

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского
Кафедра энергообеспечения и теплотехники

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ
ЖИВОТНОВОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА
учебно-методическое пособие к курсовой работе
по дисциплине «Тепломассообмен»

Молодежный 2021

УДК 697:631.223(072)
Т343

Печатается по решению методического совета энергетического факультета Иркутского ГАУ (протокол № 5 от 19 января 2021 г.).

Составители: Очиров В.Д., Бочкарев В.А.

Рецензент:

Логинов А.Ю. – доцент кафедры электрооборудования и физики Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского, кандидат технических наук, доцент.

Теплоснабжение животноводческого комплекса: учебно-методическое пособие для выполнения курсовой работы по дисциплине «Тепломассообмен» / сост.: В. Д. Очиров, В. А. Бочкарев. – Молодежный: Изд-во Иркутского ГАУ, 2021. – 59 с. – Текст : электронный.

Учебно-методическое пособие предназначено для изучения дисциплин «Тепломассообмен» и «Теплоснабжение», выполнения курсовой работы и отдельных разделов выпускной квалификационной работы студентами, обучающимися по направлениям подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника и 35.03.06 Агроинженерия.

© Очиров В.Д., Бочкарев В.А., 2021.
© Иркутский ГАУ им. А.А. Ежевского, 2021.

ВВЕДЕНИЕ

Учебным планом по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника (уровень бакалавриата) в Иркутском ГАУ по учебной дисциплине «Тепломассообмен» предусмотрено выполнение курсовой работы. В связи с этим переиздано настоящее учебно-методическое пособие. Учебная дисциплина является базовой для ряда инженерных (в том числе агроинженерных), и прежде всего теплотехнических направлений подготовки.

При написании пособия за основу приняты методические указания, составленные доцентом кафедры тракторов и автомобилей ИСХИ А.Г. Соколовым [18]. Данное издание было предназначено для выполнения курсовой работы по курсу «Теплоснабжение сельского хозяйства» студентами специальности 3114 Электрификация и автоматизация сельского хозяйства. До 2020 года курсовая работа по дисциплине «Тепломассообмен» выполнялась по учебному пособию, написанному проф. И.В. Алтуховым и доц. Г.В. Лукиной [19].

Кафедра энергообеспечения и теплотехники (прежние названия: кафедра теплоэнергетики (2001-2007 гг.), кафедра электроснабжения и теплоэнергетики (2007-2012 гг.)) была создана в 2001 году. Начиная с этого момента сотрудниками кафедры для студентов специальности «Энергообеспечение предприятий» (с 2013 года для направления подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника) читалась дисциплина «Теоретические основы теплотехники» (с 2013 года – «Тепломассообмен»), в программе которой было предусмотрено выполнение курсовой работы.

Курсовая работа – завершающий этап изучения дисциплины «Тепломассообмен». Выполнение работы поможет закрепить и углубить теоретические знания студента, научит применять их при решении конкретных инженерных задач по теплоснабжению животноводческих ферм и комплексов.

При составлении учебно-методического пособия к курсовой работе по дисциплине «Тепломассообмен» использованы материалы [1-19].

Рекомендации по выполнению курсовой работы

Исходными являются следующие данные:

- 1) перечень сооружений животноводческого комплекса с указанием размеров (длина, ширина, высота);
- 2) вид, количество и средняя масса животных, находящихся в каждом здании;
- 3) численность основных рабочих;
- 4) параметры теплоносителей (температура воды на отопление, температура воды после отопления, избыточное давление пара, поступающего на технологические нужды);
- 5) состав рабочей массы топлива;
- 6) коэффициент избытка воздуха при слоевом сжигании топлива в котле.

Варианты заданий для расчетов выдаются каждому студенту индивидуально по последним двум цифрам зачетной книжки. Студент также может выполнить работу для конкретного объекта агропромышленного комплекса.

Порядок выполнения работы следующий:

1. Расчет тепловых нагрузок животноводческого комплекса (отопление, горячее водоснабжение, технологические нужды).
2. Расчет и подбор калориферов воздушного отопления.
3. Расчет и подбор вентилятора отопительно-вентиляционной системы.
4. Расчет и подбор отопительных приборов.
5. Расчет теплопотребления и подбор котлов для котельной.
6. Расчет и подбор вспомогательного оборудования котельной, тягодутьевых устройств, питательных устройств, насосов.
7. Составление тепловой схемы котельной.
8. Определение технико-экономических показателей работы котельной.

Курсовая работа состоит из расчетно-пояснительной записки и графической части. Расчетно-пояснительная записка должна отражать все разделы работы и должна быть выполнена на одной стороне листа белой бумаги одного сорта формата А4 (210×297). Требования к оформлению расчетно-пояснительной записки приведены в таблице.

Таблица – Требования к оформлению расчетно-пояснительной записки

Поля	слева – 30 мм, снизу и сверху – 20 мм, справа – 15 мм
Шрифт основного текста	Times New Roman
Размер шрифта основного текста	14 пт
Размер шрифта текста таблиц	10-12 пт
Цвет шрифта	черный
Межстрочный интервал	1,0 (одинарный)
Отступ первой строки абзаца	12,5 мм
Форматирование текста	по ширине
Рисунки	по тексту
Ссылки на формулу	(n)
Ссылки на литературу	[n], ГОСТ Р 7.0.5-2008

Нумерация страниц текстового документа должна быть сквозной и включать титульный лист. Страницы нумеруются арабскими цифрами, на титульном листе номер страницы не указывается. Номер страницы проставляется в центре нижней части страницы без точки. В начале записки приводятся исходные данные, а в конце – содержание и список использованной литературы.

Все расчеты сопровождаются необходимыми пояснениями с обоснованием принятых коэффициентов и справочных данных. Сначала формула записывается в общем виде, затем в нее подставляются численные значения всех величин, а потом записывается ответ с допустимым округлением.

Графическая часть работы состоит из одного листа формата А2 (420×594 мм) с изображением тепловой схемы котельной. На схеме количество основного и вспомогательного оборудования котельной должно соответствовать расчетным значениям.

Схема выполняется с условными обозначениями различных трубопроводов. На листе выполняется угловой штамп. К схеме прилагается спецификация с перечнем всего оборудования котельной, его марок и количества, которая подшивается к расчетно-пояснительной записке.

При расчете тепловых нагрузок животноводческого комплекса рекомендуется все расчеты выполнять отдельно для каждого здания. В том числе, если на комплексе имеется несколько одинаковых здания для содержания животных одного вида, то расчеты проводятся для одного из них, а при определении суммарных тепловых нагрузок каждого вида учитывается количество зданий с одинаковыми тепловыми нагрузками.

Расчет и подбор калориферов воздушного отопления и вентилятора отопительно-вентиляционной системы выполняется только для одного помещения, указанного преподавателем.

По окончании расчетов по каждому разделу необходимо полученные значения сводить в результирующие таблицы (таблицы 1.3, 1.5, 1.8, 2.6, 3.3, 3.6, 3.9).

1 Расчет тепловых нагрузок животноводческого комплекса

На животноводческих комплексах тепловая энергия в виде горячей воды и пара используется для отопления и вентиляции животноводческих и административно-бытовых помещений, для запаривания и замешивания кормов, пастеризации молока, а так же для обработки молочной посуды и других санитарно-гигиенических нужд.

По назначению потребителей теплоты тепловые нагрузки могут быть разделены по видам на отопительно-вентиляционные, горячее водоснабжение и технологические.

Тепловые нагрузки на отопление и вентиляцию зависят от температуры наружного воздуха и других климатических условий района теплоснабжения (солнечной радиации, скорости ветра, влажности воздуха). Если температура наружного воздуха равна или выше нормируемой температуры воздуха в отапливаемом помещении, то тепловая энергия для отопления и вентиляции не требуется.

Животноводческие комплексы, как объекты теплопотребления, имеют сезонные и круглогодичные тепловые нагрузки. К сезонным тепловым нагрузкам относят расход теплоты на создание условий микроклимата, то есть на отопление и вентиляцию помещений. Потребление теплоты в течении суток практически не изменяется, что объясняется теплоустойчивостью помещений.

Для сезонного теплового потребления характерны следующие особенности:

- 1) в течение года тепловые нагрузки изменяются в зависимости от температуры наружного воздуха;
- 2) годовые расходы теплоты, определяемые метеорологическими особенностями текущего года в районе теплоснабжения (холодная или теплая зима), имеют значительные колебания;
- 3) изменения тепловой нагрузки на отопление в течение суток в основном за счет теплоустойчивости наружных ограждений зданий незначительны;
- 4) расходы тепловой энергии для вентиляции по часам суток могут отличаться большим разнообразием в зависимости от сменности и режимов работы агропромышленных предприятий.

К круглогодичным тепловым потребителям относятся системы горячего водоснабжения и технологическое оборудование (кормозапарники, пастеризаторы и др.). Они характеризуются практически постоянным потреблением теплоты в течении года, расход теплоты в течении суток значительно колеблется, что объясняется особенностями технологических процессов в животноводстве (периодичность запаривания кормов, доения коров, уборки помещений и др.).

1.1 Расчет теплового потока на отопление животноводческого комплекса

Основная задача отопления заключается в поддержании внутренней температуры помещений на заданном уровне. Для этого необходимо сохранение равновесия между тепловыми потерями здания и теплопритоком.

Тепловой поток на отопление животноводческого комплекса складывается из потока теплоты на отопление всех животноводческих помещений и блока бытовых помещений.

Тепловой поток системы отопления каждого животноводческого помещения определяется на основании уравнения теплового баланса

$$Q_{от} = Q_{огр} + Q_{в} + Q_{исп} + Q_{инф} + Q_{к} - Q_{ж} - Q_{эл} - Q_{м.эл},$$

где $Q_{огр}$, $Q_{в}$, $Q_{исп}$, $Q_{инф}$, $Q_{к}$ – тепловые потоки, теряемые помещением соответственно через наружные ограждения, на нагрев приточного воздуха, на испарение влаги в помещении, нагрев инфильтрующегося воздуха и поступающих извне кормов; $Q_{ж}$, $Q_{эл}$, $Q_{м.эл}$ – тепловые потоки, поступающие в помещение соответственно от животных, электрооборудования и освещения, средств местного электрообогрева.

Для практических расчетов с небольшой погрешностью можно принять, что поступление теплоты от электрооборудования, искусственного освещения и потери теплоты на нагрев поступающих извне кормов взаимокompенсируют друг друга. Тогда уравнение теплового баланса запишется в следующем виде:

$$Q_{от} = Q_{огр} + Q_{в} + Q_{исп} + Q_{инф} - Q_{ж}.$$

Таким образом, для определения мощности системы отопления необходимо для каждого животноводческого помещения определить все составляющие уравнения теплового баланса.

Тепловой поток, теряемый через ограждения, учитывает потери теплоты через наружные ограждения (стены, окна, ворота, перекрытие) за исключением пола, так как можно считать, что поступление теплоты от подстилки компенсирует теплотопотери через пол:

$$Q_{огр} = q_0 V_{н}(t_{в} - t_{н}), \text{ Вт},$$

где q_0 – удельная тепловая характеристика на отопление, $\text{Вт}/\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$; $V_{н}$ – объем здания по наружному обмеру, м^3 ; $t_{в}$ – температура воздуха в помещении (приложение 1), $^\circ\text{C}$; $t_{н}$ – расчетная температура наружного воздуха (приложение 2), $^\circ\text{C}$.

Удельная тепловая характеристика здания q_0 равна средним потерям теплоты 1 м^3 здания при разности температур внутреннего и наружного воздуха в $1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Для нетиповых зданий удельную тепловую характеристику с учетом теплотехнических свойств ограждений и конфигурации здания можно достаточно точно определить по формуле проф. Н.С. Ермолаева [17]

$$q_0 = 1,06 \frac{P}{S} [k_c + \delta_o (k_o - k_c)] + \frac{1}{H} (n_{пт} k_{пт} + n_{пл} k_{пл}), \text{ Вт}/\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C},$$

где P – периметр здания, м; S – площадь здания в плане, м^2 ; δ_o – коэффициент остекления наружных стен (отношение площади окон к площади наружных стен); H – высота здания, м; k_c , k_o , $k_{пт}$, $k_{пл}$ – коэффициент теплопередачи соответственно наружных стен, окон, потолков и полов, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$; $n_{пт}$ и $n_{пл}$ – поправочные коэффициенты к расчетной разности температур для пола и потолка.

