительные настенные вентиляторы.

Вариант 4: система подходит для жарких регионов, позволяет увлажнять приточный воздух с помощью форсунок над форточками.

Естественная вытяжка происходит через крышные перекрытия (рис. 4.95) или через оконные проемы (рис. 4.96), обеспечивая оптимальный приток воздуха. Искусственная вытяжка – механическая вентиляция может осуществляться через каналы навозоудаления. Важно следить, чтобы воздух равномерно циркулировал по всем отсекам для животных.

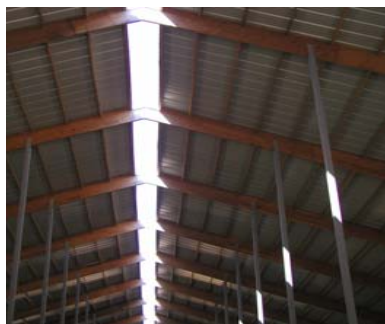


Рис. 4.95. Светоаэроционный фонарь на крыше коровника



Рис. 4.96. Естественная вентиляция через боковой занавес

Для вентиляции ангаров под содержание КРС чаще всего используется схема вентиляции с подачей воздуха по двум параллельным воздуховодам, которые монтируются в потолочной части (классическая схема). Это обеспечивает равномерную подачу воздушных масс, а внешний воздух поставляется из приточной камеры.

Следует помнить, что каждый проект вентиляции коровников составляется индивидуально и учитывает климатические особенности региона и возраста животных.

4.152. Современные схемы ОВС для содержания телят.

Современные технические решения ОВС для содержания телят определяются двумя направлениями: естественной вентиляцией и подогревом в групповых или индивидуальных домиках (для молодняка в возрасте до двух недель). Далее телята содержатся как взрослое поголовье.

Особенности групповых домиков: высокая прочность (стеклопластик), оптимальный микроклимат благодаря отражающей краске, высота 2,2 м; полезная площадь 15 м². Групповой домик рассчитан на 15 телят (рис. 4.97).



Рис. 4.97. Групповые домики для телят



Рис. 4.98. Индивидуальный домик для содержания телят

Индивидуальные домики для телят изготовлены из полиэстера, укрепленного стекловолокном (рис. 4.98). Домик оборудован колесиками для транспортировки ограждения и домика совместно. Передняя часть ограждения съемная для запираения теленка в домике на момент очистки выгульной площадки. Корпус домика цельный и не имеет швов. Каждый домик предназначен для содержания 1 теленка в возрасте от 2 дней до 2 недель. Домик имеет 3 держателя для ведер с выпойкой, водой и концентратами, деревянным порогом, препятствующим вытаскиванию соломы из домика.

4.153. Современные схемы ОВС для содержания свиней.

Существует нескольких видов вентиляции свинокомплексов.

Крышная – наиболее энергосберегающий вид вентиляции, использующий силу ветра. Вентилирование осуществляется за счет приточных клапанов, расположенных с двух сторон, и кровельного конька, без использования вентиляторов (рис. 4.99).

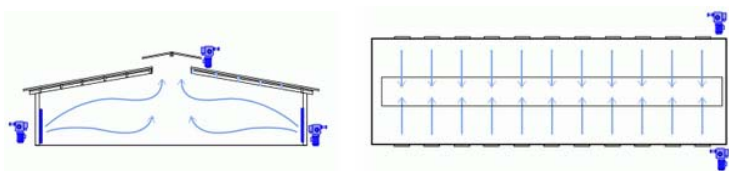


Рис. 4.99. Крышная система вентиляции свинарников

Поперечная – функционирует на базе естественной вентиляции, используя силу ветра (направление и скорость), вентиляторы отключены, что позволяет экономить электроэнергию. Когда при экономии энергии желаемые параметры микроклимата не сохраняются, имеется возможность перейти на принудительную вентиляцию, закрывая окна со стороны вентиляторов и подключая боковые вентиляторы, которые увеличивают свою скорость в соответствии с приточным воздухом (рис. 4.100).

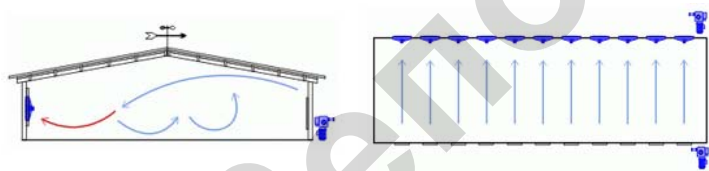


Рис. 4.100. Поперечная система вентиляции свинарников

Поперечная комбинированная – функционирует на базе естественной вентиляции, используя силу ветра. Когда при экономии энергии желаемые параметры микроклимата не сохраняются, имеется возможность перейти на принудительную вентиляцию. Закрывается штора со стороны вентиляторов, и подключаются боковые вентиляторы малой мощности. При необходимости подключаются вентиляторы большой мощности.

Крышная диффузная – функционирует на базе естественной вентиляции, используя силу ветра. Когда при экономии энергии желаемые параметры микроклимата не достигаются, имеется возможность перейти на принудительную вентиляцию, устанавливая боковые окна в необходимую позицию, переходя к работе вытяжных шахт (рис. 4.101).

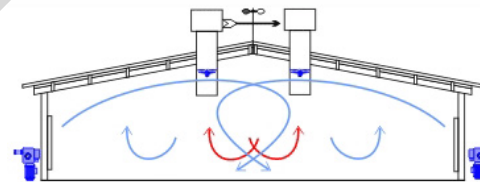


Рис. 4.101. Крышная диффузная система вентиляции свинарников

Туннельная – функционирует на базе естественной вентиляции. Когда при экономии энергии желаемые параметры микроклимата не достигаются, имеется возможность перейти на форсированный режим «туннель». В этом случае все боковые окна закрываются и поэтапно включаются вентиляторы большой мощности, достигая благодаря появляющемуся потоку воздуха оптимального охлаждения по всему объему помещения (рис. 4.102).

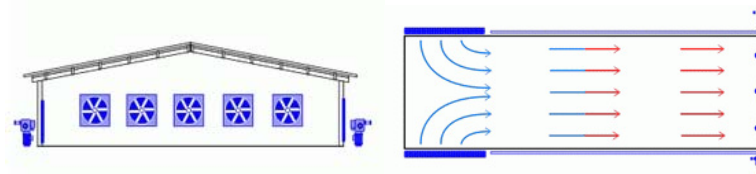


Рис. 4.102. Туннельная система вентиляции свинарников

При выборе вида вентиляции, кроме объемов приточного воздуха, необходимо учитывать его циркуляцию в помещении и соответственно скорость ветра на участках содержания животных. Этот показатель

не должен превышать 0,1 м/с – зимой, и 0,2 м/с – летом. При температуре воздуха выше 22 °С скорость ветра необходимо увеличить до 0,5–1,0 м/с.

Кроме того все системы вентиляции можно условно разделить на три группы:

- системы с избыточным давлением (воздух нагнетается в свинарники);
- с пониженным давлением (воздух отсасывается из свинарников);
- с равновесным давлением (воздух одновременно нагнетается и отсасывается).

4.154. Как работают приточные клапаны в свинарниках?

Летний период – окно клапана должно быть открыто более чем на 57 %. Два направления потока воздуха, который поступает в помещение, образуют микроклимат по заданным параметрам (рис. 4.103).

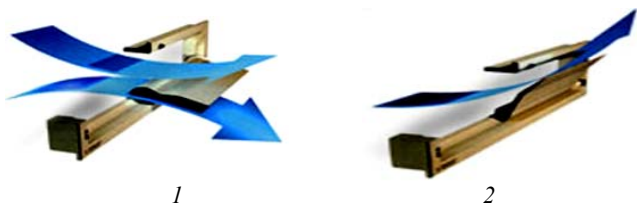


Рис. 4.103. Работа приточных клапанов в летний (1) и зимний (2) периоды

Зимний период – окно клапана должно быть открыто менее чем на 57 %. Образуется единый воздушный поток, который поступает в верхнюю часть свиноплекса, таким образом, животные максимально защищены от переохлаждения и продувания.

5. СУШИЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

5.1. Что такое массообмен?

Массообмен – самопроизвольный необратимый процесс переноса массы данного компонента в пространстве с неоднородным полем концентрации, парциального давления, влажности и др. потенциала.

5.2. Примеры процессов массообмена.

К процессам массообмена относятся:

- сушка как обезвоживание вещества путем испарения влаги из его состава;
- испарение жидкости с ее свободной поверхности;
- тепловлажностная обработка воздуха, связанная с его осушкой или увлажнением.

5.3. Что такое влагообмен?

Влагообмен – разновидность массообмена, представляет собой самопроизвольный необратимый процесс переноса водяных паров в пространстве с неоднородным полем их концентрации или парциального давления.

5.4. Каковы характерные особенности влагообмена в большинстве теплотехнических задач?

Во многих теплотехнических задачах влагообмен рассматривается в бинарной (двухкомпонентной) системе – в парогазовой смеси. Такой парогазовой смесью обычно является влажный воздух, в котором происходит перемещение одного компонента (водяных паров) относительно другого компонента (сухого воздуха). При этом принимается, что совместные процессы влагообмена и теплообмена протекают при отсутствии химических реакций.

5.5. Что такое плотность потока вещества?

Плотность потока вещества определяет массу вещества, проходящую за единицу времени через единицу площади поверхности массообмена.

5.6. В чем состоит отличительная особенность поверхности массообмена?

Поверхность массообмена представляет собой изопотенциальную поверхность как геометрическое место точек с одинаковыми значениями потенциала массообмена, например, концентрации или парциального давления данного компонента.

5.7. Каким образом происходит массообмен?

Массообмен происходит путем молекулярной диффузии и конвективного (молярного) переноса массы данного компонента.

5.8. Виды молекулярной диффузии.

В большинстве практических задач учитывают концентрационную диффузию и термодиффузию как виды молекулярной диффузии.

5.9. Что такое концентрационная диффузия?

Концентрационная диффузия – самопроизвольный необратимый процесс переноса массы вещества в пространстве с неоднородным полем концентрации, обусловленный тепловым движением молекул и направленный к выравниванию концентраций. При этом происходит перенос массы вещества из области большей концентрации в область с меньшей концентрацией.

5.10. Что такое термодиффузия?

Термодиффузия – диффузия, обусловленная температурным градиентом. При термодиффузии становится различной концентрация компонентов в областях повышенной и пониженной температур. Более крупные или более тяжелые молекулы одного из компонентов перемещаются в зону низких температур, что приводит к появлению градиента концентраций.

5.11. Уравнение Фика как основное уравнение молекулярной диффузии.

Согласно уравнению Фика плотность потока вещества q_m , кг/(м²·с), при молекулярной диффузии прямо пропорциональна коэффициенту диффузии и градиенту концентрации:

$$q_m = -D \text{grad } C_i,$$

где D – коэффициент диффузии, м²·с;

C_i – массовая концентрация данного компонента в составе газовой смеси, кг/м³.

Массовая концентрация определяет плотность данного компонента в составе парогазовой смеси.

5.12. Что является движущей силой диффузии?

Движущей силой диффузии является градиент концентрации компонента.

5.13. На что указывает знак «минус» в уравнении Фика?

Знак «минус» в уравнении Фика указывает на направление потока вещества в сторону уменьшения концентрации. Молекулярная диффузия способствует установлению равновесного состояния в заданной системе.

5.14. От каких факторов зависит коэффициент диффузии?

Коэффициент диффузии зависит от температуры и давления парогазовой смеси, от ее природы и концентраций компонентов. В большинстве инженерных задач пренебрегают влиянием концентраций на молекулярную диффузию.

5.15. Что такое конвективный массообмен?

Конвективным массообменом называется процесс переноса вещества, происходящий в результате конвективного движения компонента и его молекулярной диффузии. Существенное значение

при конвективном массообмене приобретают перемещение и перемешивание макрочастиц компонента, а также образование турбулентных вихрей в его потоке.

5.16. Что такое массоотдача?

Массоотдача – конвективный массообмен между движущейся средой и поверхностью твердого тела или поверхностью раздела с другой средой (жидкостью или газом).

5.17. Уравнение массоотдачи с использованием разности плотности компонента.

Уравнение массоотдачи с использованием разности плотности компонента имеет следующий вид:

$$q_m = \beta(\rho_{ic} - \rho_{i0}),$$

где q_m – плотность потока вещества, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$;
 β – коэффициент массоотдачи, $\text{м}/\text{с}$;
 ρ_{ic} и ρ_{i0} – плотность компонента на поверхности тела или раздела и вдали от нее, $\text{кг}/\text{с}$.

5.18. Уравнение Дальтона для процесса массоотдачи.

Уравнение Дальтона для процесса массоотдачи имеет вид:

$$q_m = \beta_p (P_{ic} - P_{i0}),$$

где q_m – плотность потока вещества, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$;
 β_p – коэффициент массоотдачи, отнесенный к разности парциальных давлений, $\text{с}/\text{м}$;
 P_{ic} и P_{i0} – парциальное давление компонента на поверхности тела или раздела и вдали от нее, Па.

5.19. От каких факторов зависит коэффициент массоотдачи?

Коэффициент массоотдачи зависит от особенностей движения среды у поверхности, концентрации и теплофизических свойств компонентов, размеров и формы поверхности и др.

5.20. Что является движущей силой массоотдачи?

Движущей силой массоотдачи является разность плотности или парциального давления компонента у поверхности твердого тела и вдали от нее.

5.21. Что является основой аналогии процессов теплообмена и массообмена в движущейся среде?

Основой аналогии процессов теплообмена и массообмена в движущейся среде является идентичность дифференциальных уравнений теплообмена и массообмена.

5.22. Условия, при которых соблюдается аналогия процессов теплообмена и массообмена в движущейся среде.

Аналогия процессов теплообмена и массообмена в движущейся среде соблюдается при следующих условиях:

- процессы протекают при малых концентрациях компонента, для которого исследуется массоотдача;
- процессы протекают в геометрически подобных системах при одинаковом задании граничных условий (например, задано постоянство температуры поверхности и концентрации компонента на этой поверхности).

Аналогия процессов теплообмена и массообмена характеризуется условием:

$$\text{Le} = 1,$$

где Le – число Льюиса.

5.23. Что такое число Льюиса?

Число Льюиса характеризует соотношение между переносом массы вещества диффузией и теплоты теплопроводностью:

$$\text{Le} = \frac{D}{a},$$

где D – коэффициент диффузии, $\text{м}^2/\text{с}$;
 a – температуропроводность, $\text{м}^2/\text{с}$.

5.24. Что основано на использовании аналогии процессов теплообмена и массообмена в движущейся среде?

Аналогия процессов теплообмена и массообмена позволяет получить расчетные зависимости для массоотдачи, используя соответствующие уравнения конвективного теплообмена в аналогичных условиях. При этом вводят соответственно диффузионные числа Нуссельта и Прандтля, включающие коэффициенты диффузии и массоотдачи.

5.25. Соотношение Льюиса для расчета коэффициента массоотдачи при испарении жидкости.

Согласно соотношению Льюиса при $Le = 1$ коэффициент массоотдачи β , м/с, определяется уравнением:

$$\beta = \frac{\alpha}{\rho c_p},$$

где α – коэффициент теплоотдачи на поверхности жидкости, Вт/(м²·К);
 ρ – плотность парогазовой среды, кг/м³;
 c_p – удельная изобарная теплоемкость парогазовой среды, Дж/(кг·К).

5.26. Уравнение для расчета массоотдачи при испарении воды с использованием разности влагосодержания воздуха?

В расчетном уравнении используют коэффициент испарения σ , кг/(м²·с):

$$q_m = \sigma(d_C - d_0)10^{-3},$$

где q_m – плотность потока вещества, кг/(м²·с);
 d_C и d_0 – влагосодержание влажного воздуха у поверхности испарения и вдали от нее, г/кг.

5.27. Уравнение теплового баланса при испарении жидкости в адиабатных условиях.

В адиабатных условиях отсутствуют внешние теплоисточники, теплотери и расходы теплоты на подогрев жидкости. Теплота,

подводимая от парогазовой среды, полностью расходуется на испарение жидкости:

$$\alpha(t_0 - t_M) = r q_m,$$

где α – коэффициент теплоотдачи на поверхности жидкости, Вт/(м²·К);
 t_0 – температура парогазовой среды на удалении от поверхности жидкости, °С;
 t_M – температура поверхности жидкости, равная температуре по мокрому термометру, °С;
 r – удельная теплота парообразования, кДж/кг;
 q_m – плотность потока вещества при испарении жидкости, кг/(м²·с).

5.28. Уравнение теплового баланса при конденсации пара.

Теплота, подводимая к поверхности конденсации, суммируется из теплоты при конвективном теплообмене и теплоты конденсации пара:

$$q = \alpha(t_0 - t_C) + r q_m,$$

где q – плотность теплового потока, Вт/м²;
 α – коэффициент теплоотдачи при конвективном теплообмене на поверхности конденсации, Вт/(м²·К);
 t_0 – температура парогазовой среды на удалении от поверхности конденсации, °С;
 t_C – температура поверхности конденсации, °С;
 r – удельная теплота парообразования, кДж/кг;
 q_m – плотность потока вещества при конденсации пара, кг/(м²·с).

5.29. Как определить коэффициент теплоотдачи в условиях «мокрого» теплообмена при конденсации пара?

Коэффициент теплоотдачи α_m , Вт/(м²·К), в условиях «мокрого» теплообмена находят с учетом теплоты конденсации пара:

$$\alpha_m = \xi \alpha,$$

где ξ – коэффициент влаговываждения;
 α – коэффициент теплоотдачи при конвективном теплообмене на поверхности конденсации, Вт/(м²·К).

5.30. Какими способами может быть удалена влага из материалов?

Существуют механический, физико-химический и тепловой способы удаления влаги из материалов (продуктов, изделий, сред).

5.31. Характеристика механического способа удаления влаги из материалов.

Механический способ удаления влаги из материалов происходит путем прессования, центрифугирования, фильтрования и отсасывания влаги.

5.32. Характеристика физико-химического способа удаления влаги из материалов.

Физико-химический способ удаления влаги из материалов основан на поглощении влаги при контакте с гигроскопическим (влагопоглощающим) веществом: с сульфатом натрия, хлористым кальцием, силикагелем, цеолитом и др.

5.33. Характеристика теплового способа удаления влаги из материалов.

Тепловой способ удаления влаги из материалов происходит путем испарения и выпаривания за счет подводимой теплоты к сушиму материалу.

5.34. Что такое сушка?

Сушкой называется процесс удаления влаги из материалов (продуктов, изделий и сред) при их подготовке к переработке, использованию или хранению. Обычно принято называть сушкой процесс удаления влаги из материалов и продуктов с использованием тепловой энергии для испарения влаги с последующим отводом образующихся водяных паров от поверхности высушиваемого материала.

5.35. Чем лимитируется процесс сушки?

Процесс сушки лимитируется внутренним переносом влаги, поэтому для интенсификации процесса сушки необходимо увеличить коэффициент диффузии влаги путем предварительного нагрева зерна.

5.36. В чем состоит отличие между естественной и искусственной сушкой?

Естественная сушка проходит в естественных условиях на открытом воздухе без искусственно организованного нагрева воздуха. Для такой сушки характерны большая продолжительность, достаточно высокая конечная влажность материала и отсутствие регулирования процесса.

Искусственная сушка организуется в специальных установках – сушилках при помощи нагретого сушильного агента (воздуха или смеси воздуха с топочными газами). В этом случае сокращается продолжительность сушки, достигается заданная конечная влажность материала, обеспечивается регулирование процесса сушки. Однако для искусственной сушки характерны большие расходы топлива и энергии.

5.37. Какие продукты сельскохозяйственного производства подвергаются сушке?

В сельскохозяйственном производстве широкое развитие получила сушка зерновых, овощей, плодов, картофеля, зеленых кормов, стеблей и волокон лубяных культур.

5.38. Из каких двух частей состоит влажный материал?

Всякий влажный материал состоит из абсолютно сухого вещества (скелета вещества) и влаги.

5.39. Что такое влажность материала на общую его массу?

Влажность материала на общую его массу (в %) показывает, какую долю составляет масса влаги от общей массы материала:

$$\omega = \frac{M_{\text{ВЛ}}}{M_{\text{С}} + M_{\text{ВЛ}}} \cdot 100,$$

где $M_{\text{ВЛ}}$ и $M_{\text{С}}$ – масса влаги и абсолютно сухого вещества в материале, кг.

Общепринято ее называть кратко – влажность материала.

5.40. Что такое влажность материала на сухую массу?

Влажность материала на сухую массу (в %) определяет отношение массы влаги к массе сухого вещества во влажном материале:

$$\omega^C = \frac{M_{ВЛ}}{M_C} 100,$$

где $M_{ВЛ}$ и M_C – масса влаги и абсолютно сухого вещества в материале, кг.

5.41. Формулы пересчета из одной влажности материала в другую.

Формулы пересчета одной влажности в другую:

$$\omega^C = \frac{\omega}{100 - \omega} 100,$$

$$\omega = \frac{\omega^C}{100 + \omega^C} 100,$$

где ω^C и ω – влажность материала на его сухую и общую массу, %.

5.42. Что такое влагосодержание материала?

В теории сушки состояние материала характеризуется его влагосодержанием u , кг/кг:

$$u = \frac{M_{ВЛ}}{M_C},$$

где $M_{ВЛ}$ и M_C – масса влаги и абсолютно сухого вещества в материале, кг.

5.43. Каким образом поступает влага в состав сельскохозяйственной продукции?

Влага может поступать в продукцию путем сорбции паров воды из воздуха и поглощения воды в жидкой фазе на поверхности материала при ее смачивании (в период дождя или выпадения росы).

5.44. Как происходит перемещение влаги внутри материала?

Перемещение влаги внутри материала (влагоперенос) происходит под действием трех движущих сил: градиента влажности, градиента температур и перепада давления внутри материала.

5.45. Что такое потенциал влагопереноса?

Потенциал влагопереноса – это параметр, аналогичный температуре при переносе теплоты и определяющий перенос влаги. В уравнении влагопереноса в общем виде включают градиент потенциала переноса влаги, который принято выражать через градиенты влагосодержания материала, температуры внутри материала, через градиент давления пара и т. д.

5.46. Процессы влагопереноса.

Влагоперенос происходит путем влагопроводности, термовлагопроводности и молярного влагопереноса. Влагопроводность обусловлена градиентом влажности и всегда направлена в сторону убывающей влажности.

Термовлагопроводность вызвана градиентом температур, перемещение влаги происходит в сторону уменьшения температур. При нагреве материала с поверхности термовлагопроводность тормозит перемещение влаги из центра материала к его поверхности.

Влагопроводность и термовлагопроводность как процессы влагопереноса имеют в основном диффузионный, молекулярный характер. Влагоперенос под действием перепада давления внутри материала носит молярный характер потока паровоздушной смеси, направленного в зону с меньшим ее давлением.

5.47. Механизм переноса влаги при сушке зерна.

Конвективная сушка включает комплекс одновременно протекающих и влияющих друг на друга следующих процессов:

- перенос теплоты от агента сушки к зерну через его поверхность;
- перенос влаги внутри зерна;
- испарение влаги;
- перенос влаги с поверхности зерна в среду сушильной камеры.

Механизм удаления влаги из зерна при сушке схематически может быть представлен следующим образом (рис. 5.1). Вдоль поверхности влажной зерновки движется агент сушки с определенными параметрами: температурой t_c и парциальным давлением водяного пара P_c . Теплота от агента сушки конвективным способом передается зерновке, ее поверхность нагревается, и часть влаги, находящейся у поверхности, испаряется. При этом у поверхности зерновки устанавливается парциальное давление водяного пара P_M при ее температуре t_M . На поверхности зерновки образуется пограничный слой, через который происходит передача теплоты: от агента сушки диффузия молекул водяного пара в агент сушки. По толщине зерновки создаются перепады влагосодержания, температуры и давления, под действием которых влага непрерывно подводится к поверхности, где и испаряется. Молекулы пара диффундируют через пограничный слой и поглощаются агентом сушки. Обязательное условие процесса удаления влаги – наличие разности между парциальным давлением водяного пара у поверхности зерновки и в агенте сушки: $P_M > P_c$. Влага испаряется не с поверхности зерновки, а из некоторой зоны испарения, расположенной в периферийной части зерновки. Более того, положение этой зоны не остается неизменным: она постепенно перемещается внутрь зерновки. При углублении зоны испарения поверхность зерновки остается обезвоженной и поэтому может нагреваться до высоких температур.

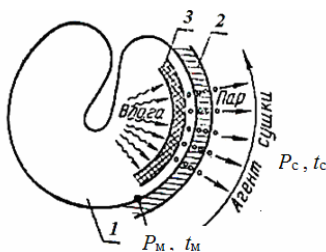


Рис. 5.1. Схема механизма удаления влаги при сушке зерна:
1 – зерновка; 2 – пограничный слой; 3 – зона испарения

Процесс сушки происходит правильно, если скорость удаления влаги с поверхности равна скорости перемещения влаги из глубинных слоев к поверхности. При превышении скорости испарения происходят интенсивное высушивание поверхности с образованием корочки, что препятствует удалению влаги из глубинных слоев и приводит к замедлению сушки.

5.48. При каких условиях наступает состояние динамического равновесия между влажным воздухом и материалом, находящимся в контакте с ним?