При расчете отопительной характеристики можно принять следующие значения коэффициентов теплопередачи: 1) для наружных стен – 1,1-1,4

Вт/м²·°С; 2) для перекрытий – 0,8-1,4 Вт/м²·°С; 3) для остекления – 3 Вт/м²·°С; 4) для полов – 0,25 Вт/м²·°С.

Чем ограждение более высокого качества (низкий коэффициент теплопроводности материала стен и большая толщина стен), тем значения коэффициентов теплопередачи принимаются в меньшую сторону.

Коэффициенты $n_{пт}$ и $n_{пл}$ меньше единицы, так как в отопительный период температура воздуха на чердаке здания и температура грунта под полом нижнего этажа выше наружной температуры [15]. В большинстве случаев $n_{пт} = 0,75-0,9$; $n_{пл} = 0,5-0,7$.

При определении объема здания необходимо принимать высоту от поверхности пола до верхнего утеплителя чердачного перекрытия. В том случае, если здание не имеет чердачного перекрытия, то необходимо учесть и тот объем, который образует свод крыши.

Температура и относительная влажность воздуха внутри помещения оказывают большое влияние на продуктивность и жизнедеятельность животных. Когда температура воздуха ниже расчетной, у животных включается регуляция теплопроизводства, что вначале приводит к увеличению потребления корма, а затем к снижению продуктивности. При температуре воздуха выше расчетной усвоение животными питательных веществ из корма понижается, а, следовательно, падает продуктивность. Расчетные параметры воздуха (температура и влажность) зависят от вида помещения и способа содержания животных и приведены в приложении 1. Эти параметры должны быть обеспечены в зоне расположения животных: в коровниках на высоте до 1,5 м от пола, в свинарниках до 1 м. Отклонение от расчетных температур допускается в пределах ± 2 °С. В коровниках и помещениях для молодняка в самый холодный период в течении 5 дней подряд, но не более 10 дней в году допускается понижение температуры внутреннего воздуха на 5 °С ниже расчетной; в свинарниках (кроме маточников и помещений для поросят-отъемышей) до 10 °С.

Тепловой поток, расходуемый на нагрев приточного воздуха, определяется по следующему выражению

$$Q_B = 0,278L_p \rho c(t_B - t_H), \text{ Вт,}$$

где L_p – расчетный объем приточного воздуха, м³/ч; ρ – плотность воздуха при расчетной температуре воздуха внутри помещения, кг/м³; c – удельная изобарная теплоемкость воздуха, равная 1 кДж/кг·°С.

Объем приточного воздуха определяется из расчета растворения углекислоты до допустимой концентрации и предельно допустимого содержания водяных паров. При таком воздухообмене происходит поглощение и других вредных выделений (аммиак, сероводорода, пыли), содержащихся в помещении в значительно меньших количествах.

Часовой объем приточного воздуха, необходимого для понижения концентрации углекислого газа, вычисляют по формуле

$$L_{CO_2} = \frac{cnk_t}{c_1 - c_2}, \text{ м}^3/\text{ч,}$$

где c – количество углекислого газа, выделяемое одним животным, л/ч; n – количество животных в помещении; k_t – коэффициент, учитывающий изменение выделения углекислоты в зависимости от температуры воздуха внутри помещения (приложение 3); c_1 – предельно допустимая концентрация углекислого газа в воздухе помещения, л/м³; c_2 – концентрация углекислого газа в свежем воздухе.

Выделение углекислого газа одним животным зависит от его вида и массы (приложение 4). Предельно допустимая концентрация углекислоты в помещениях для содержания крупного рогатого скота равна 2,5 л/м³, в помещениях для свиней – 2,0 л/м³. Содержание углекислого газа в приточном воздухе находится в пределах 0,3...0,4 л/м³.

Часовой объем приточного воздуха, необходимого для растворения водяных паров, определяется следующим образом

$$L_w = \frac{W}{(d_b - d_n)\rho}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где W – масса влаги, выделяющейся в помещении за час, г/ч; d_b и d_n – влагосодержание внутреннего и наружного воздуха, г/кг сух. возд.

Влагосодержание внутреннего и наружного воздуха определяется в зависимости от температуры и относительной влажности соответственно внутреннего и наружного воздуха (приложение 5).

Суммарные влаговыделения определяются

$$W = W_{\text{ж}} + W_{\text{исп}}, \text{ г/ч},$$

где $W_{\text{ж}}$ – масса влаги, выделяемой животными за час, г/ч; $W_{\text{исп}}$ – масса влаги, испаряющейся со смоченных поверхностей помещения (пол, подстилка, поилки), г/ч.

Влага, выделяемая животными, равна

$$W_{\text{ж}} = wn k'_t, \text{ г/ч},$$

где w – выделение водяных паров одним животным, г/ч (приложение 4); n – количество животных в помещении; k'_t – коэффициент, учитывающий изменение выделения животными водяных паров в зависимости от температуры воздуха внутри помещения (приложение 3).

Количество влаги, испаряемой со смоченных поверхностей

$$W_{\text{исп}} = \xi W_{\text{ж}}, \text{ г/ч},$$

где ξ – коэффициент, равный отношению количества влаги, испаряющейся со смоченных поверхностей, к количеству влаги, выделяемой животными, в зависимости от условий их содержания (таблица 1.1).

Плотность воздуха зависит не только от его температуры, но и от барометрического давления местности и определяется

$$\rho = \frac{346}{273 + t} \cdot \frac{P}{99,3}, \text{ кг/м}^3,$$

где P – расчетное барометрическое давление в данной местности, кПа (для Иркутска 95,2 кПа); t – температура воздуха, °С.

Таблица 1.1 – Значения коэффициента ξ

Условия содержания	Помещение для КРС	Помещение для свиней
<i>Удовлетворительные.</i> Исправно действующая канализация, регулярная уборка навоза. Достаточное количество соломенной подстилки	0,1	0,12
<i>Удовлетворительные.</i> Уборка навоза 2...3 раза в сутки. Нерегулярная работа канализации. Недостаточное количество соломенной подстилки	0,15	0,2
Те же условия, но при отсутствии подстилки	0,25	0,3

Для определения минимального нормативного воздухообмена, приходящегося на 100 кг живой массы животных, можно воспользоваться выражением

$$L_{\min} = \frac{lmn}{100}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где l – минимальный воздухообмен на 100 кг массы животного, $\text{м}^3/\text{ч}$ (таблица 1.2); m – расчетная масса животных, кг.

Таблица 1.2 – Нормы минимального воздухообмена в различные периоды года

Вид животных	Расход воздуха на 100 кг живой массы, $\text{м}^3/\text{кг}$		
	холодный	переходный	теплый
Крупный рогатый скот	17	45	100
Молодняк КРС (до 6 мес.)	20	45	100
Свиноматки, хряки, поросята	15	45	100
Свиньи на откорме	20	45	100

Минимальный нормативный воздухообмен вычисляется для проверки правильности определения объемов приточного воздуха, выполненных ранее.

Расчетный воздухообмен помещения принимается по наибольшему из L_{CO_2} , L_w или L_{\min} .

Тепловой поток, расходуемый на испарение влаги с мокрых поверхностей помещения, определяется

$$Q_{\text{исп}} = 0,278rW_{\text{исп}}, \text{ Вт},$$

где r – скрытая теплота испарения воды ($r = 2,49$ кДж/г).

Тепловой поток, расходуемый на нагрев инфильтрующегося воздуха, определяется с учетом его поступления через неплотности в ограждениях (особенно через световые проемы), при открывании ворот и дверей, а так же возможного превышения расхода приточного воздуха над расходом удаляемого. Рекомендуется принимать теплотери на инфильтрацию в размере 30% теплотери через ограждающие конструкции. Таким образом

$$Q_{\text{инф}} = 0,3Q_{\text{огр}}, \text{ Вт}.$$

Тепловой поток, выделяемый животными, складывается из скрытых тепловыделений и свободных (явных) тепловыделений.

Скрытые тепловыделения, будучи связанными с процессами влагообмена животных с окружающей средой, приводят к увеличению содержания водяных

паров внутри помещения. При этом температура внутри помещения не изменяется. Такие тепловыделения характеризует теплообмен животных, не относятся к теплопоступлениям в помещение и не входят в его тепловой баланс.

Свободные тепловыделения расходуются непосредственно на нагревание воздуха внутри помещения. Они представляют собой теплопоступления в помещение и определяются по выражению

$$Q_{ж} = qn k_i'', \text{ Г/Ч},$$

где q – поток свободной теплоты, выделяемой одним животным, Вт (приложение 4); n – количество животных в помещении; k_i'' – коэффициент, учитывающий количества выделенной животным теплоты в зависимости от температуры воздуха внутри помещения (приложение 3).

После определения каждой составляющей теплового баланса определяется общий тепловой поток, необходимый для отопления данного животноводческого помещения.

По такой же методике рассчитывается тепловой поток на отопление всех других животноводческих помещений. Если на комплексе, имеется несколько одинаковых помещений, то расчет выполняется только для одного из них.

Тепловой поток, расходуемый на отопление блока административно-бытовых помещений, определяется по удельной тепловой характеристике, которая учитывает расход теплоты и на его вентиляцию

$$Q_{от}^6 = q_T V_n^6 (t_b^6 - t_n) a, \text{ Вт},$$

где q_T – удельная тепловая характеристика здания, Вт/м³·С; V_n^6 – объем здания по наружному обмеру, м³; t_b^6 – расчетная температура внутри административно-бытового блока, °С; a – поправочный коэффициент, учитывающий влияние разности расчетных температур воздуха на значение тепловой характеристики.

Для административно-бытовых зданий удельная тепловая характеристика определяется

$$q_T = 1,163 \frac{(1 + 2\rho_o^6)F_{ст}^6 + S^6}{V_n^6}, \text{ Вт/м}^3 \cdot \text{С},$$

где ρ_o^6 – коэффициент остекления административно-бытового блока; $F_{ст}^6$ – площадь поверхности наружных стен, м²; S^6 – площадь здания в плане, м².

Расчетная температура воздуха внутри административно-бытового блока принимается равной 18 °С.

Поправочный коэффициент a определяется по формуле

$$a = 0,54 + \frac{22}{t_b^6 - t_n}.$$

Результаты расчета теплового потока на отопление всего животноводческого комплекса сводятся в таблицу 1.3.

После этого определяется суммарный тепловой поток на отопление всего животноводческого комплекса $\sum Q_{от}$.

Таблица 1.3 – Результаты расчета теплового потока на отопление животноводческого комплекса

Помещения комплекса	Составляющие уравнения теплового баланса помещения					Тепловой поток на отопление $Q_{от}$, кВт	Количество помещений	Тепловой поток на отопление одинаковых помещений
	$Q_{огр}$, Вт	$Q_{в}$, Вт	$Q_{исп}$, Вт	$Q_{инф}$, Вт	$Q_{ж}$, Вт			

1.2 Расчет теплового потока на горячее водоснабжение животноводческого комплекса

Горячее водоснабжение на животноводческих комплексах используется для санитарно-гигиенических нужд, для поения животных в холодный период года, для бытовых нужд обслуживающего персонала.

Санитарно-гигиенические нужды включают в себя мойку оборудования и помещений, а также уход за животными. Расход горячей воды для этих целей учитывается среднесуточной нормой потребления (таблица 1.4).

Таблица 1.4 – Среднесуточные нормы потребления горячей воды на санитарно-гигиенические нужды и на поение животных

Группы животных	Санитарно-гигиенические нужды		Поение животных	
	Температура воды, °С	Расход на одно животное, кг	Температура воды, °С	Расход на одно животное, кг
Телята	55...65	2	14...16	10
Молодняк КРС	55...65	2	8...12	25
Быки и нетели	55...65	5	8...12	40
Коровы молочные	55...65	15	8...12	65
Хряки-производители	50...60	7,5	10...16	10
Свиноматки холостые и супоросные	50...60	6	10...16	12
Свиноматки подсосные с приплодом	50...60	20	10...16	20
Свиньи на откорме	50...60	4,5	10...16	6
Поросята-отъемыши	50...60	1,5	16...20	2

Тепловой поток, расходуемый на горячее водоснабжение для санитарно-гигиенических нужд

$$Q_{г.в.}^{с.г.} = \beta_1 \frac{0,278 c_v (t_{г.в.}^{с.г.} - t_x)}{24} m^{с.г.} n, \text{ Вт},$$

где β_1 – коэффициент неравномерности потребления горячей воды в течении суток (принимается равным 2,5); c_v – удельная массовая теплоемкость воды (равна 4,2 кДж/кг·°С); $m^{с.г.}$ – среднесуточная норма потребления горячей воды на санитарно-гигиенические нужды, кг; n – количество животных в помещении;

$t_{г.в.}^{с.г.}$ – температура горячей воды на санитарно-гигиенические нужды, °С (таблица 1.4); t_x – температура холодной воды (в холодный период года принимается равной 5 °С, а в теплый – 15 °С).

Тепловой поток, расходуемый на горячее водоснабжение **для поения животных в холодный период года**, определяется также исходя из среднесуточной нормы потребления

$$Q_{г.в.}^п = \beta_1 \frac{0,278 c_B (t_{г.в.}^п - t_x)}{24} m^п n, \text{ Вт},$$

где $m^п$ – среднесуточная норма потребления горячей воды на поение животных в холодный период года, кг (таблица 1.4); $t_{г.в.}^п$ – расчетная температура воды, поступающей на поение животных, °С (таблица 1.4).

Для бытовых нужд обслуживающего персонала горячая вода используется в душевых, размещенных в блоке бытовых помещений, и в умывальных общего пользования, находящихся непосредственно в помещениях, где содержатся животные.

Тепловой поток, расходуемый на горячее водоснабжение душевых в блоке бытовых помещений

$$Q_{г.в.}^д = 0,278 V_B^д \rho_B c_B (t_{г.в.}^д - t_x), \text{ Вт},$$

где $V_B^д$ – часовой расход горячей воды, л/ч; ρ_B – удельный вес воды при ее средней температуре, кг/л (можно принять 0,99 кг/л); $t_{г.в.}^д$ – расчетная температура горячей воды для бытовых нужд, °С (принимается равной 55 °С).

Часовой расход горячей воды для душевых бытовых помещений определяется из расчета одновременной работы всех душевых сеток

$$V_B^д = v_c n_c, \text{ л/ч},$$

где v_c – часовой расход воды на одну душевую сетку, л/ч (принимается равным 270 л/ч); n_c – количество душевых сеток (можно принять 5...7 основных рабочих на одну душевую сетку).

Тепловой поток, расходуемый на горячее водоснабжение умывальных в каждом животноводческом помещении

$$Q_{г.в.}^y = 0,278 V_B^y \rho_B c_B (t_{г.в.}^y - t_x), \text{ Вт},$$

где V_B^y – часовой расход горячей воды в умывальных, л/ч.

Часовой расход горячей воды в умывальных каждого животноводческого помещения определяется также из расчета одновременной работы всех умывальных точек

$$V_B^y = v_y n_y, \text{ л/ч},$$

где v_y – часовой расход воды на одну умывальную точку, л/ч (принимается равным 80 л/ч); n_y – количество умывальных точек в каждом животноводческом помещении.

Результаты расчета теплового потока на горячее водоснабжение животноводческого комплекса сводятся в таблицу 1.5.

Таблица 1.5 – Результаты расчета теплового потока на горячее водоснабжение животноводческого комплекса

Помещения комплекса	Составляющие теплового потока на горячее водоснабжение (ГВС)				Тепловой поток на ГВС	Количество помещений	Тепловой поток на ГВС одинаковых помещений
	$Q_{г.в.}^{с.г.}$, кВт	$Q_{г.в.}^{п}$, кВт	$Q_{г.в.}^{д}$, кВт	$Q_{г.в.}^{у}$, кВт			

После этого определяется суммарный тепловой поток на горячее водоснабжение всего животноводческого комплекса $\sum Q_{г.в.}$.

1.3 Расчет теплового потока на технологические нужды

Суммарный поток теплоты на технологические нужды на животноводческом комплексе в общем случае включает в себя теплоту, расходуемую на кормоприготовление и на пастеризацию молока (для молочных комплексов).

Среди различных способов приготовления и подготовки кормов для животных важная роль отводится тепловой обработке, которая проводится в общем кормоцехе для всего комплекса. В этом случае тепловая энергия расходуется на запаривание корнеклубнеплодов, различных кормовых смесей и грубых кормов, а так же на заваривание, осолаживание и дрожжевание кормов. Расчеты в этом случае производятся по укрупненным нормам расхода пара и горячей воды на тепловую обработку кормов. В качестве теплоносителя наиболее часто используется водяной пар.

Тепловой поток, расходуемый на тепловую обработку кормов, рассчитывается для каждой группы животных отдельно по каждому виду корма

$$Q_{т}^{к} = \frac{0,278 \beta_2 m_k d_k h_{п} n}{24}, \text{ Вт},$$

где β_2 – коэффициент неравномерности потребления теплоты на приготовление кормов в течении суток (принимается равным 4); m_k – масса данного вида корма, подлежащего тепловой обработке в суточном рационе одного животного, кг; d_k – удельный расход пара на обработку данного вида корма, кг/кг; $h_{п}$ – энтальпия пара, используемого на технологические нужды, кДж/кг; n – количество животных данной группы на животноводческом комплексе.

Количество кормов, подлежащих тепловой обработке в суточном рационе животных, приведено в таблице 1.6, а удельный расход теплоносителя – в таблице 1.7.

Энтальпия пара определяется в зависимости от его давления в кормозапарнике (приложение 6). В аппаратах для тепловой обработки кормов лучше и экономнее использовать пар с избыточным давлением до 68,7 кПа. При большом давлении расход пара увеличивается, время запаривания кормов не уменьшается, а качество их ухудшается.

Таблица 1.6 – Количество кормов, подлежащих тепловой обработке в суточном рационе животных

Группы животных	Количество кормов для тепловой обработки на одно животное по видам, кг		
	Солома	Корнеклубнеплоды	Концентрированные корма
Коровы	4,0	–	2,5
Телята до 6 месяцев	1,5	1,0	1,1
Молодняк КРС	2,0	–	2,0
Свиньи на откорме	–	6,7	1,5
Свиноматки	–	5,0	3,0

Таблица 1.7 – Нормы расхода водяного пара и воды в процессах кормоприготовления

Процесс кормоприготовления	Вид корма	Удельный расход, кг/кг		Температура воды, °С
		Пар при давлении 68,7 кПа	Вода	
Запаривание	Корнеклубнеплоды	0,2	–	–
	Зерно	0,3...0,4	1,0...1,5	5
	Пищевые отходы	0,3...0,4	1,5...2,5	45
	Солома	0,3...0,45	1,5...2,5	45
	Мука	0,3...0,5	1,0...1,5	5
Запаривание	Солома	–	1,0...1,5	95
Осолаживание	Зерно, мука	–	1,5...2,5	90
Дрожжевание	Крахмал	–	1,5...2,0	45

После расчета теплового потока на тепловую обработку каждого вида корма для каждой группы животных находят суммарный тепловой поток на кормоприготовление для всего животноводческого комплекса $\sum Q_T^k$. На основании этого определяется часовой расход пара на тепловую обработку кормов для всего комплекса

$$D_T^k = \frac{3,6 \cdot \sum Q_T^k}{(h_p - h_k) \eta_k}, \text{ кг/ч,}$$

где h_k – энтальпия конденсата, кДж/кг; η_k – тепловой к.п.д. устройства для тепловой обработки кормов (принимается 0,85...0,90).

Энтальпия конденсата определяется в зависимости от температуры, которая обычно бывает на 10...15 °С меньше температуры пара (приложение б)

$$h_k = c_v t_k, \text{ кДж/кг,}$$

где c_v – удельная теплоемкость воды (равна 4,2 кДж/кг·°С); t_k – температура конденсата, °С.

Для сохранения пищевой и технологической ценности молока на длительный период времени его подвергают первичной обработке с целью уничтожения микроорганизмов. Такой процесс называется пастеризацией, которая обычно проводится после очистки молока. При пастеризации молоко нагревают до определенной температуры (не до кипения) с последующим охлаждением.

Кратковременная пастеризация заключается в нагреве молока до 72 °С с выдержкой при этой температуре в течении 20...30 с. При мгновенной пастеризации нагрева осуществляется до 85...90 °С без дальнейшей выдержки.

Тепловой поток, расходуемый на пастеризацию молока

$$Q_k^n = 0,278 G_m c_m (t_m'' - t_m'), \text{ Вт,}$$

где G_m – масса молока, обрабатываемого в пастеризаторе за час (производительность пастеризатора), кг/ч; c_m – удельная теплоемкость молока (равна 3,94 кДж/кг·°С); t_m'' – температура молока в конце пастеризатора, °С; t_m' – температура молока до пастеризации, °С (для охлажденного 5 °С, для молока сразу после дойки 35 °С).

В настоящее время применяются пастеризаторы, имеющие производительность 1000...2000 кг/ч.

Часовой расход пара на пастеризацию молока

$$D_T^n = \frac{3,6 \cdot \sum Q_T^n}{(h_n - h_k) \eta_n}, \text{ кг/ч,}$$

где η_n – тепловой к.п.д. пастеризатора (принимается равным 0,9...0,95).

Результаты расчета теплового потока и расхода пара на технологические нужды животноводческого комплекса сводятся в таблицу 1.8.

Таблица 1.8 – Результаты расчета теплового потока и расхода пара на технологические нужды

Группы животных на комплексе	Количество голов на комплексе	Тепловой поток, кВт		Расход пара, кг/ч	
		на кормоприготовление	на пастеризацию	на кормоприготовление	на пастеризацию

После этого определяется суммарный тепловой поток на технологические нужды $\sum Q_T$ и суммарный расход пара на технологические нужды для всего животноводческого комплекса $\sum D_T$.

На основании расчетов тепловых потоков на отопление, горячее водоснабжение и технологические нужды всего животноводческого комплекса определяется суммарная тепловая нагрузка

$$\sum Q = \sum Q_{от} + \sum Q_{г.в} + \sum Q_T.$$

2 Расчет и подбор оборудования для отопления животноводческого комплекса

Наибольшее распространение в животноводческих помещениях получили системы воздушного отопления, совмещенные с подачей свежего приточного воздуха. Параметры воздуха и схемы его подачи в животноводческое помещение определяются количеством теплоты, необходимой для поддержания теплового баланса, а так же конструктивными особенностями помещения, технологией содержания животных и другими факторами, зависящими от конкретных условий.

В составе отопительно-вентиляционной системы особое значение имеет теплоисточник. Теплогенераторы используются при децентрализованном теплоснабжении мелких животноводческих ферм. Электрокалориферные установки – для создания микроклимата в помещениях для содержания молодняка. Водяные и паровые калориферы применяются при системах теплоснабжения от паровых или водогрейных котельных. Исходными данными для расчета и выбора теплоисточника являются необходимая тепловая мощность и расход вентиляционного воздуха. Наибольшее применение в практике благодаря компактности и высокой производительности получили паровые и водяные калориферы.