Состояние динамического равновесия наступает при контакте материала с влажным воздухом в условиях равенства парциального давления водяных паров над поверхностью продукта и в воздухе на удалении от поверхности продукта.

5.49. Что такое равновесная влажность (равновесное влагосодержание) материала?

Равновесной влажностью (равновесным влагосодержанием) материала называется его влажность (влагосодержание) при динамическом равновесии материала с окружающим влажным воздухом. При этом равны температуры материала и влажного воздуха.

5.50. Как определить равновесную влажность материала?

Равновесную влажность (равновесное влагосодержание) материала можно определить экспериментально, так как разнообразие структур и свойств материалов не позволяют найти их значения аналитическим путем. При определении равновесной влажности материал надо выдержать в воздушной среде с постоянной влажностью и температурой до равновесного состояния.

5.51. От каких факторов зависит равновесная влажность?

Равновесная влажность (равновесное влагосодержание) материала зависит от вида материала, температуры и влажности воздуха, а также от способа достижения: путем поглощения влаги материалом из окружающего воздуха или в результате сушки материала.

5.52. Как параметры влажного воздуха влияют на равновесную влажность материала, находящегося с ним в контакте?

Равновесная влажность материала увеличивается с уменьшением температуры воздуха и увеличением его относительной влажности.

Хранение высушенного материала при низких температурах приводит к увеличению равновесной влажности и может сопровождаться увлажнением материала.

5.53. Что позволяет определить равновесная влажность материала?

По значению равновесной влажности материала определяют условия хранения высушенного материала, сушильную возможность воздуха, возможность достижения кондиционной влажности материала при сушке, а также форму связи влаги с материалом.

Значение равновесного влагосодержания входит в уравнение продолжительности сушки, так как удаление влаги при сушке происходит только до равновесного влагосодержания, которое соответствует определенным параметрам сушильного агента (влажного воздуха).

5.54. До какой влажности возможна сушка материала при заданных параметрах влажного воздуха как сушильного агента?

Удаление влаги из материала при сушке происходит только до равновесной влажности. Нецелесообразно сушить материал до влажности ниже равновесной, соответствующей условиям хранения, т. к. в дальнейшем при транспортировке, хранении или плохой упаковке он может вследствие гигроскопических свойств поглотить влагу из окружающего воздуха.

5.55. Что такое гигроскопичность материалов?

Гигроскопичность – свойство материалов поглощать влагу из окружающей среды (обычно водяных паров из влажного воздуха) за счет образования химических соединений с водой или за счет конденсации паров в капиллярах и порах.

5.56. Что такое гигроскопическая влажность?

Максимальная влажность материала, которую он может иметь за счет поглощения водяных паров из окружающего влажного воздуха, называется гигроскопической влажностью. Ее значение достигается при относительной влажности воздуха $\varphi = 100\%$.

5.57. Что такое сорбция и сорбционная способность материала?

Сорбция – поглощение твердым телом или жидкостью веществ из окружающей среды.

Свойство поглощения материалом паров воды из воздуха называют сорбционной способностью, а сам процесс – сорбцией влаги.

5.58. Что такое адсорбция?

Адсорбция – это присоединение молекул жидкости поверхностью твердого тела под действием молекулярных сил. Процесс адсорбции влаги сопровождается некоторым набуханием тела и выделением теплоты. Общая толщина адсорбированного слоя в сотни раз превышает размер молекул. При этом тончайший слой воды, состоящий из нескольких рядов молекул и непосредственно примыкающий к поверхности тела, оказывается сильно уплотненным. Вода, находящаяся в этом слое, не растворяет веществ, температура ее замедления ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5.59. Что такое десорбция?

Десорбция (сушка) – удаление поглощенного вещества с поверхности твердого тела или из объема жидкости в окружающую среду.

5.60. Какие варианты изменения влажности материала возможны при его контакте с влажным воздухом?

При контакте влажного материала с влажным воздухом возможны следующие варианты изменения влажности материала:

- увеличение влажности за счет сорбции водяных паров – их поглощения материалом из состава влажного воздуха;
- уменьшение влажности в результате десорбции влаги из материала путем испарения влаги с поверхности материала;
- влажность остается постоянной, при этом устанавливается динамическое равновесие между сорбцией и десорбцией.

В первом варианте влажность материала меньше его равновесной влажности и происходит сорбция влаги, а во втором – она больше его равновесной влажности, что приводит к десорбции (сушке).

5.61. Определение изотерм сорбции и десорбции.

Изотермами сорбции и десорбции называется графическая зависимость между равновесным влагосодержанием (равновесной влажностью) материала и влажностью воздуха при постоянной температуре.

Если равновесие достигнуто путем поглощения влаги из окружающего воздуха, то получается изотерма сорбции. Если же равновесие достигнуто при отдаче влаги продуктом окружающему воздуху, то образуется изотерма десорбции.

Изотермы сорбции и десорбции строят для анализа сорбционных процессов во влажных материалах.

5.62. Вид и характеристика изотерм сорбции и десорбции.

Изотермы сорбции и десорбции для картофеля представлены на рис. 5.2. Сорбция и десорбция влаги в растительных продуктах характеризуются S-образными кривыми. Их вид зависит от вида и природы продукта.

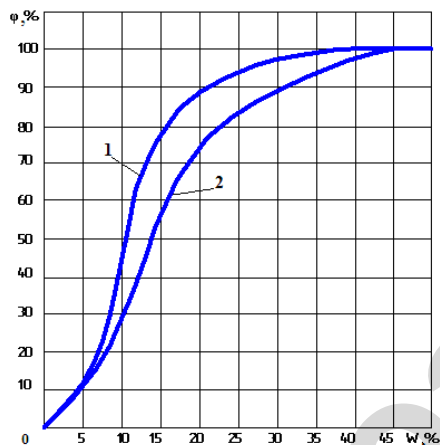


Рис. 5.2. Изотермы сорбции (1) и десорбции (2)

Для одного и того же продукта они совпадают только при очень малых или очень больших значениях относительной влажности воздуха. Несовпадение изотерм сорбции и десорбции называют сорбционным гистерезисом.

Изотермы сорбции располагаются выше, чем изотермы десорбции и равновесная влажность материала при одинаковом значении относительной влажности воздуха больше при десорбции.

При относительной влажности воздуха $\phi = 100 \%$ достигается наибольшее (при данной температуре) значение равновесной влажности.

5.63. На какие виды разделяются влажные материалы?

Все влажные материалы в зависимости от свойств можно разделить на три вида: коллоидные, капиллярно-пористые и капиллярно-пористые коллоидные тела.

Коллоидные тела при удалении влаги сжимаются, изменяя свои геометрические размеры, но сохраняют свои эластичные свойства, например, желатин, мучное тесто.

Капиллярно-пористые тела при удалении влаги практически не изменяют свои размеры и становятся хрупкими, например, древесный уголь, кварцевый песок.

Капиллярно-пористые коллоидные тела обладают свойствами первых двух, стенки их капилляров эластичны и при поглощении влаги набухают, например, зерно, семена, древесина, торф, целлюлоза.

5.64. Почему при сушке требуются затраты энергии?

При сушке влага перемещается из внутренних слоев материала к его поверхности, а затем испаряется в окружающую среду. Затраты энергии требуются на преодолении сил сцепления молекул воды друг с другом и со скелетом (сухой частью) материала.

5.65. Формы связи влаги с материалом.

В основу классификации форм связи влаги положена энергия связи влаги с материалом.

Соответственно различают по убыванию энергии связи три формы связи: химическую, физико-химическую и физико-механическую.

5.66. Что такое химически связанная влага?

Под химически связанной влагой понимают воду гидратов, связанную в виде гидроксильных ионов, и воду молекулярных соединений типа кристаллогидратов, связанную слабее. Такая связь образуется

в строгих количественных соотношениях, она наиболее прочна и может быть нарушена лишь в результате химического взаимодействия или прокаливании.

В процессе сушки химически связанная влага не удаляется из материала (при расчетах ее относят к массе сухого вещества).

5.67. Какая влага относится к физико-химической форме связи влаги?

К физико-химической форме связи относится адсорбционно и осмотически связанная влага. Физико-химическая связь влаги с материалом образуется в не строго определенных соотношениях и является менее прочной по сравнению с химической формой связи.

Адсорбционно связанная с материалом влага обладает рядом свойств, которые отличают ее от обычной воды: являясь плохим растворителем, имеет большую теплоемкость, замерзает при очень низких температурах (минус 50–70 °С). Такая влага адсорбирована поверхностью пор, пустот и капилляров в сухом скелете материала.

Осмотически удерживаемая влага по своим свойствам не отличается от обычной воды и характеризуется весьма малой энергией связи. К осмотически связанной влаге относят воду, находящуюся внутри замкнутой клетки и приобретенную при образовании и росте тела, а также воду, проникшую внутрь клетки через ее стенку под действием осмотического давления.

5.68. Что такое физико-механическая связь влаги в материале?

Физико-механическая связь – это удержание воды в неопределенных соотношениях.

К этой форме связи относится жидкость, находящаяся в крупных и мелких капиллярах, и жидкость смачивания поверхности. Она наименее прочно связана с материалом и перемещается к зоне испарения у поверхности материала, а затем превращается в пар и удаляется.

5.69. Что такое свободная и связанная влага?

Свободной называют влагу, отличающуюся наименее прочной связью с материалом. Она смачивает поверхность материала и содержится в капиллярах. Ее испарение подчиняется законам испарения

жидкости со свободной поверхности. Она легко удаляется при сушке, т. к. уже находится на поверхности материала.

К связанной относят влагу, более прочно удерживаемую физико-химической связью. Часть ее не удаляется и характеризует равновесную влажность.

5.70. Диаграмма, характеризующая формы связи влаги и состояния влажного материала.

Диаграмма приведена в координатах: относительная влажность воздуха ϕ – влагосодержание материала u , кг/кг (рис. 5.3). Гигроскопическое состояние характеризуется влагосодержанием не больше гигроскопического влагосодержания.

Влажное состояние достигается при поглощении воды в жидкой фазе.

Равновесное влагосодержание характеризует равновесное состояние материала, а гигроскопическое влагосодержание – максимально возможному влагосодержанию при гигроскопическом состоянии материала.

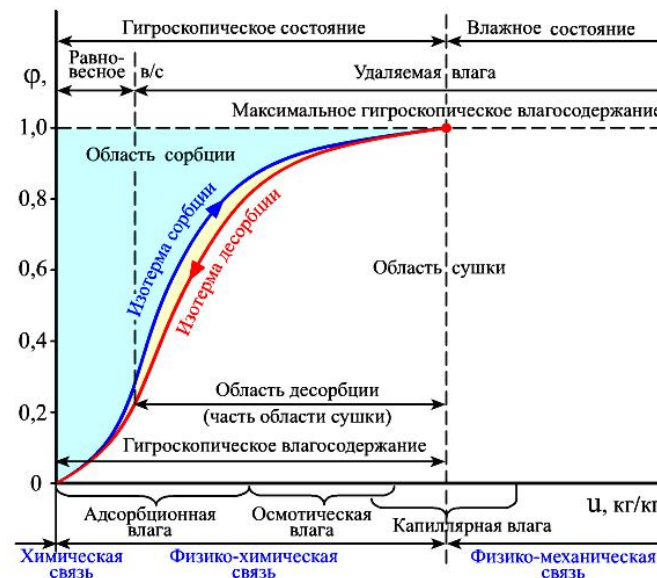


Рис. 5.3. Формы связи влаги и состояния материала

5.71. Отличия между статикой и кинетикой сушки.

Под статикой сушки понимают тепловой и материальный балансы сушилки, которые позволяют определить расходы сушильного агента и теплоты, а также оценить энергоэффективность сушилки. Статика сушки устанавливает связь между начальными и конечными параметрами влажного материала, подвергающегося сушке, и сушильного агента (влажного воздуха).

Кинетика сушки характеризует изменение влажности и температуры материала, а также скорости сушки согласно закономерностям кинетики процесса сушки.

Уравнения кинетики сушки характеризуют процесс удаления влаги из материала во времени и используются для определения продолжительности и режима сушки.

5.72. Что такое скорость сушки?

Скорость сушки – это уменьшение влажности материала или его влагосодержания за единицу времени. Ее обозначают:

$$\frac{d\omega^c}{d\tau} \quad \text{или} \quad \frac{du}{d\tau}$$

Единицами скорости сушки: %/ч; %/мин и %/с или ч⁻¹; мин⁻¹ и с⁻¹.

Скорость сушки характеризует интенсивность сушки влажных материалов и определяет продолжительность процесса сушки.

5.73. Периоды сушки, их характеристики.

Различают два периода сушки: с постоянной скоростью сушки и с убывающей (падающей) скоростью сушки.

В первом периоде удаляется в основном свободная влага, скорость сушки остается постоянной и определяется интенсивностью подвода теплоты к материалу. При этом период сушки характеризуется линейным законом изменений влажности (влагосодержания) и постоянством температуры материала. Практически температура материала может быть принята равной температуре мокрого термометра.

Во втором периоде, начиная с некоторого критического значения влажности (влагосодержания), удаляется уже осмотическая и адсорбционная влага. При этом на сушку влияют процессы влагопереноса

внутри материала, что замедляет скорость сушки. В результате влажность (влагосодержание) уменьшается по криволинейному закону, асимптотически приближаясь к равновесному значению. Температура материала также возрастает, приближаясь к температуре сушильного агента (окружающей среды).

Первый период характеризуется испарением влаги с поверхности материала, в то время как второй – испарением влаги из внутренних слоев материала. На первый период сушки оказывают влияние величина поверхности испарения, параметры воздуха, температуры материала и агента сушки; на второй – физико-химические свойства материала: структура, химическая природа, формы связи влаги. Если в первом периоде лимитирующими являются процессы внешнего тепло- и массообмена, то во втором – процессы переноса теплоты и влаги внутри материала.

5.74. Кривая сушки и температурная кривая при конвективной сушке, их характеристики.

Кривые изображены в зависимости от времени процесса τ при неизменных условиях теплообмена на поверхности материала и при постоянных параметрах окружающей среды: температуре t_B и относительной влажности ϕ (рис. 5.4).

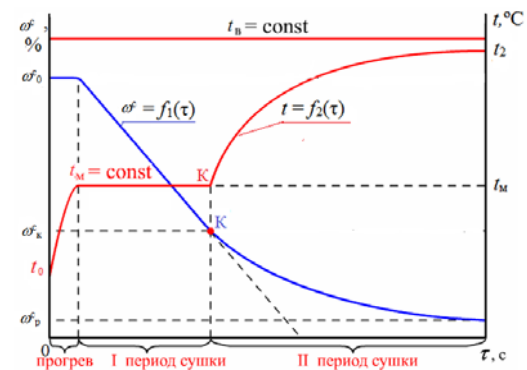


Рис. 5.4. Кривая сушки и температурная кривая

Начальные параметры материала: температура t_0 и влажность ω^c_0 . Температура в конце процесса сушки t_2 , а влажность – практически равно равновесной влажности ω^c_p .

Переход от периода постоянной скорости сушки (I период сушки) к периоду убывающей скорости (II период сушки) происходит при критической влажности ω^c_k . Соответственно на кривых обозначена критическая точка К.

В период прогрева несколько уменьшается влажность материала, однако существенно увеличивается температура материала от начальной t_0 до температуры мокрого термометра t_m .

5.75. Кривые скорости сушки простых форм.

Кривая скорости сушки характеризует зависимость скорости сушки $\frac{d\omega^c}{dt}$ от влажности ω^c (рис. 5.5).

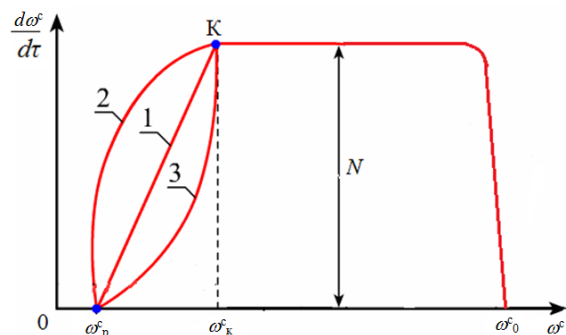


Рис. 5.5. Кривые скорости сушки простых форм температурная кривая

Скорость сушки возрастает на стадии прогрева от 0 до постоянной скорости сушки N . Критическая точка К определяет переход к периоду убывающей скорости сушки.

В этот период влажность уменьшается от критического значения ω^c_n до равновесного ω^c_p . Форма кривой в период убывающей скорости сушки зависит от структуры материала, форм связи влаги с материалом, от режима сушки.

Простейшая линейная зависимость 1 характерна для тонких волокнистых материалов (бумага, тонкий картон). Линия 2 соответствует сушке коллоидных тел (желатин), а кривая 3 – сушке капиллярно-пористых тел (древесный уголь).

5.76. Кривые скорости сушки сложных форм.

Материалам, имеющим более сложную структуру, присущи и более сложные кривые скорости сушки (рис. 5.6).

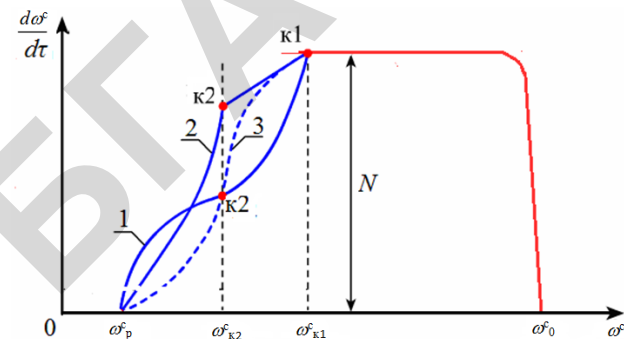


Рис. 5.6. Кривые скорости сушки сложных форм температурная кривая

Скорость сушки $\frac{d\omega^c}{dt}$ возрастает на стадии прогрева от 0 до постоянной скорости сушки N .

В критической точке $k1$ при влажности ω^c_{k1} завершается период постоянной скорости сушки.

Приведенные кривые в период убывающей скорости сушки имеют критическую точку $k2$, характеризующую излом кривых при влажности ω^c_{k2} . Эта точка для многих материалов соответствует началу удаления адсорбционно связанной влаги.

Кривая 1 характерна для сушки сухарей, кривая 2, содержащая прямой отрезок, – для сушки зерна, а кривая 3 – для сушки глины.

Сушка осуществляется от начальной влажности ω^c_0 до равновесной влажности ω^c_p .

5.77. Вывод уравнения для расчета скорости сушки в период постоянной скорости.

В период постоянной скорости сушки вся подводимая теплота расходуется на испарение влаги. Принимаем, что не только температура материала, но и температура сушильного агента остаются постоянными. В таком случае, исходя из теплового баланса, следует записать:

$$\alpha(t_1 - t_2)A\tau = rW,$$

где α – коэффициент теплоотдачи на поверхности материала, Вт/(м²·К);
 t_1 и t_2 – температуры сушильного агента и поверхности материала, °С;

A – площадь поверхности материала, м²;

τ – время сушки, с;

r – теплота парообразования, Дж/кг;

W – масса испаренной из материала влаги, кг.

Представим массу испаренной влаги:

$$W = \frac{\omega_1^c - \omega_2^c}{100} \rho V,$$

где ω_1^c и ω_2^c – начальная и конечная влажность на массу сухого вещества влажного материала в этот период сушки, %;

ρ – плотность материала, кг/м³;

V – объем материала, м³.

Используя эти зависимости, нетрудно получить:

$$N = \frac{\alpha(t_1 - t_2)R_A}{r\rho} 100,$$

где N – скорость сушки в период постоянной скорости, %/с;

R_A – отношение площади поверхности к объему материала, м⁻¹.

$$N = \frac{\omega_1^c - \omega_2^c}{\tau},$$

$$R_A = \frac{A}{V}.$$

5.78. Методы интенсификации сушки в период постоянной скорости.

Для интенсификации сушки в период постоянной скорости необходимо:

– увеличить интенсивность теплообмена на поверхности;

– производить сушку при возможно больших температурах сушильного агента, но при условии обеспечения допустимых температур нагрева материала;

– применять уменьшение размера частиц материала с целью увеличения наружной поверхности материала и интенсификации тепло-массообмена.

5.79. Как рассчитать продолжительность сушки в период постоянной скорости сушки?

Поскольку скорость сушки в этот период постоянна, продолжительность сушки в этот период τ_1 :

$$\tau_1 = \frac{\omega_1^c - \omega_2^c}{N},$$

где ω_1^c и ω_2^c – начальная и конечная влажность на массу сухого вещества влажного материала в период постоянной скорости сушки, %;

N – скорость сушки в период постоянной скорости, %/с.

5.80. Как рассчитать продолжительность сушки в период убывающей скорости сушки?

Один из методов расчета продолжительности сушки заключается в том, что действительную кривую сушки в период убывающей скорости сушки надо заменить прямой линией. Прямая проведена между точкой ω_p^c до пересечения с прямой постоянной скорости сушки при $N = \text{const}$ в точке $\omega_{к.п}^c$. Здесь $\omega_{к.п}^c$ – приведенная критическая влажность, %, которую можно найти графическим методом.

В таком случае продолжительность сушки в период убывающей скорости сушки:

$$\tau_2 = \frac{1}{K} \ln \left(\frac{\omega_{к.п}^c - \omega_p^c}{\omega_2^c - \omega_p^c} \right),$$

где K – коэффициент сушки, с⁻¹;

ω_p^c и ω_2^c – влажность на массу сухого вещества: равновесная и в конце сушки, %.

Коэффициент сушки зависит от свойств материала и от параметров режима сушки, что требует исследований каждого конкретного процесса сушки.

5.81. Как рассчитать продолжительность сушки?

Общую продолжительность процесса сушки принято определять без учета времени на прогрев материала, т. к. этот период несоизмеримо мал с последующими периодами:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2,$$

где τ_1 – продолжительность периода постоянной скорости сушки;
 τ_2 – продолжительность периода убывающей скорости сушки.

Расчет проводят с учетом свойств и характеристик влажного материала и параметров теплового режима сушки.

5.82. Классификация конвективных сушилок по конструктивному оформлению.

По конструкциям различают конвективные сушилки: шахтные, барабанные, камерные, ленточные, взвешенного (кипящего) слоя, сублимационные и др.

В шахтных сушилках влажный материал перемещается в плотном слое сверху вниз под действием сил веса при продувании слоя агентом сушки.

В барабанных сушилках сушка организуется во вращающемся барабане, установленном с наклоном несколько градусов к горизонту.

Особенность камерных сушилок состоит в том, что материал сушится в сушильных камерах на полках, а ленточных сушилок – в том, что материал сушится на полотне ленточного транспортера.

В сушилках взвешенного слоя зернистый влажный материал взвешен в потоке агента сушки.

Сублимационные сушилки используют сушку путем замораживания влаги, содержащейся в материале.

При сушке продукции в сельском хозяйстве используют в основном шахтные и барабанные сушилки.

5.83. Варианты теплотехнологических схем конвективных сушилок.

Для обеспечения сушки материалов обычно используют следующие варианты теплотехнологических схем конвективных сушилок:

- прямоточную с однократным использованием агента сушки;
- с рециркуляцией отработавшего агента сушки;
- промежуточным подогревом агента сушки;
- рециркуляцией материала, подвергающегося сушке;
- утилизацией теплоты отработавшего агента сушки.

5.84. Характеристика прямоточной теплотехнологической схемы конвективных сушилок.

Наиболее простыми и распространенными являются прямоточные сушилки, использующие прямоточную схему. При этой схеме отработавший сушильный агент сбрасывается в атмосферу. В связи с этим для прямоточных сушилок при сушке сельскохозяйственной продукции характерна высокая энергоемкость сушимой продукции.

5.85. Принципиальная схема прямоточной конвективной сушилки.

Рассмотрим типовую принципиальную схему конвективной сушилки для сушки зерна при использовании воздуха в качестве сушильного агента (рис. 5.7).

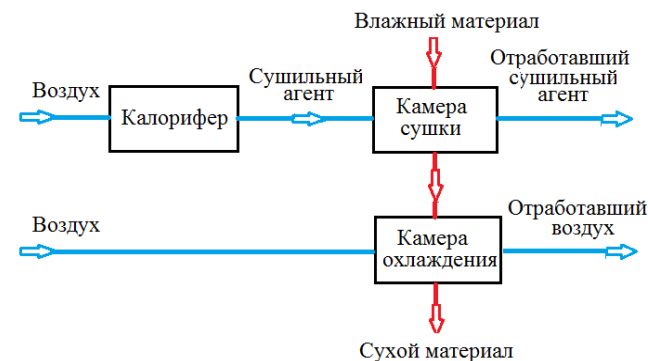


Рис. 5.7. Принципиальная схема конвективной сушилки

Основными конструктивными элементами являются:

- калорифер или другое устройство для нагрева сушильного агента;
- камера сушки, например сушильная шахта, в которой происходит сушка;
- камера (зона) охлаждения, где производится охлаждение и досушивание материала после камеры сушки.

Воздух поступает в калорифер, в котором нагревается до заданной температуры, а затем уже в качестве сушильного агента – в камеру сушки. Сушильный агент поглощает влагу, испаренную из влажного материала, и как отработавший в процессе сушки сбрасывается в атмосферу.