В родильных отделениях и помещениях для содержания молодняка животных дополнительно к устройствам, служащим для нагрева приточного воздуха, применяются системы центрального водяного или парового отопления с различными нагревательными приборами. В административно-бытовых помещениях используют так же центральные системы отопления с нагревательными приборами.

Центральные системы отопления конструктивно выполняются так, что генератор теплоты располагается вне отапливаемых помещений, а в помещения теплоноситель подается по системе трубопроводов. От одного генератора теплоты отапливаются все здания животноводческого комплекса.

Одним из основных преимуществ парового отопления является меньший расход по массе трубопроводов, чем в системе водяного отопления, а, следовательно, меньше капиталовложения в систему отопления. Вторым преимуществом является то, что коэффициент теплопередачи отопительного прибора при паре больше этого коэффициента при воде, что ведет к уменьшению площади поверхности прибора. Однако при паровой системе отопления имеет место слишком высокая температура поверхности нагревательных приборов (температура пара 120...130 °С), что приводит к возгонке органической пыли, находящейся в помещениях. Кроме того невозможно плавное регулирование теплоотдачи отопительных приборов при изменении температуры окружающего воздуха. В помещениях животноводческих комплексов возможно применение системы парового отопления только при условии, что в них нет пылевыведения, а регулирование теплоотдачи отопительных приборов осуществляется периодическим отключением системы на какое-то время.

2.1 Расчет калориферов отопительно-вентиляционной системы

Калориферы – это приборы для подогрева воздуха в системах воздушного отопления, системах вентиляции, кондиционирования воздуха и в сушильных установках. В сельском хозяйстве их используют для воздушного отопления различных производственных помещений: теплиц, животноводческих ферм, птичников, ремонтных мастерских, ангаров, для нагрева воздуха в установках для сушки и активного вентилирования продукции растениеводства, в установках кондиционирования воздуха и для других технологических целей.

Наибольшее применение в практике благодаря компактности и высокой производительности получили паровые (КП) и водяные (КВ) калориферы. Принцип работы калорифера следующий: воздух, нагнетаемый вентилятором, проходит через теплообменник, в котором нагревается за счет теплоты горячей воды или пара.

По характеру движения теплоносителя калориферы делят на однокоридные, в которых теплоноситель движется сразу по всем трубкам в одном направлении, и многокоридные, в которых теплоноситель неоднократно изменяет направление движения.

По виду поверхности теплообмена калориферы бывают гладкотрубчатыми и ребристыми. В ребристых калориферах наружная поверхность труб имеет оребрение, вследствие чего площадь поверхности теплообмена увеличивается. В настоящее время применяются в основном ребристые калориферы, серийно выпускаемые отечественной промышленностью [14]. В зависимости от вида ребер и способа их создания различают:

- пластинчатые калориферы, в которых ребра образованы стальными пластинами, плотно посаженными на трубы. Трубы калориферов при этом могут иметь круглое или овальное сечение, а пластины могут охватывать одну или несколько труб и по своей форме быть прямоугольными или круглыми;
- спирально-навивные калориферы, в которых ребра образованы навивкой стальной ленты. При этом за счет большого усилия при навивке обеспечивается плотный контакт между трубой и лентой, что улучшает условия теплоотдачи;
- спирально-накатные калориферы, в которых ребра образованы накаткой алюминиевой трубы. При этом за счет большого давления на алюминиевую трубу при накатке обеспечивается очень плотный контакт между алюминиевой и стальной трубой, что значительно улучшает условия теплоотдачи.

По количеству рядов труб калориферы делят на две модели: средние (С) – с тремя рядами труб и большие (Б) с четырьмя рядами труб. Каждая модель подразделяется на 12 номеров, которые определяют габаритные и присоединительные размеры [6].

В условное обозначение калорифера входит наименование типа, модели, номера калорифера и тип конструкции оребрения. Например, КВС10-П – калорифер пластинчатый, для воды, средней модели, №10. Стоит отметить, что буквы С и Б используют при маркировке пластинчатых калориферов, тогда как в марках спирально-накатных калориферов вместо этих букв приводят число рядов (цифры 3 или 4).

В отопительно-вентиляционных системах животноводческих помещений обычно используются калориферы КВС-П и КВБ-П, предназначенные для работы с использованием горячей воды. Технические данные калориферов приведены в таблице 2.1 [4].

Таблица 2.1 – Технические данные калориферов КВС-П и КВБ-П

Номер калорифера	Площадь поверхности нагрева, м ²		Площадь живого сечения, м ²		
	КВС-П	КВБ-П	по воздуху	по теплоносителю	
				КВС-П	КВБ-П
6	11,4	15,1	0,1392	0,001159	0,001544
7	11,6	18,8	0,172	0,001159	0,001544
8	16,9	22,4	0,2048	0,001159	0,001544
9	19,56	26,0	0,2376	0,001159	0,001544
10	25,18	33,3	0,3033	0,001159	0,001544
11	72,2	95,6	0,8665	0,00235	0,0031
12	108,0	143,5	1,2985	0,00347	0,0046

При использовании в качестве теплоносителя водяного пара применяются калориферы КПС-П и КПБ-П. Это одноходовые калориферы по теплоносителю, их техническая характеристика приведена в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Технические данные калориферов КПС-П и КПБ-П

Номер калорифера	Площадь поверхности нагрева, м ²		Площадь живого сечения, м ²		
	КПС-П	КПБ-П	по воздуху	по теплоносителю	
				КПС-П	КПБ-П
6	11,4	15,14	0,267	0,00523	0,00697
7	14,16	18,81	0,329	0,00523	0,00697
8	16,92	22,44	0,392	0,00523	0,00697
9	15,56	26,0	0,455	0,00523	0,00697
10	25,08	33,34	0,581	0,00523	0,00697
11	72,0	95,63	1,66	0,0105	0,01394
12	108,0	143,5	2,49	0,01568	0,02091

Технические данные для других моделей калориферов приводятся в специальной справочной литературе или на официальных сайтах разных заводов-изготовителей.

В зависимости от требуемого количества теплоты и условий работы калориферной установки подбирается модель, номер и количество калориферов. По отношению к проходящему через калориферы воздуху они могут устанавливаться параллельно или последовательно. Для нагрева значительных объемов воздуха при небольшом перепаде температур применяется параллельная установка калориферов. Когда надо нагреть воздух на 40 °С и больше, калориферы устанавливаются последовательно. Присоединение калориферов к водяным тепловым сетям так же осуществляется по параллельной или последовательной схемам, а к паровым сетям – только по параллельной схеме.

Расчет и подбор калориферов производится в следующей последовательности [2].

Расчетная тепловая мощность калориферной установки в тех животноводческих помещениях, где система отопления совмещена с системой вентиляции, принимается равной тепловому потоку на отопление данного помещения, определенному из уравнения теплового баланса

$$Q_{к.у.}^p = Q_{от}.$$

Для тех помещений, в которых используется центральное водяное отопление, тепловая мощность калориферной установки принимается равной тепловому потоку, идущему на нагрев приточного воздуха

$$Q_{к.у.}^p = Q_v.$$

Конечная температура подогретого воздуха на выходе из калориферной установки

$$t_k = t_n + \frac{3,6 Q_{к.у.}^p}{L_p \rho c}, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Расчетная площадь живого сечения калорифера для прохода воздуха

$$f_p = \frac{L_p \rho}{3600 (v\rho)^p}, \text{ м}^2,$$

где $(v\rho)^p$ – расчетная массовая скорость воздуха, $\text{кг/с}\cdot\text{м}^2$.

Под массовой скоростью понимают массу воздуха, проходящего за 1 с. через 1 м^2 площади живого сечения калорифера. С увеличением массовой скорости повышается коэффициент теплопередачи калорифера, но возрастает и сопротивление прохода воздуха. По экономическим соображениям массовая скорость воздуха принимается для водяных калориферов $7 \dots 10 \text{ кг/с}\cdot\text{м}^2$, для паровых – $3 \dots 7 \text{ кг/с}\cdot\text{м}^2$.

Исходя из расчетной площади живого сечения калорифера по техническим данным (таблицы 2.1. и 2.2), подбирают модель и номер калорифера с площадью живого сечения по воздуху близкой к расчетной. При параллельной установке нескольких калориферов учитывается их суммарная площадь живого сечения.

По действительной площади живого сечения калорифера определяется действительная массовая скорость воздуха

$$(v\rho) = \frac{L_p \rho}{3600 f m}, \text{ кг/с}\cdot\text{м}^2,$$

где m – количество калориферов, установленных параллельно.

Для водяных калориферов определяется скорость горячей воды в трубках калорифера:

$$w = \frac{Q_{к.у.}^p}{10^3 c_v \rho_v (t_g - t_o) f_{тр}}, \text{ м/с},$$

где c_v – удельная массовая теплоемкость воды ($4,19 \text{ кДж/кг}\cdot^\circ\text{C}$); ρ_v – плотность воды при ее средней температуре, кг/м^3 ; t_g и t_o – температура воды на входе в

калорифер и выходе из него, °С; $f_{тр}$ – площадь живого сечения трубок калорифера по теплоносителю, м² (таблица 2.1).

Коэффициент теплопередачи k для выбранной модели калорифера определяется в зависимости от значения массовой скорости воздуха, вида теплоносителя и его скорости (для воды). Расчет производится по эмпирическим зависимостям, полученным на основании обобщения опытных данных (таблица 2.3).

Таблица 2.3 – Расчетные зависимости для коэффициента теплопередачи и аэродинамического сопротивления калориферов

Марка калорифера	Коэффициент теплопередачи, Вт/м ² ·°С		Сопротивление одного калорифера, Па
	Пар	Вода	
КВБ	$17,75(v\rho)^{0,351}$	$17,75(v\rho)^{0,343}w^{0,149}$	$1,485(v\rho)^{1,69}$
КЗПП	$14,1(v\rho)^{0,368}$	$12,9(v\rho)^{0,393}w^{0,106}$	$1,2(v\rho)^{1,76}$
К4ПП	$11,6(v\rho)^{0,42}$	$10,5(v\rho)^{0,446}w^{0,034}$	$1,72(v\rho)^{1,75}$
КФСО	$18,55(v\rho)^{0,49}$	$16,55(v\rho)^{0,501}w^{0,122}$	$3,29(v\rho)^{2,01}$
КФБО	$16,5(v\rho)^{0,455}$	$14,75(v\rho)^{0,517}w^{0,138}$	$4,23(v\rho)^{1,94}$
КВС-П	–	$20,8(v\rho)^{0,32}w^{0,13}$	$2,16(v\rho)^{1,62}$
КВБ-П	–	$19,7(v\rho)^{0,32}w^{0,13}$	$2,75(v\rho)^{1,65}$
КЗВП	–	$12,9(v\rho)^{0,395}w^{0,106}$	$1,2(v\rho)^{1,76}$
К4ВП	–	$10,5(v\rho)^{0,446}w^{0,34}$	$1,72(v\rho)^{1,75}$

Фактический тепловой поток, передаваемый калориферной установкой нагреваемому воздуху:

$$Q'_{к.у} = kFm(t'_{cp} - t_{cp}), \text{ Вт},$$

где k – коэффициент теплопередачи, Вт/м²·°С; F – площадь поверхности нагрева одного калорифера, м² (таблица 2.1, 2.2); t'_{cp} – средняя температура теплоносителя в калорифере, °С; t_{cp} – средняя температура воздуха в калорифере, °С.

Если в качестве теплоносителя используется вода, то

$$t'_{cp} = \frac{t_r + t_o}{2}, \text{ °С}.$$

Если теплоносителем является насыщенный пар с избыточным давлением $p \leq 29,4$ кПа, то $t'_{cp} = 100$ °С; при большем давлении t'_{cp} принимают равной соответствующей температуре насыщения пара (приложение б).

Средняя температура нагреваемого воздуха:

$$t_{cp} = \frac{t_k + t_n}{2}.$$

В том случае, если фактический тепловой поток калориферной установки меньше чем это требуется по расчету, то принимается последовательная установка калориферов той же модели и того же номера. Количество последовательно установленных калориферов:

$$n = \frac{Q^p_{к.у}}{Q'_{к.у}}.$$

округляется до целого значения в большую сторону.