Влажный материал последовательно проходит камеру сушки и камеру охлаждения. В камере охлаждения продолжается процесс сушки, материал не только охлаждается воздухом до температур, близких к температуре воздуха, но и подсушивается. Таким образом, при сушке зерна используется режим: сушка – охлаждение.

5.86. Параметры теплового режима сушки.

Тепловой режим сушки включает в себя следующие параметры:

- температуру агента сушки на входе в сушильную камеру;
- температуру отработавшего агента сушки на выходе сушильной камеры;
- относительную влажность отработавшего агента сушки на выходе сушильной камеры;
- начальную и конечную влажность сушеного материала;
- температуру нагрева сушеного материала.

5.87. Что определяют предельно допустимые температуры нагрева агента сушки и влажного материала при сушке растительной продукции?

Предельно допустимые температуры нагрева растительной продукции необходимо устанавливать исходя из условий сохранения качества продукта, а также энергии прорастания и всхожести семенного зерна, сохранения целостности оболочки и ядра зерна бобовых культур, обеспечения высокого выхода и качества крупы и др. Превышение предельно допустимых температур может привести к запариванию и закалу продукта. Закал оболочек зерна приводит к потере способности пропускать влагу. Тем самым снижается скорость сушки.

Предельно допустимые температуры нагрева агента сушки следует выбирать исходя из предельно допустимой температуры нагрева продукта, его начальной влажности и способа организации сушки. Особое значение имеет время пребывания продукта при данной температуре агента сушки.

5.88. Как составить материальный баланс камеры сушки по сушиму материалу?

Из принципиальной схемы (рис. 5.8) следует, что в камеру сушки поступает влажный материал массой M_1 . Из камеры выходят сухой материал массой M_2 и испаренная влага (вместе с отработавшим агентом сушки) массой W .



Рис. 5.8. Материальный баланс камеры сушки по влаге

Составляя материальный баланс по сушиму материалу, следует учитывать, что его масса уменьшается в процессе сушки за счет испаренной из него влаги: $M_1 = M_2 + W$.

5.89. Как составить материальный баланс камеры сушки по влаге?

При составлении материального баланса камеры сушки по влаге надо учитывать поступления и расходы влаги с влажным материалом и агентом сушки (рис. 5.9).

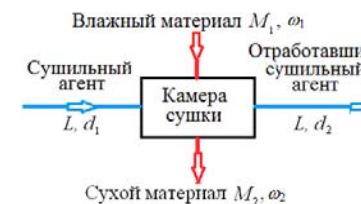


Рис. 5.9. Материальный баланс камеры сушки по влаге

Соответственно записывают материальный баланс камеры сушки:

$$M_1 \frac{\omega_1}{100} + L \frac{d_1}{1000} = M_2 \frac{\omega_2}{100} + L \frac{d_2}{1000},$$

где M_1 и M_2 – масса материала на входе и выходе камеры сушки, кг;
 L – масса сухого сушильного агента (сухого воздуха), кг;
 ω_1 и ω_2 – влажность материала на входе и выходе камеры сушки, %;
 d_1 и d_2 – влагосодержание сушильного агента на входе и выходе камеры сушки, г/кг.

5.90. Как найти массу испаренной при сушке влаги?

Массу испаренной влаги W , кг, можно найти из уравнений материального баланса камеры сушки. При этом следует учитывать, что эта масса равна массе влаги, поглощенной агентом сушки:

$$W = M_1 \frac{\omega_1}{100} - M_2 \frac{\omega_2}{100} = L \frac{d_2 - d_1}{1000},$$

где M_1 и M_2 – масса материала на входе и выходе камеры сушки, кг;
 L – масса сухого сушильного агента воздуха, кг;
 ω_1 и ω_2 – влажность материала на входе и выходе камеры сушки, %;
 d_1 и d_2 – влагосодержание сушильного агента на входе и выходе камеры сушки, г/кг.

5.91. Как рассчитать необходимую при сушке массу сухого воздуха?

Массу сухого воздуха L , кг, используемую в процессе сушки, можно рассчитать из уравнения материального баланса камеры сушки по влаге:

$$L = W \frac{1000}{d_2 - d_1},$$

где W – масса влаги, испаренной из материала, кг;
 d_2 и d_1 – влагосодержание сушильного агента на выходе и входе камеры сушки, г/кг.

5.92. Чему равен удельный расход сушильного агента на испарение 1 кг испаренной влаги?

Удельный расход сушильного агента l , кг/кг, на испарение 1 кг испаренной влаги определяется разностью влагосодержания сушильного агента на выходе и входе камеры сушки:

$$l = \frac{1000}{d_2 - d_1},$$

где d_2 и d_1 – влагосодержание сушильного агента на выходе и входе камеры сушки, г/кг.

При этом удельный расход влаги представляет собой отношение массы сухого воздуха L к массе испаренной влаги W :

$$l = \frac{L}{W}.$$

5.93. Расчетная схема к тепловому балансу камеры сушки. Уравнение теплового баланса в общем виде.

Схема к расчету теплового баланса камеры сушки 1 приведена на рис. 5.10.

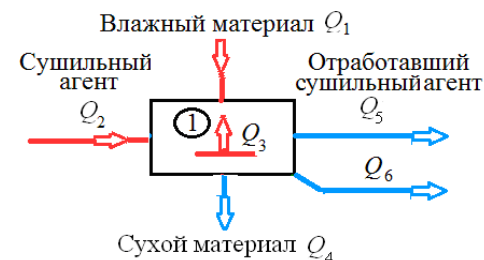


Рис. 5.10. Тепловой баланс камеры сушки

Тепловой режим камеры сушки характеризуют:
 – тепlopоступления с материалом Q_1 , сушильным агентом Q_2 и от дополнительного нагревателя Q_3 , предусмотренного в ряде случаев внутри камеры сушки;

– расходы теплоты с материалом на выходе камеры Q_4 , с отработавшим агентом сушки Q_5 и в результате теплопотерь Q_6 через стены камеры.

Тепловой баланс устанавливает согласно закону сохранения энергии равенство между поступлениями и расходами теплоты в камере сушки: $Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_5 + Q_6$.

5.94. Как рассчитать теплоступления в камеру сушки?

Теплоступления в сушильную камеру, кДж:

– с материалом:

$$Q_1 = c_1 M_1 \theta_1,$$

где c_1 – удельная теплоемкость материала при начальной его влажности, кДж/(кг·К);

M_1 – масса материала на входе в сушильную камеру, кг;

θ_1 – температура материала на входе в сушильную камеру, °С;

– с сушильным агентом:

$$Q_2 = LH_1,$$

где L – масса сухого агента сушки, кг;

H_1 – энтальпия агента сушки на входе в сушильную камеру, кДж/кг.

Теплоступления с материалом и агентом сушки можно рассчитать как количества теплоты, необходимые для нагрева материала от температуры 0 °С, а агента сушки от температуры 0 °С и относительной влажности 0 %.

При расчете теплоступлений Q_6 от дополнительного нагревателя используется его тепловая мощность (теплопроизводительность).

5.95. Как рассчитать расходы теплоты в расходной части теплового баланса камеры сушки?

Расходы теплоты, кДж:

– с материалом на выходе камеры:

$$Q_4 = c_2 M_2 \theta_2,$$

321

где c_2 – удельная теплоемкость материала при его влажности на выходе камеры, кДж/(кг·К);

M_2 – масса материала на выходе сушильной камеры, кг;

θ_2 – температура материала на выходе сушильной камеры, °С;

– с отработавшим сушильным агентом:

$$Q_5 = LH_2,$$

где L – масса сухого агента сушки, кг;

H_2 – энтальпия агента сушки на выходе сушильной камеры, кДж/кг.

Расходы теплоты с материалом и агентом сушки можно рассчитать как количества теплоты от заданного состояния до состояния материала при 0 °С или до состояния агента сушки при 0 °С и относительной влажности 0 %.

Расчет теплопотерь Q_6 выполняется по уравнению теплопередачи.

5.96. Как выразить теплоступления с материалом через его параметры на выходе камеры сушки?

При выражении массы влажного материала и физической теплоты материала применяется закон аддитивности.

Влажный материал на входе в камеру сушки состоит из материала массой M_1 и влажностью w_1 ; массой M_2 и влажностью w_2 на выходе камеры сушки и влаги массой W , испаренной затем в процессе усушки из материала.

В таком случае теплоступления с влажным материалом следует суммировать из физической теплоты материала массой M_2 , кг, и влажностью w_2 на выходе камеры сушки и испаренной влаги массой W , кг. Температура материала и влаги принимается равной температуре материала θ_1 на входе в камеру сушки. При расчете используется удельная теплоемкость материала при его влажности на выходе камеры и удельная теплоемкость воды.

Теплоступления с влажным материалом, кДж:

$$Q_1 = c_2 M_2 \theta_1 + c_B W \theta_1,$$

где c_2 – удельная теплоемкость материала при его влажности на выходе камеры, кДж/(кг·К);

c_B – удельная теплоемкость воды при температуре материала на входе в камеру сушки, кДж/(кг·К).

322

5.97. Тепловой баланс камеры сушки из расчета на 1 кг испаренной влаги.

Обе части теплового баланса камеры сушки следует разделить на массу испаренной влаги W и находят с учетом преобразования формулы для расчета теплоступлений с влажным материалом:

$$H_1 - H_2 = -\frac{\Delta}{l},$$

где H_1 и H_2 – энтальпия агента сушки на входе и выходе камеры сушки, кДж/кг;

Δ – разность добавлений и расходов теплоты в камере сушки, кДж/кг;

l – удельный расход сушильного агента, кг/кг.

5.98. Уравнение для расчета разности добавлений и расходов теплоты в камере сушки.

Разность добавлений и расходов теплоты характеризует внутренний тепловой баланс камеры сушки:

$$\Delta = c_b \theta_1 + q_T - q_{пр} - q_{тп},$$

где c_b – удельная теплоемкость воды при температуре материала на входе в камеру сушки, кДж/(кг·К);

θ_1 – температура материала на входе в сушильную камеру, °С;

q_T – теплоступления от дополнительного нагревателя, кДж/кг;

$q_{пр}$ – удельный расход теплоты на нагрев материала в камере сушки, кДж/кг;

$q_{тп}$ – теплопотери через стены камеры, кДж/кг.

5.99. Как рассчитать удельный расход теплоты на нагрев материала в камере сушке?

Расчет выполняется на основе зависимости:

$$q_{пр} = \frac{c_2 M_2 (\theta_2 - \theta_1)}{W},$$

где c_2 – удельная теплоемкость материала при его влажности на выходе камеры, кДж/(кг·К);

M_2 – масса материала на выходе сушильной камеру, кг;
 θ_2 и θ_1 – температура материала на выходе и входе камеры сушки, °С;

W – масса испаренной влаги, кг.

5.100. Уравнение для расчета разности добавлений и расходов теплоты в камере сушки зерна.

В зерносушилках отсутствует дополнительный нагреватель в камере сушки, а сушка зерна сопровождается термодинамическими потерями теплоты. Эти теплопотери обусловлены изменением давления сушильного агента в процессе сушки и определяются в зависимости от температур сушильного агента на входе и выходе камеры сушки.

Поэтому для камеры сушки зерна:

$$\Delta = c_b \theta_1 - q_{пр} - q_{тп} - q_{терм},$$

где c_b – удельная теплоемкость воды при температуре материала на входе в камеру сушки, кДж/(кг·К);

θ_1 – температура материала на входе в сушильную камеру, °С;

$q_{пр}$ – удельный расход теплоты на нагрев материала в камере сушки, кДж/кг;

$q_{тп}$ – теплопотери через стены камеры, кДж/кг;

$q_{терм}$ – термодинамические потери теплоты, кДж/кг.

5.101. Уравнение для расчета удельного расхода теплоты при сушке на 1 кг испаренной влаги.

При расчете используется уравнение:

$$q = l(H_1 - H_0),$$

где q – удельный расход теплоты, кДж/кг;

H_1 и H_0 – энтальпия агента сушки на входе камеры сушки и воздуха перед калорифером, кДж/кг.

5.102. Что такое теоретический процесс сушки?

Теоретический процесс сушки характеризуется постоянным значением энтальпии сушильного агента в процессе сушки. Теоретический процесс сушки является изоэнтальпийным и представляет

собой процесс адиабатического испарения. В этом процессе тепловая энергия агента сушки, расходуемая на испарение влаги из высушиваемого материала, возвращается сушильному агенту вместе с влагой в виде теплоты парообразования.

Особенности этого процесса состоят в том, что отсутствуют расходы теплоты на нагрев материала и в окружающую среду, в камере сушки нет дополнительных нагревателей, а температура поступающего на сушку материала равна 0 °С.

5.103. Как найти влагосодержание отработавшего агента сушки?

Влагосодержание отработавшего агента сушки можно найти, используя аналитический и графоаналитический методы расчета.

Графоаналитический метод расчета также основан на уравнениях материального и теплового баланса, но при этом используется диаграмма влажного воздуха с построением процесса сушки.

5.104. Как используется аналитический метод расчета влагосодержания отработавшего агента сушки?

Аналитический метод расчета основан на уравнениях материального и теплового баланса, которые позволяют получить совместную систему уравнений, имеющую одно решение.

Таким решением является и искомое значение влагосодержания d_2 отработавшего сушильного агента, которое зависит от параметров сушильного агента на входе камеры сушки, от его температуры на выходе камеры сушки и от разности добавлений и расходов теплоты Δ :

$$d_2 = f(H_1, t_1, t_2, \Delta),$$

где H_1 – энтальпия сушильного агента на входе камеры сушки, кДж/кг;

t_1 и t_2 – температуры агента сушки на входе и выходе камеры сушки, °С;

Δ – разность добавлений и расходов теплоты в камере сушки, кДж/кг.

5.105. Основные положения графоаналитического метода расчета конвективной сушилки.

Графоаналитический метод расчета базируется на уравнениях материального и теплового баланса с использованием диаграммы влажного воздуха, на которой изображаются процессы нагрева сушильного агента и изменения его состояния при сушке материала.

Для построения процессов на диаграмму влажного воздуха необходимо нанести две точки, характеризующие состояния воздуха до калорифера и сушильного агента на входе камеры сушки. При этом используются показатели температуры и относительной влажности воздуха, а также температуры сушильного агента на входе камеры сушки.

Процесс сушки строится по известному методу с учетом разности добавлений и расходов теплоты в камере сушки. Величина Δ определяет расположение и угол наклона линии действительного процесса сушки. При $\Delta < 0$ линия расположена ниже графика теоретического процесса сушки, а при $\Delta > 0$ – выше этого графика. Окончание этой линии находится при заданной температуре t_2 отработавшего сушильного агента. В этой точке определяют влагосодержание d_2 отработавшего сушильного агента.

После нахождения по диаграмме влажного воздуха необходимых для расчета параметров воздуха и агента сушки, вычисляются по соответствующим уравнениям расходы агента сушки и теплоты.

5.106. Как рассчитать КПД конвективной сушилки?

КПД прямоточной конвективной сушилки, работающей на нагретом воздухе без его рециркуляции в сушилке, принято рассчитывать как:

$$\eta = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_0},$$

где t_1 и t_2 – температуры агента сушки на входе и выходе камеры сушки, °С;

t_0 – температура воздуха перед калорифером, °С.

В этой зависимости наблюдается тесная взаимосвязь между температурными параметрами режима сушки и значением КПД сушилки.

5.107. Как влияет температурный режим работы конвективной сушилки на ее КПД?

Повышение температуры агента сушки на входе камеры сушки и температуры используемого воздуха приводит к повышению КПД сушилки. Низкотемпературная сушка, например, семенного зерна характеризуется низкими КПД и повышенными расходами топлива и энергии в сушилках.

5.108. Что является полезно использованной теплотой в конвективной сушилке?

Полезно использованная теплота – это теплота, расходуемая непосредственно в сушильной камере при сушке влажного материала.

При теоретическом процессе сушки она равна теплоте, расходуемой на испарение влаги из материала. В таком случае теоретически использованная теплота полностью соответствует назначению сушилки.

При действительном процессе сушки оказывается, что в состав полезно использованной теплоты входят наряду с теплотой, расходуемой на испарение влаги из материала, и расходы теплоты на нагрев материала и компенсацию теплопотерь камеры сушки.

5.109. Показатель энергоэффективности шахтных сушилок.

Показателем энергоэффективности работы шахтных зерносушилок являются удельные затраты условного топлива на сушку плановой единицы. Их выражают в килограммах условного топлива на одну плановую тонну зерна. В современных прямоточных шахтных зерносушилках они колеблются в пределах 12–12,5 кг/т.

5.110. Что такое плановая единица при сушке зерна?

Плановая единица сушки соответствует сушке одной тонны продовольственного зерна пшеницы с нормальной клейковиной в шахтных прямоточных сушилках без рециркуляции зерна и агента сушки при следующих условиях:

- снижение влажности от 20 до 14 %;
- начальная температура зерна 5 °С.

При расчете плановой единицы следует использовать коэффициенты пересчета в зависимости от начальной и конечной влажности зерна, от его культуры и дальнейшего назначения.

5.111. Как найти расход топлива на сушку?

Расход топлива B , кг/ч, на сушку зависит от массы влаги, испаренной за час, удельного расхода теплоты при сушке, теплоты сгорания топлива и КПД теплоисточника (котла, топочного устройства или теплогенератора):

$$B = \frac{qW_t}{Q_H^P \eta_T},$$

где q – удельный расход теплоты при сушке, кДж/кг;

W_t – часовой расход испаренной влаги, кг/ч;

Q_H^P – теплота сгорания топлива, кДж/ч;

η_T – КПД теплоисточника.

5.112. Как найти расход условного топлива на сушку плановой единицы?

Для выполнения расчета необходимо определить:

– расход условного топлива, используя при этом теплоту сгорания условного топлива;

– производительность шахтной зерносушилки в плановых единицах.

Затем находят расход условного топлива b , кг/т, при сушке плановой единицы:

$$b = \frac{B_y}{M_t},$$

где B_y – расход условного топлива, кг/ч;

M_t – производительность шахтной зерносушилки в плановых единицах, т/ч.

5.113. Методы энергосбережения в конвективных сушилках.

Для снижения расходов теплоты и топлива в конвективных сушилках используются следующие методы:

- автоматизация работы оборудования конвективных сушилок;

- обеспечение оптимального теплового режима сушки, при возможности сдвигая процесс сушки в область более влажного агента сушки;
- проведение сушки при более благоприятных погодных условиях; при повышенных температурах атмосферного воздуха и меньшей влажности материала, поступающего на сушку;
- уменьшение теплотерь в окружающую среду и утечек агента сушки;
- рециркуляция агента сушки с целью повторного его использования;
- утилизация теплоты отработавшего агента сушки и охлаждающего зерно воздуха;
- рециркуляция зерна;
- применение солнечной энергии в гелиосушилках.

5.114. Технологическая схема конвективной сушилки с рециркуляцией сушильного агента.

В схеме с рециркуляцией агента сушки (рис. 5.11) часть А отработавшего сушильного агента сбрасывается в атмосферу, а другая его часть Б возвращается путем рециркуляции для повторного использования в процессе сушки.

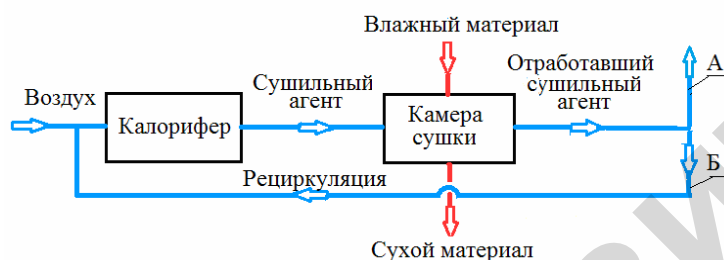


Рис. 5.11. Принципиальная схема конвективной сушилки с рециркуляцией сушильного агента

Рециркулирующая часть подмешивается к воздуху перед калорифером, затем образующаяся смесь нагревается в калорифере и используется в камере сушки как сушильный агент.

Исходя из материального баланса конвективной сушилки, следует, что масса подаваемого воздуха равна массе удаляемого в атмосферу отработавшего сушильного агента.

5.115. Что такое коэффициент рециркуляции сушильного агента, в каких пределах находится его значение?

Коэффициент рециркуляции определяется как отношение массы рециркулирующей части сушильного агента ко всей его массе. В связи с этим коэффициент рециркуляции изменяется от 0 до 1. Его значение, равное нулю, характеризует прямоточную сушилку при отсутствии рециркуляции, а равное единице – полную рециркуляцию агента сушки (без смены даже его части) в процессе сушки.

В конвективных зерносушилках коэффициент рециркуляции находится в пределах от 0,35 до 0,7.

5.116. От каких факторов зависит коэффициент рециркуляции?

Коэффициент рециркуляции однозначно определяется параметрами теплового режима сушки и не может быть принят произвольно. Он зависит от параметров агента сушки на входе и выходе камеры сушки и от разности добавлений и расходов теплоты в камере сушки. Существенное влияние оказывает влагосодержание и относительная влажность отработавшего сушильного агента. Повышение влагосодержания способствует, с одной стороны, увеличению коэффициента рециркуляции и снижению расходов теплоты на сушку, а с другой стороны – к уменьшению скорости сушки и увеличению продолжительности сушки. Поэтому влагосодержание отработавшего агента сушки следует принимать исходя из условия обеспечения благоприятных условий для сушки материала и для энергосбережения в конвективных сушилках.

5.117. Как определить относительное снижение расхода топлива при сушке за счет рециркуляции сушильного агента?

Относительное снижение расхода топлива при сушке за счет рециркуляции агента сушки зависит от коэффициента рециркуляции k и КПД конвективной сушилки η :

$$b = k(1 - \eta).$$

В связи с этим заданные (принятые) параметры теплового режима сушки и внутренний тепловой баланс камеры сушки определяют достигаемую экономию топлива за счет рециркуляции сушильного агента.

В уравнении в скобках выражена доля непроизводительных потерь теплоты при сушке в конвективных сушилках.

5.118. Методы утилизации теплоты отработавшего сушильного агента.

Отработавший сушильный агент используется как вторичный энергоресурс и за счет его теплоты нагревается воздух перед его подачей в калорифер или непосредственно в камеру сушки. Такой процесс обычно называют утилизацией (регенерацией) теплоты.

Для утилизации теплоты отработавшего сушильного агента предусматривают теплообменники-теплоутилизаторы или тепловые насосы.

В первом случае организуется теплообмен между потоками отработавшего сушильного агента и воздухом путем теплопередачи, а во втором случае устанавливается тепловой насос, при работе которого происходит передача теплоты от отработавшего сушильного агента воздуху.

5.119. Технологическая схема конвективной сушилки с утилизатором теплоты отработавшего сушильного агента.

В схеме (рис. 5.12) предусмотрен теплоутилизатор (ТУ), в котором организована теплопередача между отработавшим сушильным агентом и воздухом.

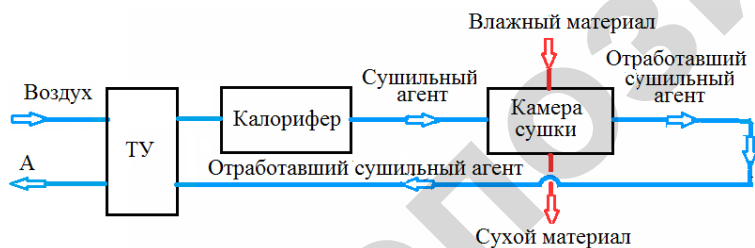


Рис. 5.12. Принципиальная схема конвективной сушилки с утилизатором теплоты отработавшего сушильного агента

Воздух нагревается вначале в теплоутилизаторе, а затем в калорифере. Отработавший сушильный агент используется как вторичный энергоресурс. После теплоутилизатора он сбрасывается в атмосферу (А), но уже при пониженных температурах.

5.120. Как определить относительное снижение расхода топлива при сушке за счет утилизации теплоты отработавшего сушильного агента?

Относительное снижение расхода топлива при утилизации теплоты отработавшего сушильного агента зависит от коэффициента эффективности ε и КПД конвективной сушилки η :

$$b = \varepsilon(1 - \eta).$$

Чем меньше КПД сушилки, тем больше эффект энергосбережения. Коэффициент эффективности теплоутилизатора определяется условиями его работы, прежде всего числом единиц переноса, характеризующим условия теплообмена в теплообменнике.

5.121. Схема рециркуляции зерна в конвективной сушилке.

При работе рециркуляционных сушилок (сушилок с рециркуляцией зерна) предусматривается использование принципа рециркуляции зерна – возврата в сушилку части просушенного зерна (рис. 5.13).

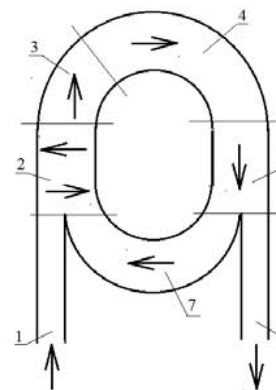


Рис. 5.13. Схема рециркуляции зерна в конвективной сушилке

По замкнутому контуру зерносушилки непрерывно движется поток рециркулирующего зерна 7.

В этот поток поступает сырое зерно 1, а из потока отводят просушенное зерно 6. По мере движения в сушилке зерно проходит следующие стадии технологического процесса сушки:

- перемешивание в зоне 2 сырого зерна с рециркулирующим;
- нагрев в зоне нагрева 3;
- выравнивание температуры зерна и перераспределение влаги между сырыми и рециркулирующими зёрнами при отлежке в тепло-влажеообменнике 4;
- сушка в сушильных шахтах 5;
- охлаждение отбираемого из сушилки просушенного зерна;
- рециркуляция части просушенного зерна.

После тепло-влажеообменника зерна разделяют на два потока, каждый из которых поступает в свою сушильную шахту. Из одной сушильной шахты просушенное и охлажденное зерно направляется на склад, а из другой – просушенное зерно поступает на рециркуляцию.

5.122. В чем состоят достоинства рециркуляции зерна в конвективной сушилке?

Рециркуляционные сушилки с рециркуляцией зерна позволяют высушивать зерно с высокой начальной влажностью за один проход через сушилку. Они требуют подбора партий сырого зерна по влажности и допускают одновременную загрузку зерна разной влажности. Благодаря контактному влагеобмену в тепло-влажеообменнике и циркуляции зерна происходит выравнивание влажности зерна.

Использование рециркуляционных зерносушилок сопровождается сокращением их простоев, периодов запуска и остановок, уменьшением непроизводительных расходов топлива и энергии.

Кратковременный нагрев зерна сушильным агентом температурой 250–400 °С способствует снижению расходов теплоты при сушке.

5.123. Что такое коэффициент рециркуляции зерна в рециркуляционных зерносушилках?

Коэффициент рециркуляции зерна или кратность смешения характеризует соотношение между сырым и рециркулирующим зерном. Он характеризует работу рециркуляционных сушилок и зависит от

начальной влажности поступающего зерна и снижения влажности за проход через сушилку.

Чем выше начальная влажность зерна, тем меньше его подают в сушилку и тем больше добавляют к нему просушенного рециркулирующего зерна.

5.124. В чем состоят особенности теплового расчета камеры охлаждения?

При охлаждении зерна происходит не только снижение его температуры, но и продолжение процесса сушки. При охлаждении зерна завершается процесс сушки.

Тепловой расчет камеры охлаждения аналогичен расчету камеры сушки. В основу расчета положен материальный и внутренний тепловой баланс камеры охлаждения. Разность добавлений и расходов теплоты определяется как:

$$\Delta = c_v \theta_2 + q_{пр} - q_{тп},$$

где c_v – удельная теплоемкость воды при температуре материала на входе в камеру сушки, кДж/(кг·К);

θ_2 – температура материала на входе в камеру охлаждения, °С;

$q_{пр}$ – удельные тепlopоступления от охлаждаемого материала, кДж/кг;

$q_{тп}$ – тепlopотери через стены камеры, кДж/кг.

В данном случае наблюдаются тепlopоступления от материала, но не расходы теплоты на его нагрев. Процесс охлаждения материала после сушки сопровождается увеличением и температуры, и энтальпии используемого при этом воздуха.

5.125. Как рассчитать удельные тепlopоступления от охлаждаемого материала в камере охлаждения?

Удельные тепlopоступления от охлаждаемого материала, кДж/кг:

$$q_{пр} = \frac{c_3 M_3 (\theta_2 - \theta_3)}{W_0},$$

где c_3 – удельная теплоемкость материала при его влажности на выходе камеры охлаждения, кДж/(кг·К);

M_3 – масса материала на выходе сушильной камеры охлаждения, кг;
 θ_2 и θ_3 – температура материала на входе и выходе камеры охлаждения, °С;

W_0 – масса влаги, испаренной в камере охлаждения, кг.

5.126. Основные направления улучшения показателей сушилок.

К основным направлениям можно отнести следующие:

- использование теплоты отработавшего сушильного агента;
- улучшение теплоизоляции и герметизации сушильных установок;
- создание компактных и мобильных конструкций;
- совершенствование и автоматизация топочных устройств;
- применение современных методов контроля и регулирования процесса сушки;
- недопущение пересушивания материала.

5.127. Как классифицируются потери энергии в сушилках?

Классификация потерь энергии в сушильных установках проводится по следующим признакам:

по возможности и целесообразности устранения:

- полные потери;
- потери неустраняемые, определяемые особенностями технологии, оборудования;
- потери, устранение которых технически возможно;
- потери, устранение которых в данных условиях экономически целесообразно;

по месту возникновения:

- при хранении;
- транспортировании;
- переработке;
- использовании теплоносителей);

по физическому признаку и характеру:

- потери теплоты в окружающую среду с уходящими газами;
- с технологической продукцией или отходами, из-за уноса материала;

- потери электроэнергии в трансформаторах, линиях электропередач;
- гидравлические потери напора и механические на трение;

по причинам возникновения потерь:

- из-за конструктивных недостатков;

- неправильного выбора технологического режима обработки;
- неправильной эксплуатации оборудования;
- низкого качества ремонта.

5.128. Удельный расход топлива сушилок, применяемых в Республике Беларусь?

Характеристики основных сушилок, используемых в АПК, приведены в табл. 5.1. Данные приведены на плановую тонну продукции.

Таблица 5.1

Характеристики основных сушилок

Тип и марка сушилки	Удельный расход условного топлива на 1 % испаренной влаги, кг у.т./т*		
	Зерно**	Зерно***	Другое
<i>Шахтные сушилки (прямоточные)</i>			
ДСП-16, ДСП-32, ДСП-24сн, М819, ЛСО-11	2,00		
СЗШР-8, СЗШР-16	2,02		
ДСП-32-ОТ, СЗШ-16, СЗШ-16М, К4-УСА, К4-УС2А	2,03		
ЗСПДЖ-8	2,40		
SAG-10, SAG-15, SAG-20, SAG-30	1,50	1,87	2,48
ЛСХА-10, ЛСХА-20 (солодосушилки)			31,40
<i>Шахтные сушилки (рециркуляционные)</i>			
А1-УЗМ	1,83		
А1-ДСП-50	1,87		
«Целинная-30», «Целинная-50», РД-2х25-70	2,05		
У2-УЗБ-50	2,08		
<i>Барабанные сушилки</i>			
СЗСБ-8	1,98		
СЗПБ-2,5	2,00		
РЗ-ЧСС (сено)			1,29
СБУ-1 (сахар-песок)			3,00
СБА-1 (молочный сахар)			10,80
А2-ПСА (жом)			12,80
А1-ИФИ (кормовая мука)			10,40
<i>Камерные (коридорного типа)</i>			
СКП-6		3,30	
СЗК-8, СЗК-8-1	2,88		

Окончание табл. 5.1

Тип и марка сушилки	Удельный расход условного топлива на 1 % испаренной влаги, кг у.т./т*		
	Зерно**	Зерно***	Другое
А1-УСК (кукуруза)			3,00
КС-2М (сухари)			3,40
<i>Конвейерные</i>			
Г4-КСК-90 (овощи, картофель)			2,12
СКО-90 (овощи, фрукты)			2,34
СПК-4Г паровая (овощи, плоды)			8,40
<i>С виброкипящим слоем</i>			
РЗ-ОСС (молочный сахар)			10,84
А1-КВР, А1-ОГК (крупа, казеин), А1-ФМУ (меланж)			3,55

Примечания:

* При температуре наружного воздуха 5 °С и относительной влажности 75 %.

** Продовольственное зерно (сушка от 20 до 14 %).

*** Семенное зерно (сушка от 20 до 14 %).

5.129. Основные направления улучшения показателей сушилок.

Показатель энергетического совершенства сушильных установок при конвективном способе подвода теплоты имеет особую специфику. Для конвективной сушилки энергетический КПД равен:

$$\eta = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_0},$$

где t_1 – температура сушильного агента на входе в сушилку, °С;

t_2 – температура сушильного агента на выходе из сушилки, °С;

t_0 – температура воздуха окружающей среды, °С.

Максимальный КПД конвективной сушилки, определяемый зависимостью:

$$\eta_{\max} = \frac{t_1 - t_{\text{МК}}}{t_1 - t_0},$$

где $t_{\text{МК}}$ – температура мокрого термометра, соответствующая конечным параметрам сушильного агента, °С.

5.130. По каким признакам классифицируются методы повышения тепловой экономичности сушилок?

Классификация методов повышения тепловой экономичности конвективных сушильных установок проводится по следующим признакам:

1. *Теплотехнические* (касающиеся сушильной установки в целом):

– теплотехнические (выбор тепловой схемы, режимных параметров сушики, режимов работы установки, коэффициентов рециркуляции, управление конечным влагосодержанием сушильного агента и т. д.);

– конструктивно-технологические (оптимизация числа зон промежуточного подогрева, выбор направления взаимного движения сушильного агента и материала, совершенствование системы подвода теплоты, улучшение аэродинамической обстановки в сушилке и т. д.).

2. *Кинетические* (способствующие повышению интенсивности сушики и тем самым влияющие на габариты установки и ее КПД):

– методы интенсификации внешнего тепломассообмена (увеличение температурного напора, движущей силы массообмена, коэффициента теплоотдачи к сушимому материалу, поверхности теплообмена и т. д.);

– методы интенсификации внутреннего тепломассообмена (повышение температуры материала, особенно в первом периоде сушики, снижение термодиффузионной составляющей потока массы при ее разнонаправленности с диффузионной составляющей, использование внешних полей – электрических, магнитных, звуковых, использование ПАВ, осциллирующих режимов подвода теплоты).

5.131. Чем определяется интенсивность внутреннего тепломассообмена?

Интенсивность внутреннего переноса, прежде всего, определяется перепадами влагосодержания, температуры и (иногда) давления в объеме материала, а также значением коэффициентов диффузии влаги и термовлагопроводности. Перенос влаги в виде жидкости происходит в направлении уменьшения влагосодержания, температуры и давления и неразрывно связан с переносом теплоты.

Интенсификация внутреннего переноса осуществляется:

– изменением, если это допустимо технологией, структуры материала перед или при сушике с целью увеличения тепло- и массопродности;

– введением в объем материала малых добавок, например, поверхностно-активных веществ (ПАВ), что также может оказывать ускоряющее влияние на внутренний перенос;

– управлением характером распределения температуры, влагосодержания и давления в объеме материала за счет применения различных, часто изменяющихся во времени способов и параметров энергоподвода к материалу.

5.132. Чем определяется интенсивность внешнего теплообмена?

Интенсивность внешнего теплообмена (иногда называемого испарением) растет в прямой зависимости от перепадов температуры и концентрации испаряющегося из материала вещества в окружающей среде и у поверхности материала.

Интенсификация внешнего теплообмена производится:

– увеличением перепада температуры и концентрации испаряющегося вещества в окружающей среде и у поверхности материала;

– увеличением скорости движения и степени турбулентности окружающей среды, изменением направления движения;

– изменением свойств окружающей среды, например, при использовании вместо воздуха инертных газов, инертных к влаге жидких сред, при осуществлении процесса в разреженной среде или при повышении давления;

– применением электромагнитных излучений (инфракрасного, высокочастотного), что позволяет резко увеличить поток подводимой к материалу энергии.

5.133. За счет чего осуществляется экономия энергии при интенсификации теплообмена?

Наиболее эффективными в большинстве случаев оказываются комбинированные методы интенсификации сушки. Экономия энергии в результате интенсификации осуществляется, прежде всего, за счет:

– сокращения общей длительности процесса и соответственно уменьшения потерь энергии;

– локализации подвода энергии и снижения при этом нерационального ее расхода;

– снижения расхода сушильного агента и соответственно энергии на его перемещение.

К реализуемым на практике приемам, осуществляемым для интенсификации теплообмена, можно отнести:

– перемешивание материала при сушке;

– периодическое изменение направления движения сушильного агента относительно материала;

– применение высокотемпературных и осциллирующих (при чередовании нагревания и охлаждения) режимов.

Перспективным направлением в экономии топлива и энергии при обезвоживании влажных материалов в конвективных сушильных установках является не рациональное использование теплоты уходящего сушильного агента в различного рода утилизационных установках, а всемерное сокращение этого вида потерь.

5.134. Факторы, влияющие на эффективность сушки.

Можно выделить три группы факторов, которые влияют на эффективность сушки нагретым воздухом: условия окружающей среды; вид культуры, подвергаемой сушке; конструкция сушилки.

Коэффициент полезного действия сушильной установки может меняться, в зависимости от погодных условий. Эффективность сушки при низких температурах окружающего воздуха может быть быстро повышена путем увеличения количества теплоты, добавляемой к воздуху.

Коэффициент полезного действия зависит также от того, насколько прочно при сушке влага удерживается внутри зерна данного вида. Мелкие семена теряют влагу легче, чем крупные. Для сушки кукурузы требуется больше времени, чем для сушки пшеницы.

Зерно гигроскопично, и его влажность влияет на то, насколько полно насыщается влагой сушильный агент. При начальной влажности зерна выше 25 % сушильный агент будет полностью насыщаться. При низкой влажности невозможно достичь полного насыщения воздуха и, следовательно, уменьшается эффективность сушки.

Важными факторами эффективности, относящимися к конструкции сушилки и ее работе, являются отношение температуры воздуха к его расходу и продолжительность сушки.

5.135. Каким образом возможно осуществить снижение затрат на топливо при сушке зерна?

В связи с непрерывным ростом цен на энергоносители все острее встает проблема снижения доли энергетических затрат в себестоимости сушки зерна, которая по оценкам экспертов достигает 75–80 %.

Для оценки экономичности топлива, в качестве примера, достаточно взглянуть на следующие цифры⁵: для сушилки производительностью 33 т/ч расход природного газа в среднем составляет 184,8 м³/ч (удельный расход на снижение влажности зерна 1 % – 1,4 м³/т). При использовании дизельного топлива для аналогичной зерносушилки расход составил бы 147,84 кг/ч (удельный расход – 1,12 кг/т). Учитывая среднюю стоимость вышеуказанных видов топлива, получаем, что стоимость при сушке зерна на природном газе в 4 раза ниже, чем при сушке зерна на дизельном топливе.

Таким образом, можно сделать вывод, что наиболее эффективным методом снижения затрат топлива на сушку зерна является использование сушилок, работающих на природном газе.

5.136. Каким образом способ «Full heat» уменьшает удельный расход топлива на сушку зерна?

«Full heat» – способ уменьшения повреждения зерна при сушке – применяется с целью уменьшить образование трещин кукурузы при быстрой сушке ее воздухом высокой температуры.

При использовании этого способа сушка нагретым воздухом прекращается при влажности, которая на 1–2 % выше величины желаемой конечной влажности. Нагретое зерно кукурузы подается из сушилки в силос, где оно проходит медленное охлаждение с помощью вентилирования наружным воздухом. Зерно, высушенное по этому способу, менее хрупкое и не растрескивается так легко, как зерно после сушки обычными способами.

Положительным фактором процесса «Full heat» является увеличение производительности сушилки и, значит, уменьшением расхода топлива на сушку. Это объясняется перенесением процесса охлаждения зерна из сушилки в отдельный силос и удалением излишней влаги в процессе медленного охлаждения зерна.

5.137. Направления работ по совершенствованию средств сушки.

Анализ зарубежных литературных источников показывает, что исследовательские и конструкторские работы по совершенствованию технологии и технических средств сушки зерна направлены на

снижение расхода энергии, материалов и затрат труда. Фирмы США, Франции, Германии, Великобритании, Швеции и других стран выпускают установки для сушки зерна в разнообразном конструктивном оформлении, что позволяет наиболее полно удовлетворять потребности сельского хозяйства.

При всем многообразии конструкций можно выявить общие тенденции развития техники за рубежом:

- наибольшее распространение для сушки зерна получили конвективные сушильные установки периодического и непрерывного действия;

- распространена технология сушки зерна на месте его хранения наружным или слегка подогретым воздухом (низкотемпературная сушка). Для этого используют вентилируемые металлические зернохранилища, бункеры активного вентилирования, склады-сушилки;

- в фермерских хозяйствах применяют разнообразные по конструктивному исполнению сушильные установки периодического действия (преимущественно мобильные);

- модульный принцип компоновки зерносушилок различной производительности;

- интенсификация технологического процесса за счет использования дифференцированных тепловых и аэродинамических режимов, предварительно нагретого воздуха;

- применение циклонов, фильтров, пылеулавливающих устройств и специальных вентиляторов для очистки отработавшего теплоносителя от пыли и примесей;

- автоматизация технологического процесса с использованием компьютеров;

- открытое исполнение сушилок (без здания), выполненных из сборных узлов полной заводской готовности;

- использование в конструкциях коррозионностойких и теплоизолирующих материалов;

- создание высокой эксплуатационной надежности основных и вспомогательных узлов сушилок (нории, вентиляторы, топочные устройства, автоматика).

Основные методы, применяемые за рубежом и направленные на сокращение расхода жидкого топлива при сушке зерна:

- использование топочных устройств на природном и сжиженном газе, твердом топливе (из растительных остатков и отходов);

- рециркуляция отработавшего теплоносителя, в том числе с промежуточным его подогревом;

⁵ Зерносушилки непрерывного действия компании GSCOR.

- надежная теплоизоляция нагретых поверхностей сушилок;
- применение двухстадийной сушки нагрева (охлаждения) зерна (*dryaerian*).

Зарубежная сушильная техника, поступающая на фермы, имеет КПД 70–75 %, высокую производительность, возможность использования альтернативных источников энергии, оснащается автоматизированными системами управления электроприводом и отдельных узлов, контроля их работы, регулирования технологических параметров процесса сушки.

5.138. Как классифицируются сушильные установки?

Классификацию зерносушилок производят по различным признакам:

- конструкции сушильной камеры (шахтные, барабанные, камерные, пневмотрубные, конвейерные, виброкипящего слоя, сотовые и лотковые);
- функционированию во времени (непрерывного, полунепрерывного и периодического действия);
- виду сушильного агента (воздушные, на дымовых (топочных) газах и на неконденсирующихся в процессе сушки газах (азот, гелий, перегретый водяной пар));
- схеме движения сушильного агента (однозонные (с однократным использованием сушильного агента, с рециркуляцией) и многозонные (с промежуточным подогревом сушильного агента, рециркуляцией его по зонам, рециркуляцией между зонами));
- давлению в сушильной камере (атмосферные и вакуумные);
- направлению движения сушильного агента относительно материала (прямоточные, противоточные, перекрестноточные и реверсивные).

5.139. Что собой представляют шахтные сушильные установки?

Шахтные сушилки получили наибольшее распространение для сушки зерна (рис. 5.14). Они предназначены для сушки урожая различных культур: зерна, семян крупяных и зернобобовых культур, подсолнечника, – с исходной влажностью до 35 %.

В шахте прямоугольного сечения зерно заполняет вертикальные колонки из дырчатых стальных листов (колонковые сушилки), свободное пространство между полками жалюзи (жалюзийные сушилки)

или между коробами (сушилки с коробами). Агент сушки поступает через них в шахту сушилки, пронизывая слой зерна, и выходит наружу через отводящие короба. Просушиваемое зерно движется вниз под действием собственного веса, проходит камеру охлаждения и через выпускное устройство выходит в нижний бункер. Охлаждающая камера представляет собой нижнюю часть шахты, продуваемую наружным воздухом через такие же короба, как и в сушильной камере (рис. 5.15).



Рис. 5.14. Общий вид шахтной сушильной установки в составе зерносушильного комплекса

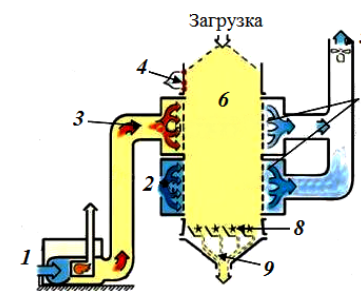


Рис. 5.15. Принцип действия шахтной зерносушилки:
 1 – теплогенератор; 2 – охлаждающая секция; 3 – подача горячего воздуха;
 4 – датчики уровня зерна; 5 – вентиляторы; 6 – зона сушки;
 7 – отвод влажного воздуха; 8 – зона разгрузки; 9 – воронка выгрузки

Для продовольственного и семенного зерна режимы сушки различны. При сушке продовольственного зерна за один цикл удаляется 5–6 % влаги (производительность сушилки составляет 8–20 т/ч). При сушке семенного зерна удаляется 3–4 % влаги (производительность сушилки составляет 4–10 т/ч). Для сушки зерна в шахтных зерносушилках необходима предварительная очистка от соломы и шелухи для предотвращения возгорания.

5.140. Какие типы камер используются в шахтных сушилках?

В шахтных сушильных установках используются в основном четыре типа сушильных камер (рис. 5.16).

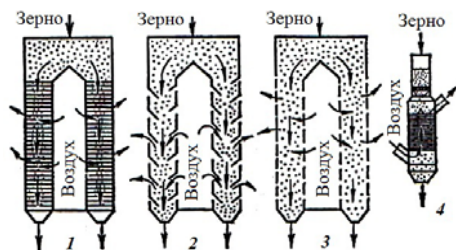


Рис. 5.16. Типы сушильных камер в шахтных сушильных установках:
1 – с воздухораспределительными коробами; 2 – с жалюзийными стенками;
3 – с сетчатыми стенками; 4 – с тормозящими элементами

5.141. Какие преимущества имеют шахтные сушильные установки?

Шахтные зерносушилки, являясь зерносушилками открытого типа (не требуют строительства зданий или навесов для их укрытия), обладают рядом существенных преимуществ:

- имеют высокий КПД благодаря использованию современных теплоизоляционных материалов для снижения потерь теплоты;
- обладают программируемой системой управления, позволяющей автоматизировать процесс сушки зерна на всех стадиях технологического процесса;
- для их работы требуется минимальный обслуживающий персонал (сушилкой управляет один оператор);
- наличие датчиков уровня зерна и его температуры, а также системы автоматического блокирования работы зерносушилки, позволяют

избежать аварийных ситуаций, таких как завалы зерна, его возгорание, выход из строя узлов и деталей;

- расход электроэнергии и топлива является сравнительно небольшим;
- в качестве сушильного агента используется теплый воздух без примесей топочных газов, что позволяет избежать сорбции зерном продуктов горения;
- система рециркуляции воздуха позволяет осуществлять непрерывную сушку зерна относительно невысокой температурой, что дает возможность избежать перегрева зерна;
- имеют систему автоматической регулировки температуры сушки (с точностью до ± 1 °С), которая позволяет поддерживать оптимальную температуру в зависимости от исходной влажности зерна;
- конструкция подводящих и отводящих коробов обеспечивает равномерность распределения теплого воздуха в сушильном пространстве шахты;
- конструкция разгрузочных устройств обеспечивает максимально щадящее воздействие на зерно при его выгрузке, что сказывается на качестве семян.

5.142. Что собой представляют лотковые сушильные установки?

Лотковые (напольные) сушилки – это установки периодического действия, в корпусе которых расположено несколько горизонтальных лотков (обычно два лотка) с дном из дырчатого листового железа (рис. 5.17). Теплоноситель продувается через слой зерна вентилятором и выходит в атмосферу.

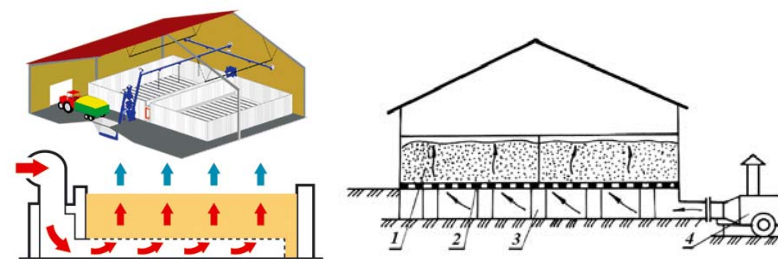


Рис. 5.17. Технологическая схема двухкамерной лотковой (напольной) сушильной установки:

1 – камера; 2 – решетчатое основание; 3 – опоры; 4 – теплогенератор

Обычно напольные сушилки состоят из двух камер со встроенным воздухопроводом, наполнение сушилки осуществляется механическим путем. Данные сушилки обычно устанавливаются на больших площадях. Чтобы обеспечить лучшее качество просушки зерна рекомендуется высота насыпи до 80 см. У напольных сушилок высокая производительность – за один проход зерна через камеру сушилки зерно полностью готово к укладке на длительное хранение.

5.143. Что собой представляют конвейерные сушильные установки?

Конвейерные (ленточные) сушилки (рис. 5.18) применяют для сушки овощей, плодов, картофеля и других продуктов сельскохозяйственного производства. На движущуюся перфорированную стальную ленту транспортер подает влажный материал. Сушильный агент проходит через отверстия ленты и слой материала, нагревает его, поглощает влагу и удаляется наружу. Высушенный продукт ссыпается в выгрузной бункер.