Общий тепловой поток калориферной установки равен

$$Q_{к.у} = Q'_{к.у} \cdot n .$$

Запас калориферной установки по тепловой мощности:

$$\frac{Q_{к.у} - Q_{к.у}^p}{Q_{к.у}^p} \cdot 100 \% .$$

Тепловая мощность калориферной установки должна быть на 15...20% больше расчетного теплового потока на нагрев воздуха. В противном случае расчет повторяют, выбрав калорифер другого номера (а может быть, и другой модели) или несколько последовательно установленных калориферов. Излишний запас мощности увеличивает опасность замерзания калорифера в холодный период года.

Аэродинамическое сопротивление одного ряда последовательно установленных калориферов определяется по эмпирическим зависимостям (таблица 2.3). При последовательной установке нескольких одинаковых калориферов их аэродинамическое сопротивление равно

$$P_{к.у} = n \cdot P ,$$

где P – аэродинамическое сопротивление одного ряда калориферов, Па.

2.2 Расчет вентилятора отопительно-вентиляционной системы

Вентиляция – это обмен воздухом в помещениях для удаления избытков теплоты, влаги и других веществ с целью обеспечения допустимых метеорологических условий и чистоты воздуха, требуемых по санитарно-гигиеническим или технологическим условиям. Различают вентиляцию *естественную* (воздух помещения обменивается с наружным воздухом через специальные каналы, а также через окна, щели в притворах окон, дверей и т.д. – за счет разности плотностей наружного и внутреннего воздуха) и *механическую* (воздух побуждается к движению с помощью вентиляторов).

Вентиляторы – это установки, которые служат для перемещения воздуха или других газов при общем напоре не более 15 кПа. По принципу работы и конструктивным особенностям они подразделяются на осевые и радиальные (центробежные).

Осевые вентиляторы отличаются большой подачей и сравнительно низким давлением (до 350 Па). Осевые вентиляторы по сравнению с центробежными имеют меньшую массу, компактны, их можно включать непосредственно в сеть воздуховодов. Однако они при работе создают большой шум и не способны преодолевать большие сопротивления.

Широкое распространение в отопительно-вентиляционных системах производственных (в данном случае для животноводческих помещений), общественных и жилых зданий получили центробежные вентиляторы серии ВЦ 4-70. Эти вентиляторы обладают высокими аэродинамическими качествами и бесшумны в работе. Технические данные вентиляторов серии ВЦ 4-70 приведены в приложении 7 [1].

В зависимости от развиваемого давления центробежные вентиляторы бывают низкого (до 1 кПа), среднего (от 1 до 3 кПа) и высокого (от 3 до 15 кПа) давления. Центробежные вентиляторы низкого и среднего давления используют при общеобменной и местной вентиляции, кондиционировании воздуха. Вентиляторы высокого давления применяют главным образом для технологических целей.

Подбор вентилятора выполняется по производительности и полному давлению, обеспечивающему преодоление аэродинамического сопротивления всей отопительно-вентиляционной системы [2].

Расчетная производительность вентилятора определяется по количеству воздуха, проходящего через калориферную установку

$$L_B^p = k_{\Pi} L_p \frac{273 + t_{\kappa}}{273 + t_B}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где k_{Π} – поправочный коэффициент на подсосы воздуха в воздуховодах (для стальных и пластмассовых воздуховодов длиной до 50 м $k_{\Pi} = 1,1$; в остальных случаях – $k_{\Pi} = 1,15$).

Расчетное полное давление, которое должен развивать вентилятор, определяется с учетом того, что наиболее протяженным участком отопительно-вентиляционной системы является распределительный воздуховод. При помощи этих воздуховодов осуществляется равномерное распределение нагретого воздуха по объему помещения. Широкое распространение получили пленочные распределительные воздуховоды поперечного сечения. Их количество рекомендуется применять равным количеству рядов стоек или станков для содержания животных. В этом случае потери давления в калориферной установке $P_{\text{к.у.}}$ и удвоенной потери давления в воздуховоде $2\Delta P$, то есть

$$P_B^p = 1,1(P_{\text{к.у.}} + 2\Delta P) \frac{273 + t_{\kappa}}{293} \cdot \frac{99,3}{P}, \text{ Па},$$

где 1,1 – запас давления на непредвиденные сопротивления.

При условии работы вентилятора, отличающихся от стандартных, подача и давление приводится к стандартным условиям, путем умножения на соответствующие поправочные коэффициенты.

Потеря давления в распределительном воздуховоде

$$\Delta P = P_d + P_{\text{ст}},$$

где P_d – динамическое давление воздуха в воздуховоде, Па; $P_{\text{ст}}$ – статическое давление воздуха в воздуховоде, Па.

Динамическое давление воздуха

$$P_d = \rho \frac{v^2}{2}, \text{ Па},$$

где ρ – плотность воздуха в воздуховоде при его температуре t_{κ} , кг/м³; v – скорость движения воздуха в воздуховоде (принимается равной 6...8 м/с).

Статическое давление воздуха

$$P_{\text{ст}} = \frac{1}{\mu} \rho \frac{v_0^2}{2}, \text{ Па},$$

где μ – коэффициент расхода воздуха (принимается равным 0,65); v_0 – скорость воздуха из отверстий воздуховода в помещение (рекомендуется принимать в пределах 5...8 м/с).

Определение номера вентилятора производится по технической характеристике вентилятора (приложение 7). При этом необходимо чтобы производительность (подача) и полное давление выбранного вентилятора были бы не меньше, чем расчетные.

Мощность, необходимая для привода вентилятора,

$$N_{\text{в}} = \frac{L_{\text{в}}^{\text{п}} P_{\text{в}}^{\text{п}}}{3600 \eta_{\text{в}} \eta_{\text{п}}}, \text{ Вт},$$

где $\eta_{\text{в}}$ – к.п.д. вентилятора (приложение 7); $\eta_{\text{п}}$ – к.п.д. привода (для клиноременной передачи $\eta_{\text{п}} = 0,95$; при непосредственной посадке рабочего колеса вентилятора на вал электродвигателя $\eta_{\text{п}} = 1,0$).

Установленная мощность электродвигателя

$$N_{\text{уст}} = k_3 N_{\text{в}}, \text{ Вт},$$

где k_3 – коэффициент запаса мощности, принимаемый по таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Коэффициент запаса мощности электродвигателей

Мощность на валу электродвигателя, кВт	Коэффициент запаса k_3 для вентиляторов	
	центробежных	осевых
< 0,5	1,5	1,2
от 0,5 до 1	1,3	1,15
от 1,01 до 2	1,2	1,1
от 2,01 до 5	1,15	1,05
> 5	1,1	1,05

2.3 Выбор и расчет отопительных приборов системы центрального водяного отопления

Отопительные приборы – это устройства, передающие теплоту проходящего через них теплоносителя отапливаемому помещению.

Отопительные приборы, устанавливаемые в помещениях, должны отвечать теплотехническим, санитарно-гигиеническим, технико-экономическим и другим требованиям. Они должны обеспечивать высокую интенсивность теплопередачи, характеризоваться невысокой стоимостью и небольшим расходом материалов на изготовление, быть по возможности компактными, обладать гладкой поверхностью и не ухудшать интерьер помещения. Конструкция их должна благоприятствовать массовому производству и быть удобной при монтаже и эксплуатации.

В системах водяного отопления применяют следующие отопительные приборы: чугунные, алюминиевые и биметаллические секционные радиаторы, стальные штампованные радиаторы, конвекторы, ребристые трубы, отопительные панели.

В существующих системах отопления жилых, общественных и различных производственных зданий в России наиболее широкое применение получили

чугунные радиаторы типов М-140-АО, М-140 и РД-90. Их отличает надежность к работе, хорошие теплотехнические показатели, стойкость к коррозии, долговечность. Возможность набора из отдельных секций отопительных батарей с различной нагревательной поверхностью и относительно гладкой поверхности позволяют уменьшить их загрязнение, и облегчает очистку от пыли. Основным недостатком чугунных радиаторов является их большая металлоемкость и большая доля ручного труда при изготовлении и монтаже.

Современный дизайн присущ алюминиевым и биметаллическим радиаторам. Очень хорошая теплопроводность алюминия и наличие оребрения обеспечивают высокую теплопередачу в алюминиевых радиаторах, в которых нагрев воздуха осуществляется за счет конвекции (воздух проходит снизу вверх между оребрением), а также за счет излучения горячей наружной поверхности радиатора [14].

Секция биметаллического радиатора состоит из стального закладного элемента и оребрения из алюминиевого сплава, изготовленного методом литья под давлением. Особенностью конструкции биметаллического радиатора является отсутствие контакта теплоносителя, проходящего внутри стальных труб, с алюминиевым сплавом, что обеспечивает высокую коррозионную стойкость и долговечность радиатора. Благодаря большой толщине стенок труб для прохода теплоносителя биметаллические радиаторы могут применяться в любых системах отопления практически без ограничения. К преимуществам биметаллических радиаторов относятся большие надежность, прочность и теплоотдача, длительный срок службы [14].

Стальные штампованные радиаторы типа значительно легче чугунных, дешевле и требуют меньших затрат на изготовление. Однако по сравнению с чугунными радиаторами они имеют некоторые недостатки. Основной недостаток – повышенная коррозионность, приводящая к дополнительным эксплуатационным расходам в связи с меньшим сроком эксплуатации и расходам, связанных с подготовкой теплоносителя (воды) для снижения внутренней коррозии.

Для отопления жилых, коммунально-бытовых и производственных зданий используют также конвекторы, которые представляют собой стальную или чугунную трубу диаметром 15...20 мм с плотно надетыми на нее ребрами из стальных пластин.

В ремонтных мастерских, гаражах и др., где нет интенсивного выделения пыли, в качестве нагревательного прибора используют чугунные ребристые трубы.

Наличие ребер на поверхности чугунных ребристых труб увеличивает их теплопередачу, но снижает санитарно-гигиенические качества прибора, так как между ребрами скапливается пыль, которую трудно удалять.

Нагревательные приборы в виде гладких стальных труб или сварных регистров из них применяют в культивационных, животноводческих и птицеводческих помещениях, а также в различных производственных зданиях с интенсивным выделением теплоты [2]. Такие трубы имеют длину 0,5; 0,75; 1,0; 1,5;

2,0 м и площадь поверхности нагрева одной трубы соответственно 1,0; 1,5; 2,0; 3,0 и 4,0 м².

Регистры из гладких стальных труб изготавливаются с расположением труб одна над другой в два или три ряда. Они просты в конструктивном отношении и могут быть выполнены непосредственно на монтажной площадке. Регистры труб обладают высокой прочностью, имеют высокий коэффициент теплопередачи, но занимают много места и имеют большую стоимость.

Расчет отопительных приборов сводится к определению необходимой площади поверхности приборов и их количества для поддержания необходимой температуры воздуха внутри помещения.

Для блока административно-бытовых помещений площадь поверхности отопительных приборов определяется по величине теплового потока $Q_{от}^6$, необходимого для его отопления. В этом случае тепловая мощность отопительных приборов с учетом надбавки 15% на непредвиденные теплопотери и на конструктивные особенности системы отопления (охлаждение воды в двухтрубных системах отопления, способ установки радиатора, число секций в радиаторе, схема подсоединения отопительных приборов) должна быть равна

$$Q_{пр} = 1,15 Q_{от}^6 .$$

Для животноводческих помещений, в которых имеется центральная система водяного отопления, тепловая мощность отопительных приборов принимается равной разности между тепловым потоком на отопление данного помещения $Q_{от}$ и тепловым потоком, идущим на нагрев приточного воздуха $Q_{в}$

$$Q_{пр} = 1,15(Q_{от} - Q_{в}).$$

Если $Q_{от}$ меньше чем $Q_{в}$, то для данного помещения центральная система водяного отопления не рассчитывается.

Таким образом, ориентировочно общая площадь поверхности отопительных приборов равна

$$F_{пр} = \frac{Q_{пр}}{k_{пр} (t_{пр} - t_{в})}, \text{ м}^2,$$

где $k_{пр}$ – коэффициент теплопередачи нагревательного прибора, Вт/м²·°С, определяется по таблице 2.5; $t_{пр}$ – средняя расчетная температура теплоносителя в нагревательном приборе, °С; $t_{в}$ – температура воздуха внутри помещения, °С.

Средняя температура теплоносителя в приборе

$$t_{пр} = \frac{t'_{пр} + t''_{пр}}{2}, \text{ °С},$$

где $t'_{пр}$ – температура теплоносителя при входе в прибор (принимается равной 85...95 °С); $t''_{пр}$ – температура теплоносителя на выходе из прибора (принимается равной 65...70 °С).

Количество нагревательных приборов (секций, труб)

$$n_{пр} = \frac{F_{пр}}{f_{пр}},$$

где $f_{пр}$ – площадь поверхности одной секции отопительного прибора, трубы, m^2 .

Таблица 2.5 – Значения коэффициента теплопередачи нагревательных приборов при открытой их установке [2]

Нагревательные приборы	Коэффициент теплопередачи $k_{пр}$, Вт/ $m^2 \cdot ^\circ C$					
	при разности средней температуры воды в приборе и температуры воздуха помещения, $^\circ C$			при избыточном давлении пара, кПа		
	60...70	70...80	>80	<68,7	98,1	>98,1
Чугунные радиаторы: М-140 ($f_{пр} = 0,254 m^2$) М-140-АО ($f_{пр} = 0,299 m^2$) РД-90 ($f_{пр} = 0,203 m^2$)	9,6 9,2 10,1	9,9 9,5 10,3	10 9,6 10,5	10,4 10 -	- - -	- - -
Чугунные трубы с круглыми ребрами: одна труба две трубы (одна над другой) три трубы (одна над другой)	5,8 5,3 4,7	5,8 5,3 4,7	5,8 5,3 4,7	7,0 5,8 5,3	7,5 6,3 5,6	7,8 6,5 5,8
Одна стальная труба диаметром, мм: ≤ 32 32...108 133...159	14 12,2 12,2	14,6 12,8 12,2	14,6 13,4 12,2	15,2 14 13,4	16,2 14,9 14,3	17 15,6 15
Регистры стальных труб (несколько стальных труб одна над другой) диаметром, мм: ≤ 32 > 32	12,8 10,5	12,8 10,5	13,4 10,5	14,6 12,8	15,6 13,8	16,3 14,4

Площадь поверхности гладкой стальной трубы, m^2 :

$$f_{пр} = \pi dl,$$

где d – наружный диаметр трубы, m^2 ; l – длина трубы, м.

Для отопительных приборов используют трубы, наружный диаметр которых выбирается из нормируемого ряда: 57, 76, 89, 108, 133, 159 мм.

Результаты расчета и подбора отопительного оборудования сводятся в таблицу 2.6.

Таблица 2.6 – Результаты расчета и подбора оборудования для отопления животноводческого комплекса

Помещения комплекса	Калориферная установка				Отопительный прибор	
	калорифер		вентилятор			
	модель, номер	количество	модель, номер	количество	тип прибора	количество

3 Расчет котельной установки для животноводческого комплекса

Котельная установка представляет собой комплекс устройств, предназначенных для преобразования химической энергии топлива в тепловую энергию горячей воды или пара требуемых параметров.

Котельная установка состоит из котельного агрегата и котельного вспомогательного оборудования, размещаемого в здании котельной или вне его. В состав котельного агрегата входят котел, топка, пароперегреватель, водяной экономайзер, воздухоподогреватель, обмуровка, арматура и гарнитура. К вспомогательному котельному оборудованию относятся тягодутьевые и питательные устройства, оборудование водоподготовки, топливоподдачи, системы шлакозолоудаления и золоулавливания, контрольно-измерительные приборы и средства автоматизации.

Котельные установки в зависимости от типа потребителей разделяются на энергетические, производственно-отопительные и отопительные.

Энергетические котельные установки вырабатывают пар для паровых турбин на тепловых электростанциях. Такие котельные оборудуют котлоагрегатами большой и средней мощности, которые вырабатывают пар повышенных параметров.

Производственно-отопительные котельные вырабатывают пар, используемый для технологических нужд, а также для отопления, вентиляции и горячего водоснабжения.

Отопительные котельные установки (в основном водогрейные, но они могут быть и паровыми) предназначены для обслуживания систем отопления, горячего водоснабжения и вентиляции производственных и жилых помещений.

Котельные установки классифицируют по производительности и давлению получаемого пара. Так, в энергетических котельных используются паровые котлы производительностью от 70 т/ч и выше. К котельным средней мощности относятся установки с котлами производительностью 20...70 т/ч, к котельным малой мощности – до 20 т/ч.

По величине давления получаемого пара различают котлоагрегаты низкого – до 13 кгс/см², среднего – 13...39 кгс/см² и высокого давления – до 140 кгс/см². Для электростанций строятся котлы сверхвысокого давления – 240 кгс/см².

Работу паровых котлов характеризуют следующие показатели [6]:

- паропроизводительность (мощность) котла D – количество вырабатываемого пара в кг или т в 1 с или 1 ч;
- паронапряжение поверхности нагрева D/H_k – количество пара, кг, получаемого с 1 м² поверхности нагрева за 1 ч. Эта величина является важной характеристикой, отражающей интенсивность паросъема в котле;
- параметры получаемого пара – давление P и температура t ;
- коэффициент полезного действия котла η_k – отношение количества теплоты, расходуемой на образование пара (полезная работа), ко всей затраченной теплоте, вносимой в топку с топливом. Коэффициент η_k характеризует степень использования теплоты сгорания топлива в котле.

Водогрейные котлы различаются по теплопроизводительности и температуре получаемой воды. Единицей тепловой мощности является 1 кВт, который эквивалентен тепловой энергии 860 ккал/ч. В квартальных отопительных котельных теплопроизводительность водогрейных котлов 60 тыс. кВт, или $50 \cdot 10^6$ ккал/ч. Выпускаются чугунные и стальные водогрейные котлы

Работа водогрейных котлов характеризуется теплопроизводительностью (мощностью) Q – количеством вырабатываемой теплоты в единицу времени, Вт, а также тепловым напряжением поверхности нагрева котла Q/H_k , температурой нагрева воды и коэффициентом полезного действия. Тепловое напряжение поверхности нагрева (или удельная тепловая нагрузка), Вт/м², выражает количество теплоты, передаваемой воде за единицу времени через 1 м² поверхности нагрева. Коэффициенты полезного действия как парового, так и водогрейного котла в долях единицы или в процентах [6].

В качестве водогрейных котлов в теплоснабжении животноводческого комплекса могут работать чугунные секционные котлы шатрового типа мощностью 0,5-1,1 МВт, устанавливаемые во встроенных и отдельно стоящих котельных. Вода в них нагревается до температуры 115 °С при давлении $p \leq 0,7$ МПа. К чугунным котлам такого типа с топками на твердом топливе и ручным обслуживанием относятся котлы «Универсал», «Энергия», «Тула», «Минск», «Братск» и др., оборудованные паросборниками и соответствующей арматурой. Эти котлы просты в эксплуатации, устойчивы к коррозии и могут запитываться водой без предварительной ее обработки. Однако они имеют высокую металлоемкость, большие габариты и низкий КПД.

Паровые котлы высокого давления типа ДКВР получили широкое применение в существующих производственно-отопительных и отопительных котельных. Для сжигания твердого топлива в слое выпускаются котельные агрегаты типа КЕ, а для сжигания жидкого и газообразного топлива – типа ДЕ. Как и котлы ДКВР они имеют номинальную паропроизводительность 2,5; 4,0; 6,5; 10 т/ч и рабочее давление пара 1,3 МПа и такую же конструктивную схему. Котельные установки с котлами высокого давления размещаются в отдельно стоящих зданиях, отделяемых от других зданий санитарно-защитной зоной.

Некоторые технические данные котлов для производственно-отопительных котельных приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Основные технические характеристики паровых котлов

Марка котла	Паропроизводительность, т/ч	Рабочее давление пара, МПа	Тепловая мощность, кВт	Площадь поверхности нагрева, м ²
1	2	3	4	5
КВ-300М	0,3	0,07	300	14
Д-721А	0,9	0,07	668	17
Е-1/9-1	1,0	0,785	740	30
ДКВР-2,5-13	2,5	1,3	1750	74,5
ДКВР-4-13	4,0	1,3	2910	120

1	2	3	4	5
ДКВР-6,5-13	6,5	1,3	4880	198
ДКВР-10-13	10,0	1,3	7560	264
КЕ-2,5-14	2,5	1,4	1630	86,3
КЕ-4-14	4,0	1,4	2650	114,5
КЕ-6,5-14	6,5	1,4	4250	176,7

3.1 Расчет теплопотребления и подбор котлов

Отопительно-производственные котельные работают, как правило, круглый год. В зимний период выработанная теплота расходуется на отопление животноводческого комплекса, на горячее водоснабжение и на покрытие технологических нужд. А летом теплота используется только для горячего водоснабжения и для технологических нужд.

Расчетная тепловая нагрузка для котельной определяется отдельно для зимнего и летнего периодов года [3]. Для зимнего периода

$$Q_{\text{зимн}}^p = 1,2(\sum Q_{\text{от}} + \sum Q_{\text{г.в}} + \sum Q_{\text{т}}), \text{ Вт},$$

где 1,2 – коэффициент запаса, учитывающий непроизводственные потери теплоты в тепловых сетях, расход теплоты на собственные нужды котельной и резерв тепловой мощности на перспективное развитие животноводческого комплекса. Суммарные тепловые потоки на отопление, горячее водоснабжение и технологические нужды определяются при расчете тепловых нагрузок.

В летний период

$$Q_{\text{летн}}^p = 1,2(\xi \sum Q_{\text{г.в}} + \sum Q_{\text{т}}),$$

где ξ – коэффициент, учитывающий снижение расхода теплоты на горячее водоснабжение в летний период по отношению к зимнему (для производственных зданий $\xi = 0,82$, для жилых и общественных – $\xi = 0,65$).

Расчетная установленная суммарная мощность всех котлов принимается по расчетной тепловой нагрузке для зимнего периода

$$Q_{\text{уст}}^p = Q_{\text{зимн}}^p.$$

При определении числа котлов необходимо руководствоваться следующим: число котлов должно быть не менее двух и не более четырех (стальных) или шести (чугунных); устанавливаются резервные котлы не допускается; котлы с одинаковым теплоносителем должны иметь одинаковые площади поверхности нагрева; допускается работа котлов с перегрузкой или недогрузкой, не превышающей 25% расчетной нагрузки. Выбирать котлы следует такой тепловой мощности, чтобы она была кратной расчетной летней тепловой нагрузке или близкой к ней. Это необходимо для того, чтобы более рационально использовать котлы, работающие в летний период.

Количество котлов, установленных в котельной

$$m = \frac{Q_{\text{уст}}^p}{Q_{\text{к}}},$$

где Q_k – тепловая мощность одного котла, кВт (таблица 3.1). Количество котлов округляется до целого значения.

Запас котельной установки по установленной мощности

$$z = \frac{Q_k m - Q_{уст}^p}{Q_{уст}^p} \cdot 100 \% .$$

Отрицательное значение запаса котельной установки по тепловой мощности говорит о работе котельной с перегрузкой, а положительное – с недогрузкой. Если недогрузка или перегрузка превышают 25%, то необходимо выбрать другие котлы и расчеты повторить.

Часовой расход топлива одним котлом определяется по выражению

$$B_p = \frac{3600 Q_k}{Q_n^p \cdot \eta_k}, \text{ кг/ч,}$$

где Q_n^p – низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг; η_k – средний к.п.д. котельной (при работе на твердом топливе принимается равным 0,6).