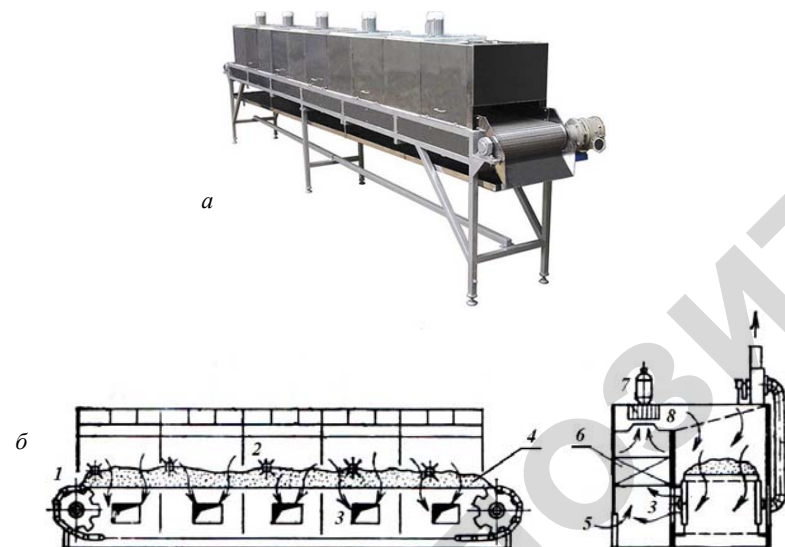


Рис. 5.18. Конвейерная сушильная установка:

a – общий вид; *б* – принципиальная схема; 1 – транспортер; 2 – ворошители; 3 – вывод рециркуляционного воздуха; 4 – материал; 5 – вход свежего воздуха; 6 – калорифер; 7 – вентилятор; 8 – распределительный канал



Рис. 5.19. Конвейер для подсушки овощей после мойки

Ленточные сушильные установки (рис. 5.19) особенно часто используются для подсушки овощей и фруктов после мойки и для быстрого снижения температуры обжаренных, варенных или бланшированных овощей. Такой аппарат разделен на несколько отсеков, с различной температурой и относительной влажностью сушки в них. Производительность такой сушильной установки до 1,5 т/ч при мощности электрокалорифера 14,5 кВт (объем пропускаемого воздуха 9500 м³/ч).

5.144. Что собой представляют барабанные сушильные установки?

Барабанные сушилки состоят из топки, барабана и камеры охлаждения (рис. 5.20). Система работает по принципу перемещения продукта по горизонтальному спиралевидному транспортеру. Сушильная камера представляет собой барабан с подъемно-лопастной системой непрерывного действия, работающий на смеси топочных газов с воздухом. Цилиндрический барабан имеет диаметр от 1,2 до 3,5 м и длину от 8 до 27 м. Он устанавливается на роликовых опорах под углом наклона к горизонту 1–3°. Привод барабана осуществляется от электрического двигателя посредством редуктора и приводной шестерни. При медленном вращении барабана (2–10 об/мин) лопасти захватывают и пересыпают сверху вниз просушиваемый

материал, направляемый потоком теплоносителя в разгрузочную камеру сушилки. Снаружи барабан изолирован материалом с низкой теплопроводностью.

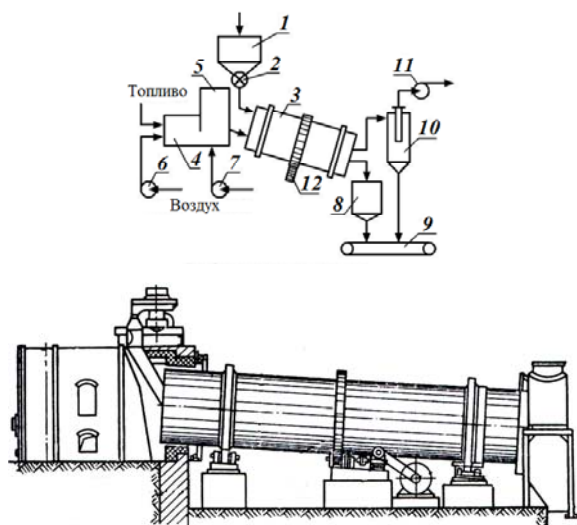


Рис. 5.20. Барабанная сушильная установка:

1 – бункер влажного материала; 2 – питатель; 3 – барабан; 4 – топка; 5 – камера смешения; 6 – воздух для горения; 7 – присадочный воздух; 8 – бункер сухого материала; 9 – транспортер; 10 – циклон; 11 – дымосос; 12 – шестерня

Данная сушилка очень компактна, поэтому ее иногда используют как мобильную установку, однако, в последнее время барабанные сушилки применяют как стационарное оборудование при загрузке зерна на длительное хранение. По производительности барабанная сушилка также как и шахтная, за один проход зерна снижает влажность продукта на 5–6 %, а семенного зерна – на 3–4 %.

Барабанные сушилки широко применяются для сушки зерна различных культур, семян трав, а также зеленой массы клевера, люцерны и других трав с целью получения белково-витаминного корма. Кроме того, они также применяются для сушки сыпучих пищевых продуктов (сахарного песка, свекольных и картофельных отходов, используемых при производстве спирта, мезги и кукурузных ростков, используемых для производства крахмала и патоки) и строительных материалов (песка, глины и других). Они обеспечивают равномерное высушивание материала любой начальной влажности.

5.145. От чего зависит эффективность барабанных сушилок?

Эффективность работы барабанных сушильных установок зависит:
– от конструкции топки (слоевая или камерная), определяемой видом сжигаемого топлива;
– типа внутренних насадок (рис. 5.21), определяющих степень заполнения барабана.

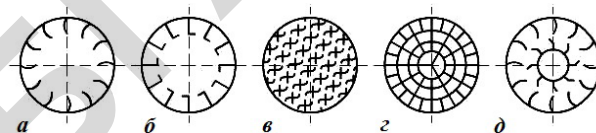


Рис. 5.21. Типы внутренних насадок (в скобках указана степень заполнения барабана):

а – подъемно-лопастная (12 %); б – подъемно-лопастная (14 %);
в – распределительная (20,6 %); г – с закрытыми ячейками (27,5 %);
д – комбинированная (24 %);

Для получения необходимой температуры между топкой и барабаном предусматривается подача холодного воздуха в поток горячих продуктов сгорания (присадочный воздух).

5.146. Что собой представляют рециркуляционные сушилки?

Принцип работы рециркуляционной сушилки схож с принципом работы шахтной сушилки. Рециркуляционная сушилка состоит из шахт и вертикального транспортера. Зерно также под действием собственного веса просушивается, и часть урожая поступает на сушку, а другая часть просушенного продукта поступает в камеру, где производится смешение высушенного зерна с влажным зерном.

Одним из путей повышения эффективности сушки зерна является повторное использование тепла отработанного воздуха. Этот принцип позволяет удвоить использование отработанного воздуха. В этом случае используется не только отработанный воздух, который поступает из камеры охлаждения, но и воздух из нижних отсеков сушилки (то есть используется содержащаяся в них энергия), который подводится с помощью циркуляционного вентилятора. Пневматическая разгрузочная заслонка обеспечивает краткие циклы выброса продукта. С помощью пневматических воздушных клапанов, которые находятся на выдувной стороне вентилятора, поток воздуха во время этого краткого цикла выдачи прерывается. Данный принцип

работы позволяет экономить топливо и следовательно сократить затраты на закладку урожая в зернохранилище.

Для определения общего количества воздуха, используемого для циркуляции, необходимо учитывать такие факторы, как приблизительная средняя влажность материала и параметры окружающей среды. Например, сушилка для кукурузы, работающая в центральной Германии, обрабатывает продукт со средней ожидаемой влажностью 35 %, поэтому для работы здесь необходимо иное распределение воздуха, чем, например, для сушилки в Южной Венгрии, работающей со средней ожидаемой влажностью 22 %.

Кроме того, данные сушилки обладают высокой пропускной мощностью и производительностью.

5.147. Что собой представляют туннельные сушилки?

Среди прочих атмосферных видов сушильных установок можно выделить туннельные сушилки, в качестве сушильного агента в которых выступает топочный газ и воздух. Такой вид сушилок довольно удобен, поскольку в них продукт практически не теряет своего первоначального вида. Например, в пищевой промышленности такая сушильная установка применяется для высушивания овощей и фруктов, макарон и сухарей, пастилы и мармелада. Кроме того, в туннельных сушилках высушиваются керамические и деревянные изделия.

5.148. Что собой представляют пневматические сушилки?

Пневматические сушильные установки являются высокоэффективными аппаратами для сушки влажных мелкозернистых материалов.

В пневматических сушилках процесс сушки происходит в вертикальной трубе в восходящем потоке теплоносителя (рис. 5.22). Сырой материал из приемного бункера направляется вентилятором в трубопровод, где с большой скоростью движется нагретый в калорифере воздух. Из трубы поток попадает в циклон, отделяющий продукт сушки от сушильного агента. Диаметр трубы обычно не превышает 1,5 м, а ее высота – 10–25 м. Скорость газов в трубе составляет 20–30 м/с. Однако степень высушивания материала в пневматических сушилках невелика вследствие малого времени пребывания материала в сушильной трубе. В целях достижения более глубокой подсушки материала применяют двух- и трехступенчатые сушильные установки.

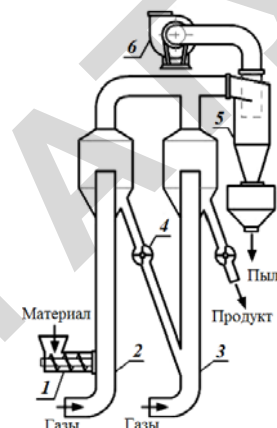


Рис. 5.22. Ступенчатая труба-сушилка:

1 – подача влажного материала; 2, 3 – сушильные трубы первой и второй ступеней; 4 – отвод материала; 5 – циклон; 6 – дымосос

Разновидностью пневматических сушилок являются пневмогазовые сушилки, работающие по аналогичной схеме. Более глубокого съема влаги добиваются, направляя на рециркуляцию через сушильную трубу часть просушенного материала.

5.149. Что собой представляют камерные сушилки?

Камерные сушилки малопроизводительны и низкоэффективны, но находят широкое распространение из-за простоты конструкции и эксплуатации и более равномерного распределения влажного воздуха в объеме камеры. Они применяются, например, для сушки чая, кожи, пиломатериалов, строительных материалов.

Высушивание продуктов в таких сушилках осуществляется периодически при атмосферном давлении. Камерные сушилки, как правило, разделены на несколько отсеков, где высушиваемый продукт, расположенный на вагонетках либо полках, сушится в неподвижном виде. Отсеки (камеры) загружают и выгружают через имеющуюся дверь, а вагонетки двигают вручную либо с помощью лебедок (рис. 5.23).

Одним из вариантов камерных сушилок является шкафная воздушно-циркуляционная сушилка, периодически подогреваемая и оснащенная вентиляцией.

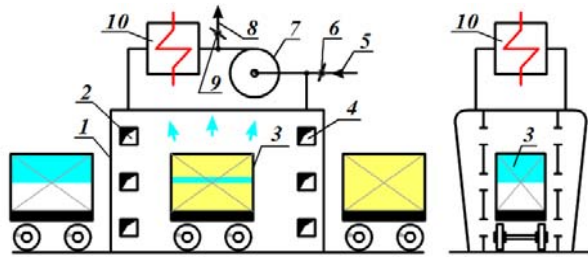


Рис. 5.23. Принципиальная схема камерной сушильной установки:
 1 – ограждение камеры; 2 – воздухораспределительные отверстия; 3 – высушиваемый материал; 4 – всасывающие отверстия; 5 – свежий воздух; 6, 9 – регулирующие клапаны; 7 – нагнетающий вентилятор; 8 – отработавший воздух; 10 – калорифер

К этим сушилкам можно отнести бункеры активного вентилирования типа БВ (например, БВ-25, рис. 5.24), при этом зерно засыпает в пространство между двумя перфорированными цилиндрами.

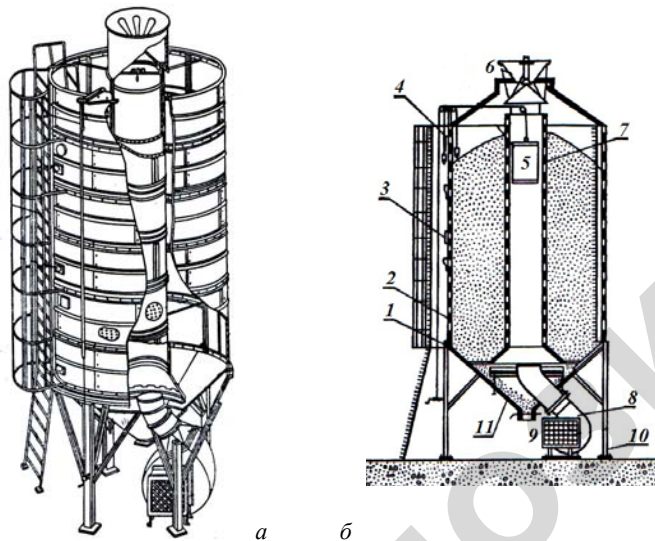


Рис. 5.24. Вентилируемый бункер БВ-25:
 а – общий вид бункера; б – принципиальная схема;
 1 – кольцевая рама; 2 – цилиндр; 3 – регулятор влажности; 4 – измеритель уровня зерна; 5 – клапан; 6 – распределитель зерна; 7 – воздухораспределительная труба; 8 – вентилятор; 9 – электрокалорифер; 10 – стойка; 11 – конусообразное дно

5.150. Что собой представляют аэрофонтанные сушилки?

Аэрофонтанные установки применяются для сушки сыпучих материалов: песка, зерна, целлюлозы и других.

Особенность их работы заключается в том, что восходящая струя воздуха (газа) в центре конуса увлекает частицы материала, которые, достигнув определенной высоты, возвращаются вниз вдоль стенок конусной части, напоминая траекторию полета капли в фонтане (рис. 5.25).

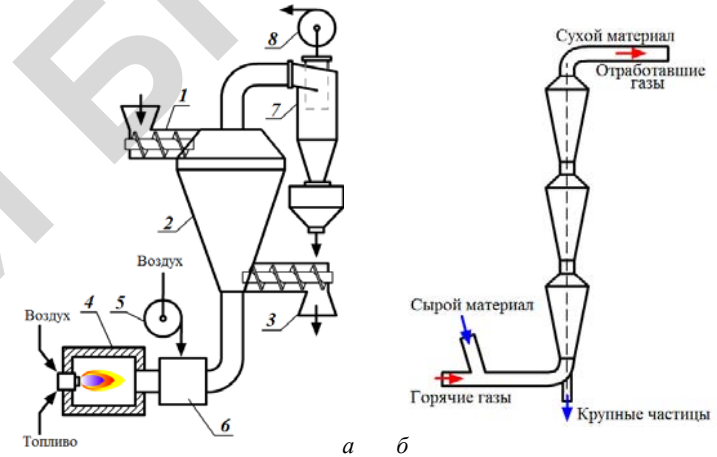


Рис. 5.25. Принципиальные схемы обычной (а) и ступенчатой (б) аэрофонтанных сушильных установок:
 1 – подача влажного материала; 2 – корпус сушилки («рюмка»); 3 – разгрузка сухого материала; 4 – топка; 5 – дутьевой вентилятор; 6 – камера смешения; 7 – циклон; 8 – дымосос

Преимущество таких сушилок по сравнению с пневматическими трубами-сушилками заключается в том, что сушимый материал, многократно циркулируя в установке, может находиться там до тех пор, пока не приобретет необходимую влажность (конечная влажность материала регулируется), после чего питателем сухого материала подается потребителю.

Интерес представляют аэрофонтанные многоконусные сушилки, отличающиеся от одноконусных установок большим временем сушки материала.

Часто аэрофонтанные сушилки комбинируют с другими типами сушилок, например, с сушилками кипящего (виброкипящего) слоя.

5.151. Что собой представляют распылительные сушилки?

Данный вид сушильных установок используется для высушивания жидкостей, например, молока, желатина, альбумина, барды, яиц и проч.

Сушильная камера в распылительной сушильной установке представляет собой большой полый цилиндр. В верхней части сушилки распыляется подаваемый продукт, получившиеся мелкие капли опускаются вниз и сталкиваются с сушильным агентом, который подается в нижнюю или верхнюю часть цилиндра, в зависимости от того, в каком направлении движется высушиваемый продукт и сушильный агент (то есть прямоточное либо противоточное движение). Происходит диспергирование продукта, путем разбрызгивания с применением центробежного распыления. Кроме того, распыление может производиться пневматически с использованием сжатого газа либо через форсунки. Благодаря распылению, площадь высушиваемого продукта увеличивается во много раз, что обеспечивает максимальный контакт с сушильным агентом и ускоряет процесс сушки. Как правило, сушильный агент при распылительной сушке развивает скорость лишь 0,2–0,4 м/с, но, даже при такой скорости, он увлекает мельчайшие элементы продукта. Для этого нагретый воздух пропускается через ряд фильтров и циклонов. В зависимости от типа высушиваемого продукта, сушильные аппараты обладают разными температурными и гидродинамическими свойствами, конструкцией и комплектацией, как самой сушилки, так и дополнительного оборудования.

Чаще всего, распылительные сушильные аппараты используются в тех случаях, когда:

– сушится продукт, который не выдерживает длительного воздействия высокой температуры (сушка осуществляется в течение нескольких секунд, так что термочувствительные продукты не успевают разрушиться в процессе сушки);

– сушится пастообразный, липкий продукт.

Распылительная сушка не допускает налипания продукта на стенки сушилки. Жидкие продукты при помощи центробежного диска превращаются в мелкие капли, которые разбрасываются по стенкам цилиндра. Постепенно, с уменьшением скорости вращения диска, частицы материала перестают налипать на стенки цилиндра, в результате того, что просто не долетают до них либо высыхают по пути.

5.152. Что собой представляют сушилки виброкипящего слоя?

В подобных сушильных аппаратах (рис. 5.26) кипящий слой образуется в результате продувания сквозь опорную решетку теплоносителя либо путем механических вибраций. Виброкипящий слой обладает однородной структурой, при этом отсутствует истирание частиц. Мелкие частицы высушиваемого продукта в виброкипящем слое движутся параллельно друг другу. Также, продольное движение вибрирующего слоя может быть обеспечено принципом полного вытеснения. В условиях крупного производства это позволяет организовать перекрестный ток на более низкой скорости газа. Теплота при этом обеспечивается за счет нагревателей, расположенных в виброкипящем слое.

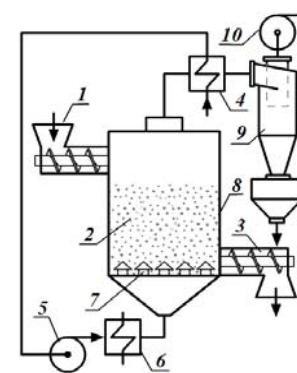


Рис. 5.26. Схема сушильной установки с кипящим слоем:

1 – подача влажного материала; 2 – кипящий слой; 3 – разгрузка сухого материала; 4 – теплоуловитель; 5 – воздуходувка; 6 – калорифер; 7 – воздухораспределительные колпачки; 8 – сушильная камера; 9 – циклон; 10 – дымосос

5.153. Что собой представляют сотовые сушилки?

С 1995 г. освоено производство современного типа зерносушилок – сотовых. Их главное отличие в том, что они как пчелиный улей состояются из сот (рис. 5.27). Каждая сота – это самостоятельная сушильная единица. Соты очень компактны, легко монтируются, крепятся между собой как конструктор, удобно встраиваются в существующий сушильно-очистительный комплекс. Как соты в улье заполняются по одной, так и сотовая зерносушилка может наращиваться до любой производительности.

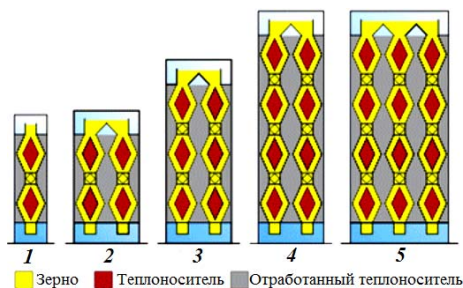


Рис. 5.27. Варианты сборки сушильных сот сотовых сушильных установок семян при валовой (годовой) производительности сельхозпредприятий по зерну: 1 – до 500 т; 2 – до 1500 т; 3 – до 2500 т; 4 – до 3000 т; 5 – до 5000 т

Сотовая конструкция позволяет гибко менять технологический процесс, увеличивать производительность в разы без изменения всей линии и по доступной стоимости. Сокращение затрат обеспечивает и возможность сушить малые партии зерна – от 3-х т в любой сушилке, перекрыв свободные сушильные соты. Кроме того, достигается качественная равномерная сушка зерна (за счет наличия перемешивающих секций между сушильными сотами).

5.154. В чем преимущества мобильных сушилок зерна?

Уникальные преимущества мобильных сушилок заключаются в следующем:

- идеальный результат даже при невысоких температурах сушки благодаря высокой скорости вентиляционной струи;
- тщательная двухпоточная сушка не допускает утечек теплого воздуха благодаря его полному кругообороту;
- можно высушить любой сыпучий продукт в любом состоянии, предварительная чистка не требуется;
- существенная экономия топлива благодаря полному возврату теплоты из охлаждающей секции (перерабатывается весь отработанный воздух из охлаждающейся секции сушилки);
- нет потерь времени между загрузками, т. к. моментальный контроль автоматики позволяет следовать сельскохозяйственным культурам одна за другой, без операций полной выгрузки (загрузки);
- минимальное отрицательное воздействие на окружающую среду – малозвучная, с пылеудалением;
- срок службы более тридцати лет.

5.155. Что собой представляют мобильные сушилки зерна?

Концепция мобильной сушилки (рис. 5.28) дает большую эксплуатационную гибкость, чем любые другие сушилки, особенно потому, что различные варианты или состояния высушиваемого материала могут следовать друг за другом, не смешиваясь и не прерывая технологический процесс.

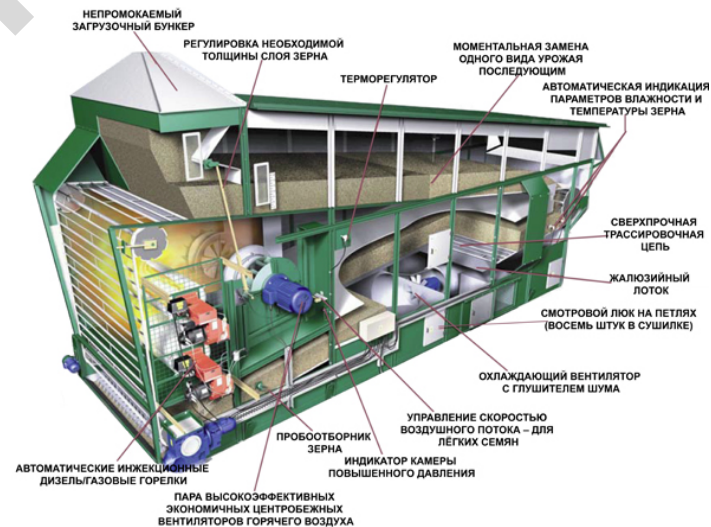


Рис. 5.28. Мобильная зерносушилка производительностью от 12 до 100 т/ч

Уникальным преимуществом является то, что электроника управляет перемещением в сушилке сельскохозяйственных культур. Модели охватывают диапазон от 12 до 100 т/ч (по пшенице сѐм влаги составляет от 19 % до 15 % за один проход при температуре окружающей среды 15 °С, относительной влажности 70 %, объемный вес зерна – 750 кг/м³).

5.156. Преимущество мобильных конвейерных сушилок.

Преимущество конвейерного принципа работы сушилки состоит в том, что можно увеличить или уменьшить глубину высушиваемого слоя в зависимости от влажности зерна, то есть чем больше влажность зерна, тем меньше толщина высушиваемого слоя. Таким образом, зерно не подвергается сжатию и становится особенно плавучим, в отличие от вертикальных сушилок, у которых есть неподвижная глубина. Это приводит к хорошим качественным характеристикам работы сушилки.

Благодаря конвейерному принципу работы, который не позволяет сельскохозяйственным культурам застревать где-нибудь в сушилке, конвейерные сушилки обладают редкой способностью – сушить зерно без предварительной очистки, это значит, что зерно может быть высушено, а затем очищено до более высокой степени (влажное зерно трудно очищается). Эта система не тратит впустую энергию на сушку легких сорных примесей, плавающих на поверхности слоя зерна, и на сушку ненужной высокой температурой.

5.157. Как устроены модульные зерносушилки непрерывного действия?

На протяжении многих лет компания GSCOR поставляет на рынок модульные зерносушилки непрерывного действия, в качестве топлива в которых используется природный газ или жидкий пропан. Все модели зерносушилок имеют оцинкованное покрытие, а для самых больших моделей в качестве панелей верхнего модуля используются алюминиевые, что предотвращает коррозию металла.

Зерносушилки пригодны для работы с мелкими культурами, поскольку могут комплектоваться панелями с перфорацией трех различных диаметров:

- 2,34 мм (стандартная перфорация);
- 1,57 мм (для рапса);
- 1,27 мм (для канолы – генетически модифицированного гибрида рапса масличного).

Зерносушилки (рис. 5.29) имеют систему рекуперации теплоты, которая позволяет экономить до 30 % топлива.

Модульные зерносушилки непрерывного действия работают в режиме сушки и охлаждения (или только сушки). Регулируемая газовая горелка с соплом «Вентури» обеспечивает максимальный КПД

сгорания газа при всех уровнях рабочей температуры. Регулировка температуры нагрева воздуха, подачи топлива и управление работой электрических механизмов сушилки осуществляет компьютер, оснащенный монитором контроля влажности.