Низшей теплотой сгорания называют количество теплоты, выделяемой 1 кг топлива при его полном сгорании, за вычетом количества теплоты, необходимой для испарения влаги. Если условно принять, что горючие элементы в твердом и жидком топливах находятся в виде механической смеси, то можно получить формулу для оценки Q_n^p , кДж/кг. Д.И. Менделеев получил полуэмпирическое выражение:

$$Q_n^p = 339 C^p + 1030 H^p - 109 (O^p - S^p) - 25 W^p, \text{ кДж/кг,}$$

где C^p , H^p , S^p , O^p , W^p – содержание углерода, водорода, серы, кислорода в влаги в рабочем топливе, % по массе.

3.2 Расчет и подбор тягодутьевых устройств

Для сжигания топлива в котле необходимо обеспечить непрерывный подвод воздуха в топку и удаление из нее продуктов сгорания. Каждый котел должен иметь свой вентилятор и дымосос, и только при паропроизводительности котлов менее 1 т/ч допускается установка групповых тягодутьевых машин (по два дымососа и дутьевых вентилятора). Воздух в топку котла подается центробежным вентилятором, а удаление дымовых газов в современных котельных установках, имеющих сопротивление газового тракта не менее 3 кПа при их температуре 110-140 °С, осуществляется при помощи дымососов. Основные параметры тягодутьевых устройств приведены в таблице 3.2.

Тягодутьевые машины выбираются с 5% запасом по производительности и 10% запасом по давлению. Расчетная производительность (подача) дутьевого вентилятора

$$V_b^p = 1,05 B_p \alpha V_b^o \frac{273 + t_b}{273} \cdot \frac{101,3}{P}, \text{ м}^3/\text{ч,}$$

где B_p – часовой расход топлива одним котлом, кг/ч; α – коэффициент избытка воздуха; V_b^o – теоретический объем воздуха, необходимый для полного сгора-

ния топлива (одного килограмма при 0 °С и давлении 101,3 кПа), м³/кг; t_b – температура воздуха, поступающего в вентилятор, °С; P – барометрическое давление в районе расположения котельной, кПа.

Таблица 3.2 – Технические характеристики тягодутьевых устройств

Типоразмер	Подача, м ³ /ч	Давление, Па	Частота вращения, мин ⁻¹	к.п.д., %
Дутьевые вентиляторы				
ВД-6	6500	2140	1450	67
ВД-8	10000	1700	970	68
ВД-10	20000	2650	970	67
ВД-12	35000	3800	970	67
ВД-13,5	58000	4950	970	70
ВД-15,5	88000	6550	970	70
Дымососы				
Д-8	10000	1060	970	61
Д-10	20000	1650	970	61
Д-12	35000	2330	970	61
Д-13,5	60000	2350	970	63
Д-15,5	85000	3100	970	63
Д-18	105000	3100	730	70
Д-20	150000	3800	730	70

Для полного сгорания топлива в топочные устройства подводят большее, чем теоретически необходимо, количество воздуха. Отношение действительно поступившего количества воздуха, к теоретически необходимому количеству для полного сгорания топлива называют коэффициентом избытка воздуха.

Теоретический объем воздуха, необходимый для полного сгорания, определяется по уравнениям реакции окисления горючих элементов топлива с учетом того, что в воздухе содержится по объему около 21% кислорода

$$V_b^o = 0,0889 (C^p + 0,375 S^p) + 0,265 H^p - 0,0333 O^p, \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Расчетное сопротивление воздушного тракта включает в себя:

- сопротивление слоя топлива на колосниковой решетке ($P_{cl} = 0,75 \dots 0,85$ кПа);
- сопротивление воздухоподогревателя ($P_{вп} = 0,2 \dots 0,25$ кПа);
- сопротивление воздухопроводов ($P_{вв} = 0,7 \dots 0,9$ кПа).

Таким образом

$$P_b^p = 1,1(P_{cl} + P_{вп} + P_{вв}).$$

Расчетная мощность, необходимая для привода дутьевого вентилятора

$$N_b^p = \frac{V_b^p P_b^p}{3600 \eta_b}, \text{ кВт},$$

где η_b – к.п.д. вентилятора (можно принять 0,67...0,70).

По расчетной подаче и давлению (сопротивлению) на основании технической характеристики (таблица 3.2) подбирается типоразмер дутьевого вентилятора.

Расчетная производительность дымососа определяется следующим образом

$$V_d^p = 1,05 B_p [V_r^o + (\alpha - 1)V_b^o] \frac{273 + t_r}{273} \cdot \frac{101,3}{P}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где V_r^o – теоретический объем дымовых газов, получаемых при полном сгорании одного килограмма топлива, $\text{м}^3/\text{кг}$; t_r – температура дымовых газов при входе в дымосос (можно принять равной 150...200 °С).

При полном сгорании топлива

$$V_r^o = V_{\text{RO}_2}^o + V_{\text{N}_2}^o + V_{\text{H}_2\text{O}}^o + 1,0161 (\alpha - 1)V_b^o, \text{ м}^3/\text{кг}$$

где $V_{\text{RO}_2}^o$ – объем трехатомных газов, $\text{м}^3/\text{кг}$; $V_{\text{N}_2}^o$ – теоретический объем азота, $\text{м}^3/\text{кг}$; $V_{\text{H}_2\text{O}}^o$ – теоретический объем водяных паров, $\text{м}^3/\text{кг}$.

Зная состав рабочей массы топлива определим

$$V_{\text{RO}_2}^o = 0,01866 (C^p + 0,375 S^p), \text{ м}^3/\text{кг},$$

$$V_{\text{N}_2}^o = 0,79 V_b^o + 0,8 \frac{N^p}{100}, \text{ м}^3/\text{кг},$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^o = 0,111 H^p + 0,0124 W^p + 0,0161 V_b^o, \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Расчетное сопротивление дымового тракта включает в себя:

- общее сопротивление котла ($P_k = 0,1 \dots 0,3$ кПа);
- сопротивление экономайзера ($P_э = 0,06 \dots 0,08$ кПа);
- сопротивление воздухоподогревателя ($P_{вп} = 0,03 \dots 0,05$ кПа);
- сопротивление газоходов ($P_r = 0,02 \dots 0,03$ кПа);
- сопротивление золоуловителя ($P_з = 0,1 \dots 0,4$ кПа);
- сопротивление дымовой трубы ($P_t = 0,02 \dots 0,03$ кПа).

Таким образом

$$P_d^p = 1,1(P_k + P_э + P_{вп} + P_r + P_з + P_t).$$

Расчетная мощность, необходимая для привода дымососа

$$N_d^p = \frac{V_d^p P_d^p}{3600 \eta_d}, \text{ кВт},$$

где η_d – к.п.д. дымососа (можно принять равным 0,6...0,7).

По расчетной подаче и давлению на основании технической характеристики (таблица 3.2) подбираются типоразмер дымососа. Результаты расчета и подбора тягодутьевых устройств сводятся в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 – Результаты расчета и подбора тягодутьевых устройств

Тягодутьевое устройство	Расчетные параметры			Типоразмер устройства	Фактические	
	$V^p, \text{ м}^3/\text{ч}$	$P^p, \text{ кПа}$	$N^p, \text{ кВт}$		$V, \text{ м}^3/\text{ч}$	$P, \text{ кПа}$
Дутьевой вентилятор						
Дымосос						

3.3 Расчет водоподготовки, питательных устройств и сетевых насосов

Водоподготовкой называют комплекс специальных устройств, предназначенных для возмещения расходов пара и воды котельной установки. В отопительно-производственных котельных вода, поступающая из водопровода, артезианских скважин или водоемов, расходуется на восполнение потерь конденсата, пара сетевой воды на отопление и горячее водоснабжение и на собственные нужды котельной установки. В такой воде, как правило, содержатся соли металлов (кальция и магния), которые придают ей жесткость. При нагревании и испарении воды происходит выделение этих солей с образованием накипи на поверхностях котла. Накипь, имеющая низкую теплопроводность, препятствует охлаждению водой поверхностей нагрева, что приводит к перегреву металла и снижению его прочности. Наличие накипи так же приводит к повышению температуры газов, уходящих из котельного агрегата, а, следовательно, и к уменьшению его к.п.д. и увеличению расхода топлива. Поэтому с целью умягчения воды ее подвергают докотловой химической обработке с целью снижения концентрации солей жесткости.

Количество воды, происходящей химическую обработку

$$G_{x.o} = k_c(G_k + G_{под} + G_{г.в} + G_{н.п} + G_{пр}), \text{ м}^3/\text{ч},$$

где k_c – коэффициент расхода воды на собственные нужды водоподготовки ($k_c = 1,1 \dots 1,15$); G_k – потери конденсата потребителями технологических нужд, $\text{м}^3/\text{ч}$; $G_{под}$ – количество воды для подпитки тепловой сети, $\text{м}^3/\text{ч}$; $G_{г.в}$ – расход воды на горячее водоснабжение при открытой системе теплоснабжения, $\text{м}^3/\text{ч}$; $G_{н.п}$ – потери воды на непрерывную продувку котлоагрегатов, $\text{м}^3/\text{ч}$; $G_{пр}$ – прочие потери воды в котельной установке, в том числе и на собственные нужды котельной.

Потери воды при производстве пара происходят в пределах котельной за счет расхода части пара на собственные нужды – привод паровых питательных насосов, продувка котельных агрегатов, обдувка и очистка их внешних поверхностей, деаэрация воды, утечки через неплотности и другие расходы. При снабжении паром технологических потребителей часть его теряется из-за несовершенства оборудования (кормозапарников, пастеризаторов).

Потери конденсата при покрытии технологических нужд

$$G_k = 1,2 \frac{\sum D_t (1 - p)}{\rho_k}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где 1,2 – коэффициент запаса; $\sum D_t$ – суммарный расход пара на технологические нужды, $\text{кг}/\text{ч}$ (таблица 1.8); p – доля возврата конденсата от технологических потребителей (принимается равным 0,7); ρ_k – плотность конденсата, $\text{кг}/\text{м}^3$ (приложение 8).

Количество сетевой воды, подаваемой в систему отопления, должно быть увеличено на величину подпитки, которая принимается равной 1...2% от расхода сетевой воды

$$G_{под} = (0,01 \dots 0,02) G_c, \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Расход сетевой воды системы отопления

$$G_c = \frac{3600 \sum Q_{от}}{c_B \rho (t_r - t_o)}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где $\sum Q_{от}$ – суммарный тепловой поток на отопление всего животноводческого комплекса, кВт (таблица 1.3); t_r – температура воды, подаваемой в систему отопления, °С; t_o – температура обратной воды из системы отопления, °С.

Количество воды, подаваемое в открытую систему горячего водоснабжения, определяется также исходя из суммарного теплового потока на горячее водоснабжение

$$G_{г.в} = \frac{3600 \sum Q_{г.в}}{c_B \rho_B (t_{г.в} - t_x)}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где $\sum Q_{г.в}$ – суммарный тепловой поток на горячее водоснабжение, кВт (таблица 1.5); $t_{г.в}$ – расчетная температура воды на горячее водоснабжение (принимается 55 °С).

Потери воды на непрерывную продувку котлов, осуществляемую для удаления части солей и шлама из тех мест, где концентрация их наибольшая

$$G_{н.п} = \frac{\sum D_k p}{100 \rho_B}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где $\sum D_k$ – суммарная паропроизводительность всех котлов, кг/ч; p – процент непрерывной продувки (принимается 0,5...3,0%).