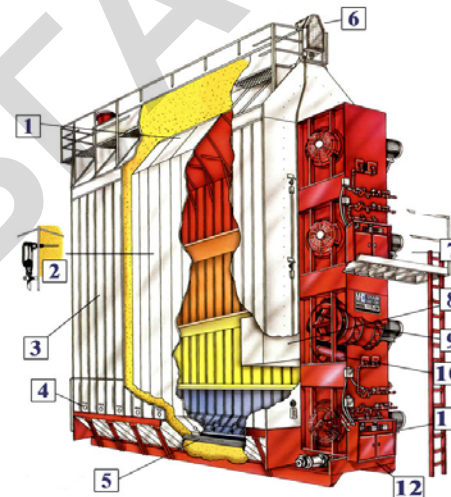


Рис. 5.29. Модульная зерносушилка непрерывного действия фирмы GSCOR:

1 – панели верхней приемной секции; 2 – терморезистор, отслеживающий температуру зерна; 3 – решетка из оцинкованной стали; 4 – аварийный канал для быстрой разгрузки сушилки; 5 – регулирующие валки; 6 – электродвигатель загрузочного шнека; 7 – верхняя обслуживающая площадка; 8 – камера для смешивания горячего и холодного воздуха; 9 – центробежные вентиляторы двухстороннего забора воздуха; 10 – регулируемая горелка с соплом «Вентури»; 11 – панель управления; 12 – сварное основание (рассчитано с учетом дальнейшего наращивания сушилки)

5.158. Что собой представляют порционные сушилки?

Порционные сушилки зерна предназначены для небольших фермерских хозяйств, или для производства семенного материала – когда преобладает качественный показатель над количественным. Данные сушилки монтируются на бетонную основу, к сушилкам подводится транспортное оборудование для загрузки и разгрузки зерна, добавляется внешний вентилятор высокого давления воздуха и теплогенератор (если температура окружающей среды слишком низкая). Сухой воздух проходит через объем зерна и отбирает лишнюю влажность. Этот способ сушки имеет определенное преимущество: не разрушает

семена, при использовании вентилятора определенной мощности. Сушилки имеют оцинкованное покрытие крыши, стен и основного конуса для обеспечения продолжительного срока эксплуатации (рис. 5.30).



Рис. 5.30. Общий вид порционных сушильных установок

5.159. Что собой представляют современные шахтные сушилки?

Современные зерносушилки серии *SAG* – это стационарные сушилки шахтного типа (рис. 5.31). Сушилки этого типа признаны в мире наиболее удачными с точки зрения производительности и удельного энергопотребления. В отличие от других они имеют ряд преимущественных конструктивных особенностей:

- высокий уровень теплоизоляции обеспечивает высокий уровень сохранения теплоты, что в свою очередь позволяет экономить на топливе и увеличивать КПД зерновой сушилки;
- наличие теплообменника в топочном блоке исключает контакт топочных газов с продуктами сушки, таким образом, получается экологически чистое зерно;
- наличие системы аспирации, входящей в базовую комплектацию *SAG*, позволяет отделять сорные частицы от отработанного теплоносителя, что исключает запыленность рабочей зоны;



Рис. 5.31. Стационарная шахтная зерносушилка серии *SAG*

– особая конфигурация подводящих и отводящих коробов – над каждым рядом коробов, подводящих воздух, находится ряд коробов отводящих.

Кроме того, вертикальные перегородки, установленные над коробами, разбивают поступающее зерно на 10 отдельных потоков, что обеспечивает равномерное его распределение. Короба же расположены в шахматном порядке, выполнены шатрообразными и открытыми снизу, благодаря этому толщина просушиваемого слоя составляет всего 140 мм (по сравнению с 300–400 мм у аналогов), кроме того обеспечивается равномерное движение зерна по высоте шахты и полностью исключено образование застойных зон.

Зерновой материал поступает по норрии в надсушильный бункер, затем в шахту сушилки. В шахте через зерновой слой проходят потоки нагретого воздуха, вырабатываемого топочным блоком. Потоки воздуха протягиваются вентилятором через шахту, и благодаря конструкции подводящих и отводящих коробов равномерно распределяются по всей ее площади.

Шахта сушилки поделена (по вертикали) на три зоны, в каждой из которых зерно проходит разные этапы сушки:

1 этап. Поверхностная сушка. Этот процесс проходит при высоких температурах теплоносителя, что позволяет удалить с просушиваемого зерна поверхностную влагу. И подготовить зерно для следующего этапа сушки.

2 этап. Из зернового материала удаляется капиллярная влага, при уже более низкой температуре, которая регулируется открытием заслонок в подводящем канале.

3 этап. Происходит охлаждение зерна атмосферным воздухом. Этап необходим для дальнейшего хранения зерна. Но при необходимости эту зону шахты также можно использовать для сушки (регулируется заслонками), при этом производительность сушиллки возрастает в 1,5 раза.

После прохождения всех этапов зерно выгружается и нориями доставляется к месту хранения (или транспортировки), либо, при необходимости, снова попадает в шахту сушиллки и проходит повторную сушку.

За один проход зерносушилкой SAG можно высушить любое зерно с исходной влажностью до 35 %, при этом увеличивается только время сушки. Нет необходимости в многократном повторении процесса сушки одной партии просушиваемого материала, а значит, многократной перегрузки зерна, что позволяет избежать его травмирования.

Стационарные шахтные зерносушиллки SAG универсальны и подходят для сушки зерна таких культур как пшеница, рожь, гречиха, рис, ячмень, кукуруза и позволяют просушивать от 230 до 690 т/сут.

5.160. В чем преимущества СВЧ сушилок зерна?

СВЧ сушка зерновых основана на том, что диэлектрические свойства воды и сухих веществ пищевых продуктов различаются: влажный материал значительно быстрее нагревается, чем сухой.

Удельный тепловой поток ($Вт/м^3$) можно определить:

$$Q = 0,555 f \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot \varepsilon \cdot E^2,$$

где f – частота электрического поля, Гц;

$\operatorname{tg} \delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь материала;

ε – относительная диэлектрическая проницаемость материала;

E – напряженность электрического поля, В/м.

Чем ниже ε , тем на большую глубину материала проникают электро-магнитные колебания. С увеличением $\operatorname{tg} \delta$ возрастает выделение теплоты при обработке материала.

СВЧ зерносушиллка АСТ-3 (рис. 5.32) предназначена для удаления влаги из сыпучих материалов посредством микроволновой сушки и применяется для получения заданной влажности семян зерновых и масленичных культур, в том числе семенного фонда, а также производит дезинфекцию, обеззараживание продукта сушки от вредных бактерий, грибков, в том числе плесени.



Рис. 5.32. Зерносушиллка АСТ-3

Установка позволяет работать в нескольких режимах сушки, которые могут, как подавлять, так и стимулировать всхожесть семян. При обработке семенного фонда используется специальный щадящий режим обработки, при котором не разрушается живая составляющая семян. Применение данной технологии сушки снижает микротравмированность зерновых культур, что влечет за собой при длительном хранении высокое качество продукта, повышение всхожести и скорости прорастания семян.

Результаты испытаний показали, что после СВЧ сушки происходит замедление эффекта саморазогрева продукта в буртах в 10 раз, а также уменьшается рост кислотности у масленичных культур. Качественные изменения создаваемых СВЧ зерносушилок характеризуются:

- высокой производительностью;
- малыми габаритами и весом;
- экономичностью и отсутствием загрязнения зерна канцерогенными продуктами сгорания топлива;
- осуществлением нагрева внутри зерна;

- отсутствием микротравмирования зерна, неизбежного при традиционных методах сушки;
- возможностью обработки семян с большой влажностью;
- возможностью использования сложных режимов сушки;
- улучшением всхожести семян при обработке семенного фонда;
- низкой стоимостью переработки зерна и затратами на обслуживание;
- пожаробезопасностью.

5.161. Что собой представляют колонковые сушильные установки?

Колонковые ромбовидные сушилки СЗ-6, СЗ-10 и СЗ-16 не требуют капитальных фундаментов и могут устанавливаться на фундаментных блоках, бетонных плитах и полах. Не требуют специальных помещений, нуждаются только в навесе. Встраиваются по различным схемам в существующие зерносушильные комплексы.

Оригинальное, простое, компактное модульное конструктивное исполнение (рис. 5.33) обеспечивает быстрый монтаж, запуск сушилок в любое время года, в том числе в зимний период.

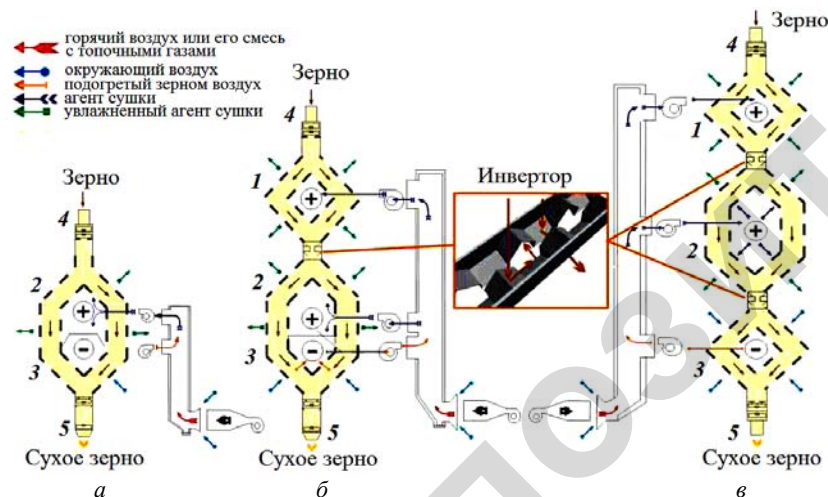


Рис. 5.33. Схема работы колонковых сушилок зерна серии СЗ:

а – СЗ-6; б – СЗ-10; в – СЗ-16; 1 – камера нагрева;

2 – камера сушки; 3 – камера охлаждения; 4 – транспортер загрузочно-распределительный; 5 – транспортер выпускной

365

Основные преимущества:

- возможность проводить монтажно-сборочные работы и запуск в течение зимнего периода позволяет просушить и сохранить зерно повышенной влажности, находящееся на хранении, провести прогрев семян перед посевом, что увеличивает энергию прорастания на 4–22 %, повышает всхожесть семян на 3–11 % и урожайность на 1,5–3 ц/га;
- колонковые сушилки зерна экономичнее на 25–40 % по расходу топлива и электроэнергии по сравнению с аналогичными современными сушилками (экономия происходит за счет использования тепла, полученного при охлаждении высушенного зерна во встроенных в сушилку камерах охлаждения);
- отличаются высокой надежностью в работе и простотой в обслуживании, в отличие от карусельных сушилок, имеющих множество вращающихся элементов и забивающееся сетчатое дно;
- колонковые ромбовидные сушилки СЗ-6, СЗ-10 и СЗ-16, в отличие от шахтных сушилок, не имеют внутренних перегородок, мешающих продвижению зерна, что исключает образование застойных зон, в которых происходит возгорание зерна;
- колонковые сушилки СЗК-30, СЗК-40, СЗК-50 соединили в себе преимущества шахтной и колонковой конструкции (зерно движется вниз по колонкам с реверсивной подачей агента сушки, что позволило значительно снизить габариты и металлоемкость по сравнению с шахтными сушилками; выполнение отдельными элементами камер нагрева, сушки и охлаждения, а также наличие между ними инверторов, перемешивающих зерно слоями, обеспечивают более высокую равномерность сушки зерна по сравнению с другими типами сушилок).

Модульное исполнение сушилок позволяет транспортировать их автомобилями типа «КАМАЗ».

Основные технические характеристики колонковых сушилок приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.2

Основные характеристики сушилок

Характеристики	Индекс сушильных установок серии СЗ					
	СЗ-6	СЗ-10	СЗ-16	СЗ-30	СЗ-40	СЗ-50
Производительность, * т/ч	6	10	16	30	40	50
Пределы регулирования производительности, т/ч	2–12	5–18	5–26	10–40	10–65	10–75

366

Окончание табл. 5.2

Характеристики	Индекс сушильных установок серии СЗ					
	СЗ-6	СЗ-10	СЗ-16	СЗ-30	СЗ-40	СЗ-50
Вместимость сушильной камеры, м ³	9	14	18	40	68	80
Установленная мощность (без теплогенератора), кВт	37,7	58,0	77,5	92,0	115,0	160,0

Примечание. *При снижении влажности материала с 20 до 14 %.

Сушка зерна в колонковых сушильных установках позволяет повысить его качество, в т. ч. поднять содержание клейковины на 3–4 %, получить качественное продовольственное и фуражное зерно и высококачественные семена. Затраты на сушку и хранение зерна непосредственно в хозяйствах снижаются до 30 % по сравнению с сушкой и хранением зерна на КХП и элеваторах.

5.162. Что собой представляют современные хранилища зерна?

Современные хранилища зерна разделяются:

- на зернохранилища фермерского типа с плоским дном (рис. 5.34);
- зернохранилища тяжелого коммерческого типа с конусным дном;
- зернохранилища супертяжелого коммерческого типа (рис. 5.35);
- временные зернохранилища (рис. 5.36).



Рис. 5.34. Зернохранилище фермерского типа

367



Рис. 5.35. Зернохранилища тяжелого и супертяжелого коммерческого типа



1



2

Рис. 5.36. Временное хранилище зерна:
1 – общий вид; 2 – схема

Вместимость фермерских зернохранилищ от 530 до 1770 т при диаметрах от 4,7 до 15,1 м и высоте боковых стен до 11 м.

Зернохранилища коммерческого режима – основа любого современного элеватора. В данных емкостях учтены все особенности ветровых и снеговых нагрузок. Вместимость зернохранилищ 2,5–15 тыс. т.

368

Зернохранилища супертяжелого коммерческого режима целесообразно применять, когда необходимо хранить одну зерновую культуру в больших объемах (до 30 тыс. т).

Компания *GSCOR* предлагает широкий выбор емкостей тяжелого коммерческого режима диаметром от 13,2 до 32,1 м, высота боковых стен – до 31,3 м. Емкости зернохранилищ супертяжелого типа имеют диаметр 47,1 м при полной высоте до 28,9 м.

Чтобы хранить зерно в безопасности и сухости в течение длительного периода времени, емкости оборудованы двойным зачистным напольным шнеком и системой мониторинга температуры зерна.

Временное зернохранилище для зерна, включая базовую конструкцию, предназначено для того, чтобы складское хранение имело быструю окупаемость. Аэрационная башня, конвейер с галереей и дистрибьютор разработаны и предварительно сварены на заводе (в конструкции минимум сварки), на месте нужно только стянуть болтами части.

Стена произведена полностью из стали с наклоном в 30°, чтобы предотвратить проникновение дождя, снега или льда, которые могут заблокировать поступление воздуха. Высота стены от 1,2 до 3,0 м обеспечивает максимум аэрационной поверхности для сбалансированного потока воздуха, достаточного для того, чтобы удержать тент на насыпи.

В настоящее время используются хранилища емкостью от 8810 до 70 480 м³.

6. ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ОБОГРЕВАЕМЫХ ПОЛОВ И ПОЧВЫ

6.1. Что относится к средствам местного обогрева молодняка животных и птицы?

В качестве средств местного обогрева молодняка животных, как правило, используют электрическую энергию, которая преобразуется в тепловую энергию непосредственно в электрических приборах. К средствам местного обогрева относятся:

– электрообогреваемые полы (рис. 6.1, 6.2);

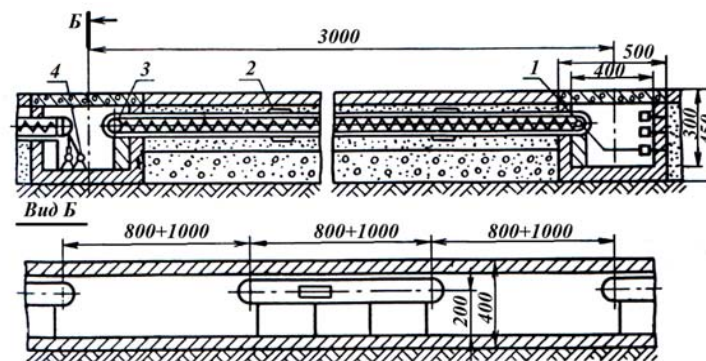


Рис. 6.1. Устройство электрообогреваемого пола с нагревательными элементами в изолированных трубах: 1 – нагревательная спираль из оцинкованной проволоки; 2 – бетон; 3 – изоляционная труба; 4 – шинный канал

– электропанели (рис. 6.3);
– электроковрики (рис. 6.4);
– инфракрасные (ИК) облучатели (рис. 6.5, табл. 6.1);
– электробрудеры (рис. 6.6);
– установки комбинированного обогрева и облучения (ИКУФ, ИКУФ-1М).

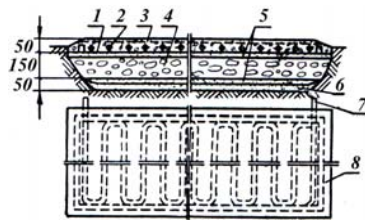


Рис. 6.2. Устройство электрообогреваемого пола с нагревательным проводом:
1 – бетон; 2 – нагревательный провод; 3 – экранная металлическая сетка;
4 – теплоизоляция; 5 – песок; 6 – гидроизоляция; 7 – выводы провода;
8 – деревянная рама

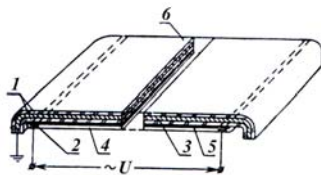


Рис. 6.3. Электропанель:
1 – стеклоэмалиевая изоляция; 2 – контактный электрод; 3 – стальной корпус;
4 – теплостойкое покрытие; 5 – пленочный нагревательный элемент;
6 – рабочая поверхность панели

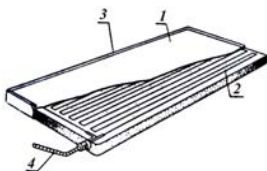


Рис. 6.4. Электроковрик для поросят:
1 – резина; 2 – нагревательный провод; 3 – стальной корпус;
4 – выводы в металлорукаве



Рис. 6.5. Инфракрасные облучатели
371

Таблица 6.1
Технические характеристики ИК-облучателей (U~220 В)

Оборудование	Мощность, Вт	Диаметр, мм	Длина, мм	Срок службы, ч
ИКЗ 220-500	500	180	267	6000
ИКЗК 220-250	250	130	185	6000
ИКЗК 220-500-1	500	130	195	4000



Рис. 6.6. Электробрудер

6.2. Что такое обогреваемый пол?

Обогреваемый пол – система, преобразующая электроэнергию в теплоту за счет теплового действия тока в нагревательных элементах, выполненных в виде специальных кабелей или система, использующая теплоту теплоносителя (горячая вода, пар, теплый воздух) для нагрева массива пола (рис. 6.7).



Рис. 6.7. Общий вид обогреваемого пола

6.3. Для чего необходим обогрев полов в производственных помещениях для содержания животных?

Обогрев полов в животноводстве обеспечивает ряд преимуществ способствующих созданию оптимальных температурных режимов в зоне пребывания животных и их защиты от неблагоприятных

воздействий окружающей среды в холодный период времени года, продуктивному росту животных и уменьшению риска их заболеваний.

Для роста животных на начальном этапе важно чтобы температура их тел не снижалась из-за недостаточной температуры пола. Например, для роста поросят в первые 2–3 дня после рождения необходимо поддерживать температуру пола на уровне 30 °С. Затем, в течение месяца температура пола должна понижаться на 3–4 °С в неделю, до 17–18 °С.

6.4. Для чего нужна защита грунта под холодильными установками?

Защита грунта под холодильными установками осуществляется для устранения его промерзания. В холодильных установках, при постоянной минусовой температуре, холод будет распространяться на фундамент и грунт через ограждающие конструкции и опорные элементы даже при хорошей термоизоляции. Образующийся пар и вода в грунте замерзают. Из-за ледяной эрозии конструкции разрушаются, поэтому устройство полов под холодильными установками требует дополнительного подогрева.

6.5. Для чего необходим обогрев почвы в сооружениях защищенного грунта?

Обогрев почвы в сооружениях защищенного грунта позволяет получать хороший урожай круглый год. Обогрев почвы применяется также в теплицах, оранжереях, на рассадочных грядках парников для ускорения роста растений.

Использование систем для обогрева почвы в теплицах, парниках, зимних садах, оранжереях, на клумбах, грядках с рассадой позволяет получить прекрасные результаты:

- ускорение роста и репродукции растений в оранжереях и теплицах;
- продление сезона сбора урожая;
- выращивание теплолюбивых растений, которые обычно растут только в субтропических (тропических) широтах и проращивание семян.

Именно применение теплиц дает возможность сберечь первые робкие ростки от заморозков и обильных весенних дождей. Кроме того, благодаря теплицам можно качественно подготовить ранние овощи и рассаду к высадке в открытый грунт.

Теплицы и оранжереи, оснащенные системами подогрева, широко используются в период с ранней весны до поздней осени. За счет такого увеличения сезона сбора урожая сельскохозяйственная продукция может выращиваться в больших объемах, что благоприятно сказывается на общем состоянии экономики.

6.6. Как устроен обогреваемый пол, использующий электронагревательные элементы?

На выделенных участках пола, где требуется проведение монтажа электрообогреваемого пола, выкапывают углубление (0,3–0,6 м), дно которого тщательно уплотняют. Затем укладывают поочередно материалы, как показано на рис. 6.8.

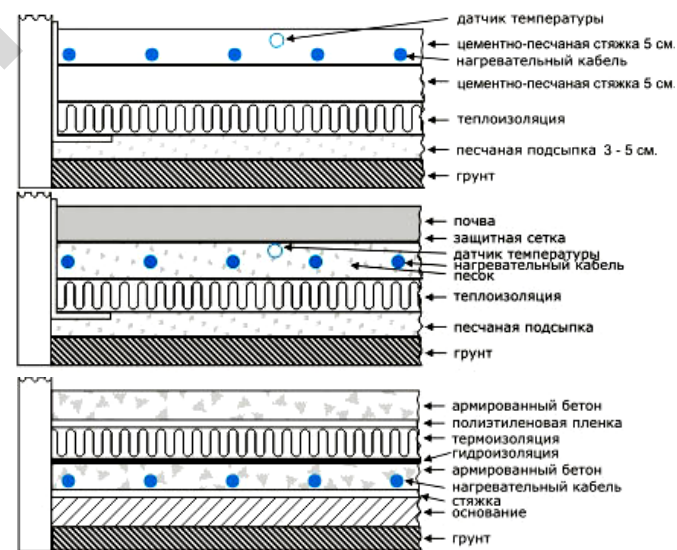


Рис. 6.8. Поперечный разрез электрообогреваемого пола (три разновидности)

В качестве теплоизоляции, кроме котельного шлака, можно использовать керамзит и аналогичные утеплители. Защитная сетка выполняется из стальной проволоки диаметром 3–4 мм с ячейками размером 250×150 мм, которая надежно соединяется с нулевым проводом сети. Ширина обогреваемой полосы зависит от вида животных.

В коровнике обогревают полосу шириной 0,5–0,6 м; в свиарнике-маточнике – 1,3 м; в птичнике с напольным содержанием – 0,2–0,3 м от ширины помещения.

6.7. Что используется в качестве нагревательных элементов при устройстве обогреваемого пола?

В качестве нагревательных элементов используют голые стальные провода (при питании на пониженном напряжении 30–60 В) и специальные одножильные провода марок ПОСХП, ПОСХВ, ПОСХВТ (допускают подключение на фазное напряжение до 220 В) и нагревательные кабели.

Длина и площадь сечения нагревательного элемента обуславливаются, с одной стороны, допустимыми температурами провода и поверхности пола, а с другой – его электрическими свойствами.

Необходимо учитывать, что выпускаемые промышленностью стальные провода имеют диаметр 1,8–5 мм, а ПОСХП и ПОСХВ – 1,1–3 мм (монолитная жила) и сечение 0,75–6 мм² (многопроволочная жила). Технические характеристики проводов приведены в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Основные технические данные нагревательных проводов

Провод	Изоляция	Допустимая температура жилы, °С	Погонное сопротивление при $t_{\text{раб}}$, Ом/м	Максимальная удельная мощность, Вт/м
ПОСХП	Полиэтиленовая	95	0,194	12–13
ПОСХВ	Поливинилхлоридная	70	0,174	9–110
ПОСХВТ	Полиэтиленовая с поливинилхлоридной оболочкой	95	0,174	10–112
Стальной	Нет	300	0,15–0,02	20–130

Примечание. Для проводов ПОСХП, ПОСХВ, ПОСХВТ:

– жила монолитная имеет диаметр = 1,1; 1,2; 1,4; 1,8; 2,0; 3,0 мм;

– жила многопроволочная имеет сечение = 0,75; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0; 6,0 мм².

6.8. Что такое нагревательный кабель?

Различают резистивные и саморегулируемые кабели. Резистивный кабель представляет собой один или два тонких металлических спиралевидных проводника, заключенных в изоляцию. Однопроводный

кабель подключается двумя концами. Для двухпроводных кабелей возможно подключение с одного конца, при этом на втором конце проводники соединяются накоротко и изолируются. Во многих случаях возможность подключения с одного конца обеспечивает преимущество, поскольку при этом требуется меньшая длина подводящих кабелей.

Плюсом является низкая стоимость, отсутствие пусковых токов, постоянство мощности по времени.

6.9. Что такое зональный нагревательный кабель?

Развитием идеи постоянства мощности кабелей является секционный (зональный) нагревательный кабель. Вдоль такого кабеля идут два проводника низкого сопротивления, а между ними с определенным шагом подключаются короткие отрезки спиралевидных нагревательных проводников. Такой кабель дороже и толще обычного двухпроводного, его можно свободно резать с определенным шагом, он подключается с одного конца.

Недостатком является возможность локального перегрева кабеля и появление при монтаже холодных зон в начале и конце контура.

Преимуществами являются невысокая стоимость, отсутствие пусковых токов, постоянство мощности по времени, более технологичный монтаж по сравнению с резистивным кабелем, высокая надежность нагревательного контура, так как при повреждении или локальном перегреве и выхода одной или нескольких греющих зон из строя у кабеля не работает только поврежденная зона.

6.10. Что такое саморегулируемый нагревательный кабель?

Саморегулирующийся кабель содержит два неизолированных проводника, заключенных в специальную пластмассу. В зависимости от температуры сопротивление пластмассы изменяется, что позволяет кабелю регулировать выдачу тепла в каждой точке длины самостоятельно. Такие кабели выпускают «настроенными» на определенную температуру, например, температуру таяния льда.

Саморегулирующийся нагревательный кабель представляет собой полупроводниковую матрицу, состоящую из множества независимых друг от друга элементов, на рис. 6.9 показано его схематичное устройство: между двумя проводящими медными жилами включены параллельно полупроводниковые структуры, условно показанные как переменные резисторы.

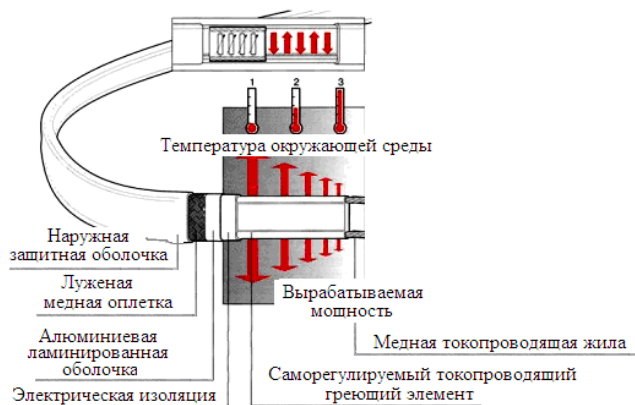


Рис. 6.9. Конструкция саморегулирующегося нагревательного кабеля

Основным свойством этих «переменных резисторов» является то, что они изменяют свое сопротивление под воздействием температуры окружающей среды. Такое уникальное свойство элементов нагревающего кабеля обусловлено тем, что их ТКС (температурный коэффициент сопротивления) на порядок выше, нежели у других типов полупроводников, а тем более проводников. Чем ниже температура, тем меньше сопротивление такого «участка – резистора», а следовательно, больше ток и мощность нагрева. С повышением температуры сопротивление участка повышается, а мощность нагрева падает, как показано на рисунке. При этом взаимное влияние соседних участков минимально, а удаленные элементы работают практически независимо от своих собратьев. Таким образом, получается, что каждый элемент саморегулирующегося нагревательного кабеля является терморегулятором и датчиком температуры одновременно.

Для классификации таких кабелей применяют два показателя: первый показатель – мощность погонного метра кабеля при 10 °С, второй показатель – мощность кабеля во льду или в воде. Саморегулирующиеся кабели очень надежны, экономичны, при монтаже их можно нарезать на необходимые длины, при некачественном монтаже переходных и концевых муфт и попадании влаги на тепловыделяющую матрицу возможен выход кабеля из строя.

К достоинствам систем на основе саморегулирующегося нагревательного кабеля следует отнести их повышенную безопасность, долговечность, простоту монтажа и эксплуатации, полную автоматизацию управления без дополнительного оборудования.

6.11. Требования к нагревательным кабелям.

К кабелям для систем обогрева в большинстве случаев предъявляются повышенные требования. При использовании для систем обогрева необходимо обеспечить высочайший уровень электробезопасности, поэтому кабели для таких применений имеют экран из металлической или медной сетки между внешней изоляцией и изоляцией жил, этот экран следует заземлять. Для использования на открытом воздухе изоляция кабеля должна быть устойчива к действию ультрафиолетового излучения Солнца.

6.12. Где находят применение системы с нагревательным кабелем?

Кабельные системы обогрева находят широчайшее применение. Их преимуществами являются малые размеры кабеля и широкие возможности по передаче электроэнергии. Примерами применений являются:

1. *Теплый пол.* Кабель устанавливается под покрытием пола либо в нижележащий слой бетона, либо в специальную металлическую сборку. Такая система повышает комфортность помещения и может использоваться как самостоятельная система отопления.

2. *Подогрев твердеющего бетона.* Твердение бетонной массы требует поддержания определенных температур, что может быть затруднительно в холодное время года. Возможно крепление нагревательного кабеля к арматуре будущего железобетонного изделия. В таком случае используется относительно дешевый кабель с минимальной изоляцией, который затем так и остается в изделии.

3. *Обогрев зеркал.* В помещениях с повышенной влажностью на более холодную поверхность зеркал выпадает конденсат, что затрудняет пользование зеркалами. Размещение кабельной системы обогрева за стеклом зеркала позволяет решить эту проблему.

4. *Защита труб от промерзания.* Трубы, которым угрожает промерзание, предпочтительно заключать в теплоизоляцию, которая замедляет охлаждение трубы. В ряде случаев потери тепла столь сильны, что эффективнее не усиливать теплоизоляцию, а компенсировать потери подогревом. В таком случае нагревательный кабель укладывается вдоль трубы (возможно, навивается на нее), а затем они вместе с трубой заключаются в теплоизоляцию.

5. *Поддержание постоянной температуры* технологических жидкостей и воды в пищевой, химической, нефтяной промышленности.

6. *Растапливание снега и льда.* Обледенение лестниц, пандусов, кровель и водосточных труб можно устранить путем растапливания снега и льда и увода талой воды с обогреваемой поверхности. Для лестниц и пандусов кабель монтируется под их покрытие, для кровель – от свеса крыши до снегозадержания, внутри водосточных желобов, для водосточных труб – внутри труб по всей их длине и вплоть до ливневой канализации (если есть). Также обогреваются места примыкания к «теплым» стенам. Такая система используется в автоматическом режиме с применением метеостанции или термостата с датчиками температуры, она настраивается на обогрев в условиях, когда есть риск обледенения (температуры вблизи нуля – от минус 12 до плюс 3 °С).

6.13. Как устроен обогреваемый пол, использующий электронагревательный кабель?

Устройство обогреваемого пола, использующего в качестве нагревательного элемента электронагревательный кабель, приведено на рис. 6.10.

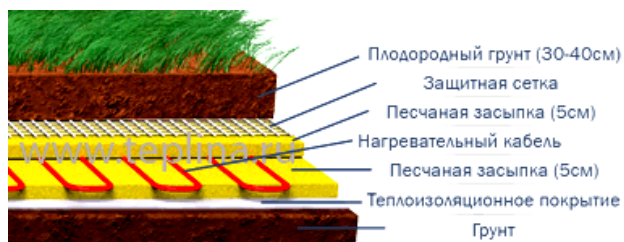


Рис. 6.10. Устройство обогреваемого пола

6.14. Основные преимущества систем с нагревательным кабелем.

Главным преимуществом кабельных систем является относительно малое сечение кабелей, благодаря чему добавление таких систем мало увеличивает габариты конструкций, в которые они устанавливаются. Потери энергии в таких системах значительно меньше, чем в системах с горячей водой, поскольку подводящие кабели выполняются с низким сопротивлением и потери на нагрев в них ничтожны, в то время как горячая вода более заметно охлаждается при передаче.

6.15. Основные недостатки систем с нагревательным кабелем.

Слабым местом кабельных систем является электробезопасность. При их монтаже необходимо соблюдать серьезные меры предосторожности и обеспечивать правильное подключение всех компонентов (включая заземление), правильную укладку и защиту кабелей от механических повреждений. Также нагревательные кабели в ряде случаев могут перегреваться и выходить из строя или провоцировать пожар. Особенно этот недостаток присущ резистивным кабелям. Поэтому укладка кабеля должна обеспечивать ему достаточное охлаждение, предотвращать перехлест отрезков кабеля, чтобы даже в крайних случаях перегрев был невозможен. Для сравнения, системы на основе горячей воды лишены такого недостатка, поскольку их трубопроводы не могут нагреваться выше температуры сетевой воды.

6.16. Рекомендуемые параметры для расчета электрообогреваемых полов.

Правильный выбор длины и сечения нагревательного элемента возможен только при совместном решении электротехнической и теплотехнической задач с учетом работоспособности при температуре, обусловленной технологией (табл. 6.3).

Таблица 6.3

Рекомендуемые параметры для расчета электрообогреваемых полов и панелей

Животные	Рекомендуемая температура пола, °С	Поверхностная мощность пола Вт/м ²	Линейная мощность нагревателей, Вт/м	Рекомендуемый шаг укладки, м
Цыплята	35–40	150–300	7,5–30	0,05–0,1
Поросята	25–30	100–200	7–20	0,1–0,15
Свиньи на откорме	18–20	80–150	12–30	0,15–0,2
Больные коровы	26–29	150–190	22–40	0,15–0,2
Телята	20–24	100–150	10–22	0,1–0,15

6.17. Основные способы электрического обогрева почвы сооружений защищенного грунта.

Существует два способа электрического обогрева почвы сооружений защищенного грунта, к которым относятся: элементный и электродный электрообогрев.

Элементный электрообогрев осуществляется: нагревательным изолированным проводом ПОСХП и ПОСХВТ; стальным проводом без изоляции (диаметр 2,5–4 мм) с экраном-сеткой в асфальтобетонных или асбоцементных плитах, керамических трубах (диаметром 50–150 мм); стальным неизолированным проводом (диаметр 4–8 мм, покрыт термостойким лаком) на пониженном напряжении (12–42 В).

Электронагревательные провода находятся на глубине 150–200 мм от сетки-экрана, которая тщательно соединяется с нулевым проводом. При данном способе обогрева теплота выделяется как в самом нагревателе, так и в почве за счет тока, протекающего между проводом и сеткой-экраном. Недостаток этого способа – большая металлоемкость.

Электродный электрообогрев выполняется: электродами, погруженными в почву; электродами в полиэтиленовой трубе.

6.18. Что относится к способам технического обогрева сооружений защищенного грунта?

Способы технического обогрева в зависимости от размещения источников системы теплоснабжения разделяются на три группы:

- централизованный технический обогрев (используются районные котельные, ТЭЦ, АТЭЦ и др.);
- местный технический обогрев (задействованы специально построенные котельные для сооружений защищенного грунта);
- индивидуальный технический обогрев (с использованием теплогенераторов, тепловых установок, калориферов и т. п.).

6.19. Какие существуют виды технического обогрева сооружений защищенного грунта?

В сооружениях защищенного грунта используют следующие виды технического обогрева:

- водяной (наиболее распространен);
- паровой;
- воздушный;
- комбинированный.

Для обогрева почвы в этом случае используют в основном надпочвенный, подлотковый, подстеллажный (в стеллажных теплицах) и подпочвенный обогрев.

6.20. Как осуществляется водяной обогрев сооружений защищенного грунта?

Наиболее удобным способом обогрева является водяной обогрев. Применение его позволяет создать равномерный тепловой режим по всему сооружению.

Для центрального обогрева используют гладкие металлические трубы диаметром 5 см и радиаторы. В зимних теплицах применяют подпочвенный и воздушный обогрев. В почве размещают гладкие металлические, керамические или полиэтиленовые трубы на глубине 45–50 см с расстоянием между ними 80–100 см. Изоляционный слой для размещения подпочвенного обогрева готовят как и для электрообогрева. Вдоль стен трубы размещают в 2–3 ряда на высоте 30–80 см или ставят батареи.

По 1–2 трубы размещают под крышей (на расстоянии 25–30 см). Если не обогревать крышу, под тяжестью снега теплица зимой может рухнуть.

Надпочвенная система водяного обогрева предназначена для создания равномерного поля температур по площади теплицы в зоне растений (на поверхности почвы). Регистры надпочвенного обогрева присоединяют к системе отопления при помощи гибких шлангов из термостойкой резины. Мощность этой системы составляет 15–25 % от общего расхода теплоты на обогрев сооружения.

В стеллажных теплицах отопительные трубы размещают, как в подлотковых, под стеллажами с растениями.

В системе подпочвенного обогрева применяют гладкие пластмассовые или асбоцементные трубы (рис. 6.11).

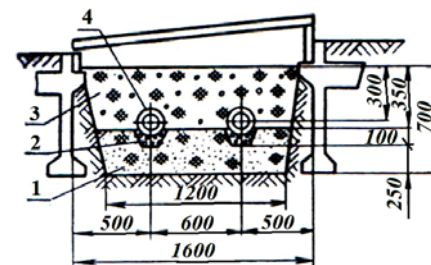


Рис. 6.11. Подпочвенный обогрев в парнике:

- 1 – грунт утрамбованный;
- 2 – щебень; 3 – питательный слой; 4 – греющие трубы

В зависимости от вида растений и периода их вегетации температура в корнеобитаемом слое должна составлять 18–25 °С. Это в основном обеспечивается системой подпочвенного обогрева. Трубы для обогрева почвы должны располагаться равномерно по площади теплицы. Их количество определяется для каждого конкретного случая теплотехническим расчетом. Глубину заложения труб следует принимать не менее 0,4 м от проектной поверхности почвы до верха трубы. В противном случае трудно производить механизированную обработку почвы. Температура теплоносителя в подающем теплопроводе равна 40–45 °С, в обратном – 30 °С.

6.21. Как осуществляется паровой обогрев сооружений защищенного грунта?

Паровой обогрев из-за ряда недостатков (большие теплопотери, конденсат греющего пара не возвращается в котельную и др.) применяют только в парниках. Давление пара составляет 0,11–0,48 МПа.

В нижней части труб в один ряд делают отверстия диаметром 3–5 мм, предназначенные для выхода конденсата, увлажняющего почву. Для равномерного обогрева и увлажнения почвы расстояние между отверстиями уменьшается с 500 до 300 мм по мере их удаления от места поступления пара. В зимнее время пар подают в парник в общей сложности в течение 5–6 ч в сутки, а в весенние дни – 5–6 ч за 2–3 суток.

Чаще все пар используют для обеззараживания грунтов (пропаривание разрыхленного грунта). Пар подают под полиэтиленовой пленкой, которой укрывают весь грунт. Процесс завершают, когда температура почвы достигнет 70 °С (примерно через 10 ч).

6.22. Как осуществляется воздушный обогрев сооружений защищенного грунта?

Для создания равномерной температуры по всей теплице воздух от источника энергии (электрокалориферов, теплогенераторов) распределяют с помощью полиэтиленовых или жестяных рукавов с отверстиями (воздуховодов), которые размещают вдоль стен теплицы. Теплым воздухом можно обогревать и почву. Для этого асбестоцементные трубы (диаметром 100–150 мм), лотки укладывают в дренажный слой на глубину 35–40 см с расстоянием 60–100 см между ними.

Нагретый воздух подается в трубы или лотки, нагревает почву и через противоположный конец выходит в теплицу. Обогрев воздуха и почвы позволяет начинать эксплуатацию теплиц в начале февраля.

6.23. Как осуществляется солнечный обогрев сооружений защищенного грунта?

Сущность солнечного обогрева состоит в том, что прямая и рассеянная солнечная радиация попадает в сооружения через светопрозрачную кровлю и там превращается в тепловую энергию. Поскольку стекло практически не пропускает инфракрасные лучи, то в сооружении создается тепловой эффект. Полиэтиленовая пленка для инфракрасных лучей хорошо проницаемая, поэтому парники и теплицы под ней ночью быстро охлаждаются.

В сооружениях защищенного грунта наиболее интенсивно накапливается теплота в солнечные дни (температура внутри их может превышать внешнюю на 15–20 °С). Парники и теплицы на солнечном обогреве начинают эксплуатировать на юге Беларуси с конца марта, а в средней полосе и на западе – со второй половины апреля. При оснащении таких теплиц аварийным обогревом (воздушным) эксплуатацию их можно начинать на две недели раньше.

6.24. Как и где осуществляется печной обогрев сооружений защищенного грунта?

Этот вид обогрева применяют в теплицах на приусадебных участках. Чтобы отопительная система хорошо работала, нужно правильно сложить печь и нагревательный трубопровод. Стены печи делают из кирпича толщиной 18–20 см. Нагревательный трубопровод размещают посередине или по краям теплицы. Его делают из кирпича или жести. Для создания хорошей тяги нагревательный трубопровод устраивают под углом (превышение на 1 м 1 см) в сторону дымохода. Возле дымохода он должен быть в 1,5 раза тоньше, чем около топки.

6.25. За счет чего осуществляется биологический обогрев сооружений защищенного грунта?

Биологический обогрев (использование биотоплива) обеспечивается за счет жизнедеятельности теплолюбивых бактерий, находящихся в навозе, отходах промышленности, содержащих органические

вещества, и др. Этот способ чаще всего используют в парниках в качестве дополнительного источника теплоты при наличии других средств обогрева.

Для биологического обогрева используют навоз, городской мусор, влажную и загнившую солому, листья деревьев, сфагновый торф, кору, опилки и другие материалы. Наиболее ценным видом биотоплива являются конский, овечий, козий и кроличий навоз. Температура его на 7–8-й день после закладки в парники достигает 60–75 °С, а через 45–50 дней снижается до 30 °С. Навоз крупного рогатого скота и свиней разогревается до температуры 53 °С, через 7–15 дней температура снижается до 30 °С. Поэтому такой навоз в первую очередь необходимо использовать для закладки ранних парников.

Городской мусор по выделению тепловой энергии лучше, чем навоз крупного рогатого скота. Температура его горения достигает 60–65 °С. При использовании городского мусора необходимо удалять из него все неорганические вещества (камни, железо, стекло) и придерживаться правил техники безопасности и гигиены труда.

Для биологического обогрева теплиц можно использовать солому и свежескошенные листья деревьев. При перепревании последние становятся непригодными как биотопливо. Листья, кору, опилки, торф, кострицу льна, лузгу подсолнечника – все это целесообразно использовать для парников в смеси с соломистым навозом. От этого повышается температура и увеличивается период горения.

6.26. Как охарактеризовать теплообмен в массивах полов и почвы с линейными источниками теплоты?

Рассмотрим теплообмен в почве при существующей системе подпочвенного обогрева (при стандартной схеме размещения линейных источников теплоты, рис. 6.12).

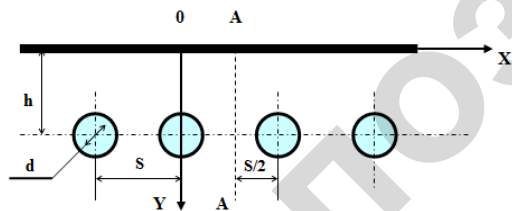


Рис. 6.12. Поперечный разрез системы подпочвенного обогрева:
 d – диаметр труб водяного обогрева; h – глубина закладки;
 S – постоянный шаг укладки труб

Примем следующие допущения:

- 1) оси труб водяного подпочвенного обогрева параллельны друг другу;
- 2) температура наружной поверхности труб (t_T) равна температуре теплоносителя;
- 3) почва представляет собой однородное полуограниченное тело с постоянными термическими характеристиками, не зависящими от координат и времени;
- 4) поскольку градиент температур вдоль осей труб значительно меньше, чем в плоскостях, им перпендикулярным, пренебрегаем потоком теплоты вдоль оси труб.

Рассмотрим методику расчета температурного поля грунта сооружений защищенного грунта, предложенную И. А. Иоффе (Агрофизический институт ВАСХНИЛ).

При этих допущениях стационарное температурное поле в почве, создаваемое системой обогрева, принимается двухмерным и описывается уравнением:

$$t(x, y) = t_B + \frac{\varphi_l}{2\pi\lambda} \ln \left\{ \frac{ch \left[\frac{2\pi}{S} \left(h + y + \frac{2\lambda}{\alpha_0} \right) \right] - \cos \frac{2\pi x}{S}}{ch \left[\frac{2\pi}{S} (h - y) \right] - \cos \frac{2\pi x}{S}} \right\},$$

где t_B – температура воздуха над поверхностью почвы, °С;

λ – коэффициент теплопроводности почвы, Вт/(м·К);

α_0 – общий коэффициент теплоотдачи от почвы к воздуху, Вт/м² К;

φ_l – линейная плотность теплового потока (Вт/м), определяемая по формуле:

$$\varphi_l = \frac{2\pi\lambda(t_T - t_B)}{\ln \left[\frac{2S}{\pi d} sh \frac{2\pi \left(h + \frac{\lambda}{\alpha_0} \right)}{S} \right]}.$$

Значения конструктивных параметров h , d , S выбирают таким образом, чтобы обеспечить оптимальное соотношение между теплотехническими, гидравлическими и экономическими показателями системы обогрева и требованиями к теплоте корневой системы растений.

Для выполнения этой задачи необходимо знать характер температурного поля грунта. Уравнение изотермы поля:

$$x = \frac{S}{2\pi(A-1)} \arccos \left\{ Ach \frac{2\pi}{S(h-y)} - ch \left[\frac{2\pi}{S \left(h+y + \frac{2\lambda}{\alpha_0} \right)} \right] \right\};$$

$$A = \exp \left\{ \left[2 \ln \frac{2S}{\pi d} sh \frac{2\pi \left(h + \frac{\lambda}{\alpha_0} \right)}{S} \right] \left[\frac{t(x,y) - t_B}{t_{\Gamma} - t_B} \right] \right\}.$$

Используя приведенные уравнения, можно построить сетку изотерм в поперечном разрезе обогреваемого грунта (рис. 6.13).

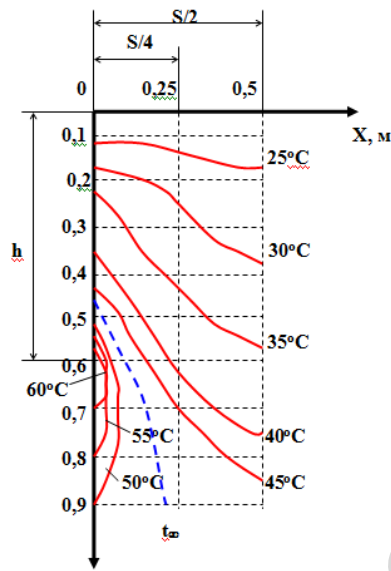


Рис. 6.13. Сетка изотерм в поперечном разрезе обогреваемого грунта:
 условия построения – $t_{\Gamma} = 75^{\circ}\text{C}$; $t_B = 18^{\circ}\text{C}$; $d = 0,048\text{ м}$; $h = 0,6\text{ м}$; $S = 1\text{ м}$;
 точкой перегиба изотерм является линия $X = 0,25S$;
 граничная температура – $t_{\infty} (^{\circ}\text{C})$

Очевидно, изотермы будут симметричны относительно вертикальной оси Oy , проходящей через центр трубы, и относительно оси AA , равноудаленной от двух соседних труб. Исходя из этого, можно ограничиться построением изотерм в области между осями Oy и AA .

Граничная температура может быть определена по формуле:

$$t_{\infty} = \frac{\varphi_l \left(h + \frac{\lambda}{\alpha_0} \right)}{\lambda} S.$$

6.27. В чем суть теплового расчета электрообогреваемых полов?

Рассмотрим решение этой задачи на следующем примере. Пусть нагревательный элемент диаметром d уложен в массив пола с теплопроводностью λ ; глубина закладки – h , шаг укладки – S . Заданы температуры воздуха над поверхностью пола t_B , поверхности пола t_{Π} и нагревателя $t_{\text{ж}}$. Плотность теплового потока с поверхности пола:

$$q_A = \alpha(t_{\Pi} - t_B).$$

Учитывая, что в установившемся режиме нагревательный элемент должен генерировать такой же поток, термическое сопротивление 1 м нагревательного элемента определим по формуле:

$$R_{Tl} = \frac{\Delta t}{q_l} = \frac{t_{\text{ж}} - t_{\Pi}}{q_l},$$

где q_l – линейный тепловой поток, приходящийся на 1 м нагревательного элемента, Вт/м.

$$q_l = q_A S = \frac{q_A}{N},$$

где N – число отрезков нагревателя на ширине 1 м.

Учитывая теплообмен при расположении нескольких нагревателей в одной плоскости с шагом S , получим следующее выражение:

$$R_{Tl} = \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \left(\frac{2S}{\pi d} sh \frac{2\pi h}{S} \right).$$

При заданной температуре поверхности для сокращения расхода материала $\Delta t = (t_{\text{ж}} - t_{\Pi})$ выбирают таким, чтобы температура нагревательного элемента была равна допустимой, а шаг укладки S таким, чтобы обеспечить поток q_A , заданный технологией, при выбранном значении Δt .

Универсальным расчетом является метод графического решения уравнения, относительно шага укладки S при конкретных условиях, заданных конструкцией пола и технологией содержания животных или птицы. Расчет заключается в построении двух функций $f_1(S)$ и $f_2(S)$ в одних координатах, где точка их пересечения дает оптимальное значение шага укладки нагревательного провода S .

При этом необходимо учитывать, что под названными функциями понимается левая и правая части уравнения, т. е.

$$f_1(S) = R_{Tl} = \frac{t_{ж} - t_{п}}{q_l};$$

$$f_2(S) = R_{Tl} = \frac{1}{2\pi\lambda} \ln\left(\frac{2S}{\pi d} sh \frac{2\pi h}{S}\right)$$

или, если нагревательный элемент имеет изоляцию:

$$f_2(S) = R_{Tl} = \frac{1}{2\pi\lambda_{из}} \ln \frac{D}{d} + \frac{1}{2\pi\lambda} \ln\left(\frac{2S}{\pi d} sh \frac{2\pi h}{S}\right),$$

где D – наружный диаметр нагревательного элемента с изоляцией, м;
 $\lambda_{из}$ – коэффициент теплопроводности изоляции, Вт/(м·К).

Определив S и приравняв с учетом потерь η линейный тепловой поток к мощности, потребляемой нагревательным элементом длиной 1 м из электрической сети, получаем:

$$P_l = \frac{q_l}{\eta} = \frac{q_A S}{\eta},$$

где η – КПД обогреваемого пола (можно принять 0,7–0,85).

Напряжение, которое необходимо приложить к отрезку нагревательного элемента длиной 1 м, определим по формуле:

$$U_l = (P_l R_l)^{0,5},$$

где U_l – погонное электрическое сопротивление нагревательного элемента при рабочей температуре, Ом/м.

Длина отрезка нагревательного элемента, подключаемого на фазное напряжение U_{ϕ} питающей сети определяется по формуле:

$$L = \frac{U_{\phi}}{U_l}.$$

Мощность, потребляемую отрезком длиной L , включенным в фазное напряжение, находим по формуле:

$$P_0 = P_l L.$$

Общая электрическая мощность, необходимая для обогрева заданной площади поверхности A :

$$P = q_A A.$$

Число отрезков нагревательного провода длиной 1 м:

$$N = \frac{P}{P_0}.$$

Зная конфигурацию обогреваемой площади, длину отрезка провода, подключаемого на U_{ϕ} , и число таких отрезков, можно приступить к их размещению на обогреваемой поверхности и разработать схему включения.

Обычно нагревательные отрезки распределяют по фазам равномерно и соединяют в «звезду». При быстром разогревании пола предусматривают включение элементов в «треугольник» с переключением в «звезду» при достижении номинальной температуры на поверхности обогреваемого пола.

6.28. Методика теплового расчета водяного обогрева почвы.

Исходными данными к расчету почвенного обогрева являются данные теплового расчета культивационного сооружения, значения теплопроводности почвы и минимально допустимой температуры в корнеобитаемом слое почвы. Эта температура должна быть в пределах 18–25 °С.

Тепловой поток от почвенного обогрева (Вт/м) определяют в зависимости от конструктивных характеристик системы обогрева:

$$\Phi_{п} = \frac{1,5\pi\lambda_{п}(t_{р} - \tau_0)}{\ln\left(\frac{2S}{\pi d_{н}} sh \frac{2\pi h}{S}\right)},$$

где $\lambda_{\text{П}}$ – коэффициент теплопроводности почвы (0,8–2 Вт/(м·К));
 S – шаг между трубами, м;
 h – глубина заложения труб, м;
 $d_{\text{Н}}$ – наружный диаметр трубопровода, м;
 τ_0 – температура поверхности почвы, °С;
 $t_{\text{р}}$ – расчетная температура теплоносителя, °С.

Необходимая длина труб системы почвенного обогрева:

$$l_{\text{П}} = \frac{\Phi_{\text{ПОД}}}{\Phi_{\text{П}}},$$

где $\Phi_{\text{ПОД}}$ – тепловая мощность системы почвенного обогрева, Вт;

$$\Phi_{\text{ПОД}} = \Phi_{\text{П}} \cdot S_0,$$

где S_0 – инвентарная площадь сооружения, м²;

$\Phi_{\text{П}}$ – удельная тепловая мощность системы почвенного обогрева (Вт/м²), которая определяется из уравнения теплового баланса на поверхности почвы культивационного сооружения:

$$\Phi_{\text{НО}} + \Phi_{\text{АК}} + \Phi_{\text{П}} + \Phi_{\text{КО}} = \Phi_{\text{ТП}} + \Phi_{\text{И}} + \Phi_{\text{ЛО}},$$

где $\Phi_{\text{НО}}$ – тепловой поток от отопительных приборов на поверхности почвы, Вт/м²;

$\Phi_{\text{АК}}$ – тепловой поток, аккумулированный в почве за дневной период, Вт/м²;

$\Phi_{\text{КО}}$ – тепловой поток при конвективном теплообмене на поверхности почвы, Вт/м²;

$\Phi_{\text{ТП}}$ – тепловой поток через грунт, Вт/м²;

$\Phi_{\text{И}}$ – тепловой поток, расходуемый на испарение влаги из почвы, Вт/м²;

$\Phi_{\text{ЛО}}$ – тепловой поток излучением на поверхности почвы, Вт/м².

Все эти удельные тепловые потоки можно рассчитать по следующим формулам:

$$\Phi_{\text{НО}} = \varepsilon_{\text{р}} \varepsilon_{\text{П}} C_0 \varphi_{\text{П}} (1 - k_{\text{П}}) a_{\text{Ш}} \left[\left(\frac{t_{\text{р}} + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{\tau_0 + 273}{100} \right)^4 \right].$$

где $\varepsilon_{\text{р}}$ – коэффициент теплового излучения поверхности отопительных приборов (можно принять 0,92–0,96);

$\varepsilon_{\text{П}}$ – коэффициент теплового излучения почвы (принимается равным 0,96);

C_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела;

$k_{\text{П}}$ – коэффициент поглощения теплового излучения в объеме сооружения (для теплиц – 0,12; для парников – 0,07);

$\varphi_{\text{П}}$ – угловой коэффициент излучения с поверхности приборов шатрового обогрева на почву (принимается равным 0,3–0,4);

$a_{\text{Ш}}$ – отношение площади поверхности приборов шатрового обогрева к площади теплицы (принимается равным 0,2–0,5).

$$\Phi_{\text{АК}} = 0,00545 A_{\text{С}} (\lambda_{\text{П}} C_{\text{П}} \rho_{\text{П}})^{0,5},$$

где $A_{\text{С}}$ – суточная амплитуда температуры на поверхности почвы, °С;

$C_{\text{П}}$ – удельная теплоемкость почвы, Дж/кг К;

$\rho_{\text{П}}$ – плотность почвы, кг/м³.

$$\Phi_{\text{КО}} = A_1 m_1 (t_{\text{В}} - \tau_0)^{\frac{4}{3}},$$

где A_1 – коэффициент, который принимают в зависимости от средней температуры (по табл. 6.4):

m_1 – коэффициент поверхности теплообмена (принимается при $t_{\text{В}} > \tau_0$ $m_1 = 0,7$; при $t_{\text{В}} < \tau_0$ $m_1 = 1,13$;

$t_{\text{В}}$ – температура внутреннего воздуха, °С.

Таблица 6.4

Значения коэффициента A_1

$t_{\text{ср.}}, ^\circ\text{C}$	-20	0	+20
A_1	1,83	1,69	1,57

Тепловой поток через грунт допустимо рассчитывать по уравнению теплопередачи с разбивкой площади теплицы на отдельные зоны (по 2 м). Термическое сопротивление теплопередаче принимают как для неутепленного пола, расположенного на грунте.

$$\Phi_{\text{И}} = r \cdot G_{\text{И}},$$

где $G_{\text{И}}$ – расход испаряемой влаги, г/(с м²);

r – скрытая теплота парообразования, Дж/г.

$$G_{\text{И}} = 0,22\beta'(\rho_0'' - 0,01\varphi_{\text{В}}\rho_{\text{В}}'') \frac{B_0}{B},$$

где β' – коэффициент массообмена, м/ч;
 ρ_0'' , ρ_B'' – плотности сухого насыщенного пара при температурах τ_0 и t_B , кг/м³;
 φ_B – относительная влажность внутреннего воздуха;
 $B_0 = 101,3$ кПа – нормальное атмосферное давление;
 B – атмосферное давление в данной местности, кПа;

$$\beta' = 0,18 \frac{(\tau + 273)^{1,4} (|t_B - \tau_0|)^{0,26}}{L_0^{0,22} B^{0,74} \nu^{0,26} (t_B + 273)^{0,26}},$$

где $L_0 = S_0^{0,5}$ – определяющий геометрический размер, м;
 ν – кинематическая вязкость воздуха при τ , м²/с.

$$\Phi_{\text{ЛО}} = 0,81 C_0 \left[\left(\frac{\tau_0 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_0 + 273}{100} \right)^4 \right],$$

где t_0 – температура на поверхности ограждения, °С.

6.29. Что относится к средствам местного обогрева рабочих мест человека?

В качестве средств местного обогрева для рабочих мест персонала компаний и фирм, как правило, используют электрическую энергию и природный газ. Они преобразуется в тепловую энергию непосредственно в электрических или газовых приборах.

К таким средствам местного обогрева относятся:

- электрообогреваемые полы помещений (рис. 6.14);
- ИК-обогреватели для внутренних помещений (рис. 6.15, 6.16) и открытых площадок (рис. 6.17).



Рис. 6.14. Электрообогреваемый пол в помещении, имеющем кафельное покрытие пола

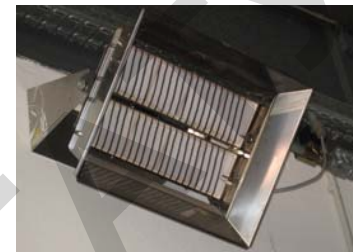


Рис. 6.15. ИК-обогреватель для производственных помещений (газовый)



Рис. 6.16. U-образный инфракрасный обогреватель мощностью от 21 до 45 кВт для работы в сбалансированных системах газовой разводки типа C (по классификации ЕС)



Рис. 6.17. Уличный газовый инфракрасный обогреватель W12VA

Инфракрасные обогреватели характеризуются низкой тепловой инерционностью и обеспечивают короткое время реагирования. Так как инфракрасное излучение проходит сквозь воздух практически без потерь энергии (оно не нагревает воздух), а превращается в теплоту непосредственно в рабочей зоне, такой вид отопления является эффективным и экономичным для помещений с большой высотой

или плохой теплоизоляцией. Также лучистое отопление незаменимо при зональном отоплении.

В настоящее время на рынке представлены: высокоинтенсивные («светлые») инфракрасные обогреватели (газовые и электрические) и низкоинтенсивные («темные») инфракрасные обогреватели (газовые, электрические и водяные потолочные термopанели).

- Основные преимущества в сравнении с традиционным обогревом:
- отсутствие пыли и смещения объема воздушного пространства;
 - очень низкая инерционность настройки температуры;
 - отсутствие необходимости бесполезного обогрева верхних слоев воздуха (тепловое излучение направлено строго вниз);
 - энергосбережение 20–50 % в сравнении с конвективными системами отопления;
 - возможность зонного обогрева;
 - не занимает полезную площадь внизу помещений.

К основным местам использования можно отнести: производственные (промышленные и сельскохозяйственные) и торговые помещения, ремонтные мастерские и станции технического обслуживания автотракторной техники, складские помещения, выставочные центры, образовательные (учебные) помещения и спортивные залы.

6.30. Как устроены уличные инфракрасные обогреватели?

Уличные инфракрасные обогреватели предназначены для локального обогрева открытых площадок, веранд, уличных кафе и т. д. Они способны создавать комфортные условия при низких температурах воздуха. Инфракрасный обогреватель – один из наиболее безопасных и экономичных способов обогрева. Они греют с помощью инфракрасных лучей, которые нагревают не воздух, а людей и предметы в радиусе действия инфракрасных волн. Использование газового инфракрасного обогревателя на уличных террасах кофеен, баров, в торговых точках приносит значительный дополнительный доход владельцам этих заведений, т. к. дает возможность дольше находиться на воздухе в прохладное время года, создать уютную атмосферу.

В основании зонтика-обогревателя, как правило, скрыт стандартный газовый баллон вместимостью 27 л, которого хватает на 6–8 ч работы при средней мощности. Заправить такой баллон газом не составит проблем на любой газозарядной станции. Регулятор мощности позволит разумно расходовать газ, добываясь наиболее комфортной температуры.

6.31. Особенности уличных газовых ИК-обогревателей W12VA.

Уличные газовые обогреватели *KROLL W12VA* в виде «зонтиков» незаменимы, когда требуется мобильный источник тепла. Они не требуют специального монтажа, легко устанавливаются и разбираются, без труда транспортируются благодаря своим небольшим габаритам и весу. Инфракрасные нагреватели работают на сжиженном газе (пропане). Их характеристики:

- мощность регулируется от 6,5 до 10 кВт;
- инфракрасный нагреватель обогревает территорию диаметром до 6 м (площадью 28 м²); при уличной температуре воздуха плюс 10 °С он способен согреть вокруг себя до температуры плюс 25 °С;
- стандартного баллона сжиженного газа весом 11,5 кг хватает на 15 ч работы обогревателя.

Газовый инфракрасный обогреватель серии *W12VA* представляет собой вертикальную установку, состоящую из цилиндрического корпуса, в котором размещается баллон для сжиженного газа. Стойка является одной из основных частей, внутри нее проходит шланг, соединяющий газовый баллон с горелочным устройством. Сверху цилиндрической сетки (с блоком ручного управления) размещается зонд инжекционной газовой горелки низкого давления с локализацией зоны горения в металлическом сетчатом излучателе. Эта устойчивая конструкция изготовлена полностью из нержавеющей стали.

Уличный обогреватель *KROLL* комплектуется узлом управления, обеспечивающим розжиг горелки пьезоэлектрическим запальником и регулирование минимальной и максимальной тепловой мощности; устройством датчика контроля наличия пламени, состоящего из терморпары, клапана безопасности, кнопки включения и отключения.

ЛИТЕРАТУРА

1. СНБ 2.04.02-2000. Строительная климатология / Министерство архитектуры и строительства РБ. – Введен в действие 01.07.2001. – Минск : Стройтехнорм, 2001. – 37 с.
2. СНБ 4.02.01-03. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха / Министерство архитектуры и строительства РБ. – Введен в действие 01.01.2004. – Минск : Стройтехнорм, 2004. – 78 с.
3. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны / Госстандарт. – Москва : Издательство стандартов, 1988. – 71 с.
4. Манюк, В. И. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей : справочник / В. И. Манюк, Я. И. Каплинский и др. – Москва : Стройиздат, 1988. – 432 с.
5. СНиП 2.08.02-89. Общественные здания и сооружения / Госстрой СССР. – Москва : ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 40 с.
6. ТКП 45-2.04-43-2006. Строительная теплотехника / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Введен в действие 01.07.2007. – Минск, 2006.
7. Справочник по теплоснабжению сельского хозяйства / Герасимович Л. С., Цубанов А. Г. [и др.]. – Минск : Ураджай, 1993. – 368 с.
8. Богуславский, Л. Д. Энергосбережение в системе теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха / Л. Д. Богуславский, В. И. Ливчак, В. П. Титов. – Москва : Стройиздат, 1990. – 621 с.
9. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника : справочник / под ред. А. Григорьева, В. М. Зорина. – Москва : Энергоатомиздат, 1991. – 588 с.
10. Воздушный тепловой насос [Электронный ресурс] / ООО «Рейкон». – Челябинск, 2008–2012. – Режим доступа : http://www.reikon.ru/heat_pump/hp_air.html. – Дата доступа : 16.04.2012.
11. Тепловые насосы *HELIO THERM* [Электронный ресурс] / ООО «ЭкоТехнология». – Москва : 2010. – Режим доступа : <http://heliotherm.ru/>. – Дата доступа : 12.01.2012.
12. Энергоаудит, теплоучет и энергосбережение. Тепловые насосы : [Электронный ресурс] / ООО НПФ «ЭФА», ООО НТЦ «ЭФА». – Ростов-на-Дону, 2011. – Режим доступа : http://www.efarostov.ru/ener_sber/tep1_nas.htm. – Дата доступа : 12.01.2012.
13. TEPLONASOS. Принцип работы грунтового геотермального теплового насоса [Электронный ресурс] / ООО «Тепловые насосы». – Киев, 2006–2013. – Режим доступа : <http://teplonasos.ua/ru/teplonasosy-gruntovye/princip-raboty-gruntovyh-teplonasosov/>. – Дата доступа : 12.01.2012.
14. TEPLONASOS. Зонды геотермального теплового насоса [Электронный ресурс] / ООО «Тепловые насосы». – Киев, 2006–2013. – Режим доступа : <http://teplonasos.ua/ru/nakonechniki-zondy-v-sbore/>. – Дата доступа : 12.01.2012.
15. Тепловые насосы: каталог продукции: [Электронный ресурс] / Геоэнергетическая компания «ЭкстраТерм». – Санкт-Петербург, 2007. – Режим доступа : http://www.extra-therm.ru/index.php?issue_id=53. – Дата доступа : 16.04.2012.

16. Отопление дома. Схема отопления дома с тепловым насосом: [Электронный ресурс] / www.ventil-otoplenie.com (с экрана). – [Б. м.], 2010. – Режим доступа : <http://ventil-otoplenie.com/poleznye-stati/304-otoplenie-doma-sxema-otopleniya-doma-s-teplovym-nasosom>. – Дата доступа : 16.04.2012.

17. *BRILLHOME. BRILLIANCE HOME SYSTEMS*. Геотермальные тепловые насосы. Принцип Действия [Электронный ресурс] / ООО «Бриллианс Хоум Системс». – Московская область БЦ «Румянцево», 2011. – Режим доступа : http://brillhome.webnewteam.ru/production/?SECTION_ID=6&ELEMENT_ID=83. – Дата доступа : 16.04.2012.

18. Зеленая энергия. Система отопления. ТЕПЛОНАСОС [Электронный ресурс] / Торговая марка «Зеленая энергия». – Одесса, [б. д.]. – Режим доступа : <http://greenenergy.org.ua/otoplenie/mini-hotels/teplonasos/>. – Дата доступа : 12.05.2012.

19. История и факты применения тепловых насосов [Электронный ресурс] / santerm.net. – [Минск?], 2013. – Режим доступа : <http://santerm.net/vsya-pravda-ot-teplovux-nasosax/>. – Дата доступа : 12.05.2012.

20. АСВ-Инжиниринг. Типы тепловых насосов [Электронный ресурс] / Компания «АСВ-Инжиниринг». – Пермь, 2012. – Режим доступа : <http://en-so.ru/deystvie/>. – Дата доступа : 19.01.2012.

21. Рефком. Особенности тепловых насосов *REFKOM* [Электронный ресурс] / ООО «РЕФКОМ». – Санкт-Петербург, 2013. – Режим доступа : <http://www.refkomsb.ru/princip.phtml>. – Дата доступа : 19.01.2012.

22. Принцип работы кондиционера : как работает кондиционер [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://vodianoy.ru/stat_i/princip_raboty_kondicionera_kak_rabotaet_kondicioner/. – Дата доступа : 12.01.2012.

23. *BRILLHOME. BRILLIANCE HOME SYSTEMS*. Вентиляция в помещении с тепловым насосом : принцип действия [Электронный ресурс] / ООО «Бриллианс Хоум Системс». – Московская область БЦ «Румянцево», 2011. – Режим доступа : <http://brillhome.webnewteam.ru/production/detail.php?ID=148>. – Дата доступа : 12.01.2012.

24. *Basseyн OnLine.ru* : бассейны, спа и сауны. Механизмы функционирования теплового насоса [Электронный ресурс] / ООО «АБАТИК Продакшн». – Бомон ле Валанс, 2008. – Режим доступа : http://www.basseyн-online.ru/obogrev/nassos-terpovoyu_airenergy/airenergy500.html. – Дата доступа : 13.04.2012.

25. МТМ. Мариупольтепломережа. Внедрение тепловых насосов на ККП «Мариупольтеплосеть» [Электронный ресурс] / МариупольТеплоСеть. – Мариуполь, 2009. – Режим доступа : <http://teploset.com.ua/articles/2>. – Дата доступа : 15.01.2012.

26. Вентиляторы осевые ВО-10-360 для установки в оконных и стеновых проемах. – Брест : ООО «Альтернатива», 2012. – 2 с.

27. Вентиляторы осевые ВО-12-380 для установки в оконных и стеновых проемах. – Брест : ООО «Альтернатива», 2012. – 2 с.

28. Осевые вентиляторы низкого давления : АВ-проект. – Москва : *Systemair AB*, 2012. – 156 с.

29. ТУ 4863-026-11865045-02. Калориферы биметаллические, КСк 3 –КСк 4. Электрокалориферные установки СФОЦ. – Москва, 2002.

30. *SALDA.BY* ... всегда свежий воздух! Калорифер водяной *AVS*: [Электронный ресурс] / дистрибьютор систем вентиляции в РБ ООО «Компания ЮСОН». – Минск, 2012. – Режим доступа : <http://www.salda.by/vodyanye-kalorifery-avs.htm>. – Дата доступа : 25.05.2012.

ТЕПЛОТЕХНОЛОГИИ

Пособие

Составители:

Коротинский Виктор Андреевич,
Цубанов Александр Григорьевич,
Цубанов Игорь Александрович

Ответственный за выпуск *В. А. Коротинский*
Редактор *В. А. Гошко*
Компьютерная верстка *В. А. Гошко*

Подписано в печать 22.05. 2013 г. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 23,25. Уч.-изд. л. 18,18. Тираж 190 экз. Заказ 468.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет».
ЛИ № 02330/0552984 от 14.04.2010.
ЛП № 02330/0552743 от 02.02.2010.
Пр. Независимости, 99–2, 220023, Минск.

31. Энергосберегающее оборудование для отопления и сушки древесины [Электронный ресурс] / ОАО «Гомельский Техноприбор» . – Гомель, 2012. – Режим доступа : <http://tehnopribor.com/prod01.html>. – Дата доступа : 25.05.2012.

32. Справочник по теплообменникам : в 2-х т. / пер. с англ. ; под ред. Б. С. Петухова, В. К. Шикова. – Москва : Энергоатомиздат, 1987. – Т. 1. – 560 с.

33. Промышленные теплообменные процессы установки : учебник для вузов / А. М. Бакластов, В. А. Горбенко, О. Л. Данилов [и др.] ; под ред. А. М. Бакластова. – Москва : Энергоатомиздат, 1986. – 328 с.

34. Солома. Топливо из соломы: прошлое или будущее? [Электронный ресурс] / Портал «Солома» ; ген. дир. Вл. Жук. – Днепропетровск, [б. д.]. – Режим доступа : <http://soloma.zhuk.tv/news-view-135.html>. – Дата обращения : 25.10.2011.

35. ИЦ Тула. Альтернативная энергетика и энергосбережение. Котлы *HERLT* серии *HSV* на соломе : энергетический потенциал соломы [Электронный ресурс]. – Тула, 1996–2012. – Режим доступа : <http://www.coalnet.ru/herlt/stroh.html>. – Дата доступа : 25.10.2011.

36. Ксирон-Холод. Принцип действия четырехходового клапана с пилотным устройством в реверсивных холодильных установках [Электронный ресурс] / ООО «Ксирон-Холод». – Ивантеевка, 2002–2013. – Режим доступа : <http://www.xiron.ru/content/view/30794/173/>. – Дата доступа : 18.01.2012.

37. Ксирон-Холод. Холодильное оборудование от Компании «Ксирон-Холод» [Электронный ресурс] / ООО «Ксирон-Холод». – Ивантеевка, 2002–2013. – Режим доступа : <http://www.xiron.ru/>. – Дата доступа : 19.12.2012.

38. Стинком-Групп. Тепловые насосы, использующие грунт, грунтовые воды в качестве источника тепла *NIBE FIGHTER 1240* [Электронный ресурс] / ООО «Стинком-Групп». – Москва, [б. д.]. – Режим доступа : <http://stinkom-grupp.narod.ru/pumps02.htm>. – Дата доступа : 11.03.2012.

39. Отопление без топлива [Электронный ресурс]. – [Б. м.], [б. в.]. – Режим доступа : <http://www.nibe.sant-prof.ru/2300info.html>. – Дата доступа : 11.03.2012.

40. Мониторинг вентиль и фитинг. Тепловые насосы [Электронный ресурс] / ООО «МВиФ». – Москва, [б. д.]. – Режим доступа : <http://www.mvif.ru/index.php?id=705>. – Дата доступа : 11.03.2012.

41. ООО «ФАРЭКС инжиниринговая группа». Системы микроклимата. Мульти системы и сплит-системы с несколькими внутренними блоками [Электронный ресурс] / дир. Волобуев Е. Е. – Харьков, 2006. – Режим доступа : <http://farex.ua/ru/products/climat/airconditioning/2211/>. – дата доступа : 17.02.2012.

42. Техносинтез. Чиллеры и фанкойлы [Электронный ресурс] / ПКООО «ТЕХНО-СИНТЕЗ». – Минск, [2006?]. – Режим доступа : <http://www.tehnosin-tez.by/chilleri-i-fenkoyli.html>. – Дата доступа : 18.04.2012.