Прочие потери воды принимают равными 5% от ранее определенного количества воды

$$G_{пр} = 0,05(G_k + G_{под} + G_{г.в} + G_{н.п}), \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Для химической очистки воды применяют водоподготовительные установки, которые также имеют возможность производить осветление воды. В настоящее время освоен выпуск блочных водоподготовительных установок, удовлетворяющих потребностям производственно-отопительных котельных. Их технические характеристики приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Техническая характеристика блочных водоподготовительных установок

Наименование показателя	Марка установки			
	ВПУ-1	ВПУ-2,5	ВПУ-5	ВПУ-10М
Производительность, м ³ /ч	1,0	2,5	5,0	10,0
Рабочее давление исходной воды, МПа	0,4	0,4	0,4	0,6
Температура обрабатываемой воды, °С	до 40	до 40	до 40	до 40
Жесткость исходной воды, мг-экв/кг	до 5	до 5	до 5	до 5
Жесткость умягченной воды, мг-экв/кг	до 0,02	до 0,02	до 0,02	до 0,02
Масса, кг	760	970	1170	1650

Исходя из количества воды, подлежащей химической обработке, определяется количество и марка водоподготовительной установки

$$n_y = \frac{G_{x.o}}{G_y},$$

где G_y – производительность водоподготовительной установки, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Бесперебойное снабжение паровых котлов водой обеспечивается питательными устройствами, к которым относятся питательный и конденсатный бак, питательный и конденсатный насосы.

Вместимость питательного бака определяется с учетом суммарной паропроизводительности котлов и потерь воды на непрерывную их продувку

$$V_{\text{п.б}} = \frac{\sum D_{\text{к}} + G_{\text{н.п.}}}{\rho_{\text{в}}}, \text{ м}^3.$$

Роль питательного бака может выполнять резервуар термического деаэратора.

Конденсатный бак служит для сбора конденсата пара после покрытия им технологических нужд. Вместимость конденсатного бака

$$V_{\text{к.б}} = \frac{\sum D_{\text{т.р}}}{\rho_{\text{к}}}, \text{ м}^3.$$

Питательные насосы служат для подачи воды из питательного бака (деаэратора) в котлы. Для этого устанавливаются не менее двух питательных насосов, с независимыми друг от друга приводами. В качестве основного насоса используется насос с электрическим приводом, а в качестве резервного – с паровым приводом. Расчетная подача питательного насоса с электрическим приводом должна быть на 10% выше суммарной паропроизводительности всех котлов

$$G_{\text{н.э}}^{\text{р}} = \frac{1,1 \sum D}{\rho_{\text{в}}}, \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Расчетная подача парового насоса должна быть не менее 50% номинальной суммарной паропроизводительности всех котлов

$$G_{\text{н.п}}^{\text{р}} = \frac{0,5 \sum D}{\rho_{\text{в}}}, \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Расчетный напор, который должен создавать питательный насос, ориентировочно может быть определен

$$P_{\text{н}}^{\text{р}} = P_{\text{к}} + (100 \dots 200), \text{ кПа},$$

где $P_{\text{к}}$ – избыточное давление пара в котле, кПа (таблица 3.1).

По расчетным значениям подачи и напора по технической характеристике насосов (таблица 3.5) определяется марка насоса. При этом подача и напор выбранного насоса должны быть не меньше чем их расчетные значения.

Расчетная мощность, необходимая для привода питательного насоса с электроприводом

$$N_{\text{н}}^{\text{р}} = \frac{G_{\text{н.э}}^{\text{р}} P_{\text{н}}^{\text{р}}}{3600 \eta_{\text{н}}}, \text{ кВт},$$

где $\eta_{\text{н}}$ – к.п.д. выбранного насоса (таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Основные технические данные центробежных насосов

Марка насоса	Подача, м ³ /ч	Полный напор, кПа	к.п.д., %
1,5К-8/19	6...14	200...140	44...53
2К-20/18	11...22	210...170	56...66
2К-20/30	10...30	280...200	54...64
3К-9	30...54	340...270	62...71
4К-18	60...100	250...180	76...77
3КМ-6	30...61	570...450	52...67
4КМ-8	65...112	600...450	62...65
4КМ-12	65...112	380...270	67...69
6КМ-12	126...167	220...170	75...76
4НДВ-60	180...150	960...1000	
5НДВ-60	180...126	260...300	
6НДВ-60	360...216	330...420	
2,5ЦВ-0,8М	5...12	1800...700	33...49
2,5ЦВ-1,1М	10...21	1800...550	33...50
2,5ЦВ-1,3М	15...23	1800...530	40...50
2,5ЦВ-1,5М	20...30	1800...510	40...48

Конденсатный насос служит для подачи конденсата из конденсаторного бачка в питательный. Для этого используют два центробежных насоса с электроприводом (один резервный). Расчетная подача конденсатного насоса принимается равной количеству конденсата, возвращаемого в котельную за час

$$G_k^p = \frac{\sum D_{т.р}}{\rho_k}, \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Расчетный напор, который должен создавать конденсатный насос, принимается равным 150...200 кПа. После чего определяется марка конденсатного насоса (таблица 3.5) и мощность, необходимая для его привода (аналогично, как и для питательного насоса).

Для принудительной циркуляции воды в тепловых сетях в котельной устанавливают по два насоса с электрическим приводом (по одному резервному) для системы отопления и системы горячего водоснабжения. Расчетная подача сетевого насоса системы отопления принимается равной часовому расходу воды в системе отопления G_c , а подача сетевого насоса системы горячего водоснабжения – часовому количеству горячей воды $G_{г.в.}$. Напор, развиваемый сетевыми насосами, зависит от общего сопротивления тепловой сети, определяемого специальными расчетами. Ориентировочно можно принять напор для сетевого насоса системы отопления равным 200...400 кПа, а системы горячего водоснабжения – 150...300 кПа. После этого выбираются марки сетевых насосов (таблица 3.5) и определяются мощности, необходимые для привода этих насосов.

Подпиточный насос служит для компенсации утечки сетевой воды системы отопления. В котельной устанавливают два подпиточных насоса с электроприводом (один резервный). Расчетная подача подпиточного насоса принимается равной часовому количеству подпиточной воды $G_{под}$, а расчетный напор

– 200...400 кПа. Затем выбирается марка насоса (таблица 3.5) и рассчитывается мощность, необходимая для его привода.

Результаты расчета и подбора насосов сводятся в таблицу 3.6.

Таблица 3.6 – Результаты расчета и подбора насосов

Назначение насоса	Расчетные параметры			Марка насоса	Фактические	
	G^p , м ³ /ч	P^p , кПа	N^p , кВт		G , м ³ /ч	P , кПа
Питательный						
Конденсатный						
Сетевой системы отопления						
Сетевой системы ГВС						
Подпиточный						

3.4 Тепловая схема котельной

Тепловая схема котельной представляет собой условное графическое изображение основного и вспомогательного оборудования, объединяемого линиями трубопроводов для теплоносителей в соответствии с последовательностью их движения в котельной установке.

Оборудование современных котельных весьма разнообразно и поэтому выполнение их тепловых схем является также многообразным как по характеру основного и вспомогательного оборудования, так и по их числу и расположению, а также по способу выработки и отпуска теплоты, методу подготовки питательной и подпиточной воды. Тепловая схема показывает, как соединены котельные агрегаты со всем вспомогательным оборудованием по видам и параметрам теплоносителя. Эта связь на тепловой схеме изображается линиями, соответствующим различным трубопроводам. Стрелки на схеме указывают направление движения теплоносителя.

Пример выполнения принципиальной тепловой схемы отопительно-производственной котельной показан на рисунке 3.1. В этой схеме паровая часть для упрощения представлена одним котлом, все вспомогательное котельное оборудование изображено также единичными элементами. В действительности для каждого конкретного случая схема изображается с тем количеством котлов и вспомогательного оборудования, которое получено в результате расчетов.

Пар из котла 4 поступает в главный общий паропровод, из которого распределяется по отдельным потребителям. Часть его подается на технологические нужды животноводческого комплекса, а другая часть на собственные нужды котельной – на подогрев воды, поступающей в систему отопления, в систему горячее водоснабжение и воды, проходящей химическую обработку, на деаэрацию питательной и подпиточной воды и на привод парового питательного насоса.

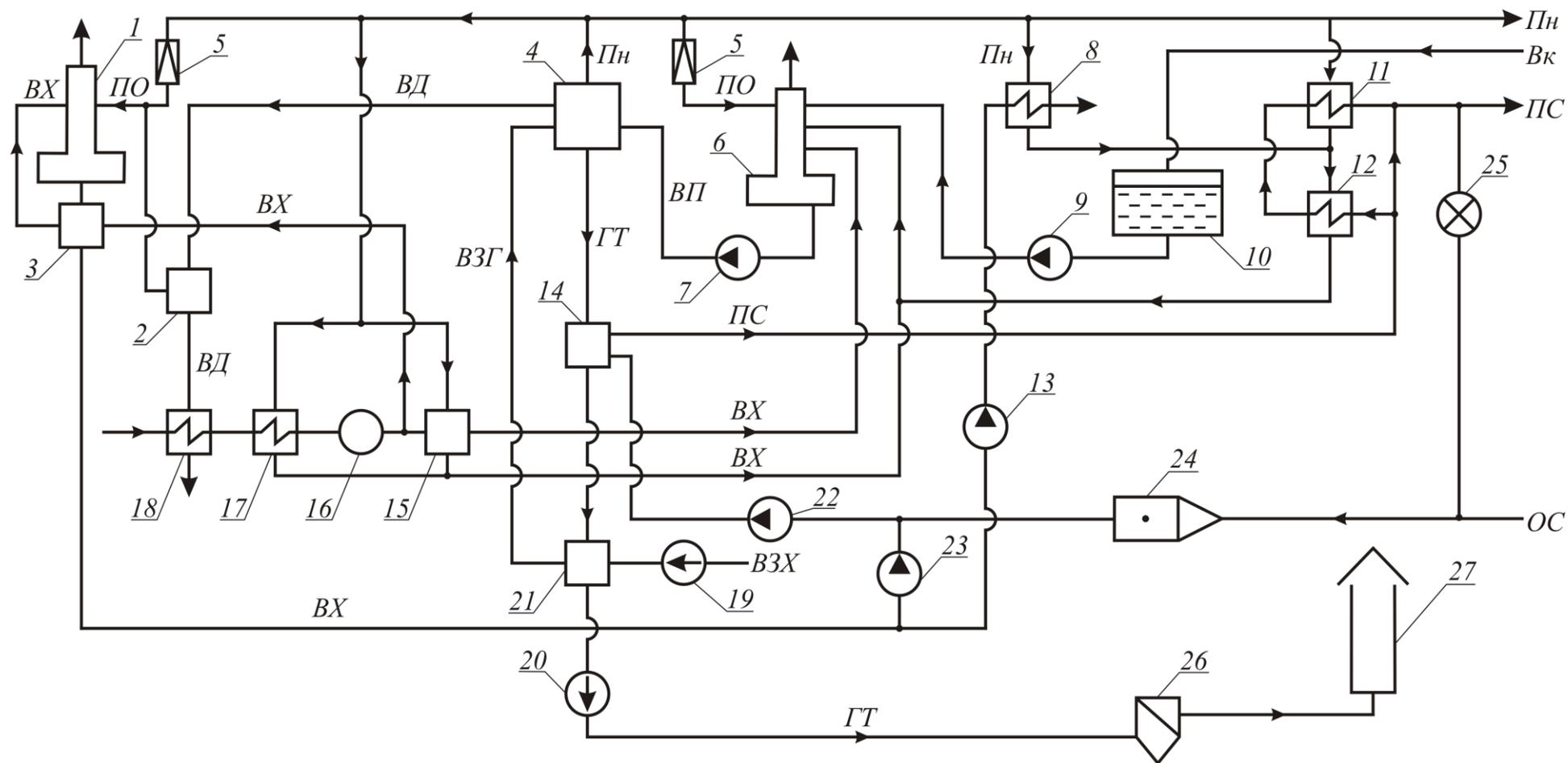


Рисунок 3.1 – Принципиальная тепловая схема котельной

1 – деаэратор подпиточной воды; 2 – сепаратор непривычной продувки; 3 – подогреватель химически очищенной воды; 4 – паровой котел; 5 – редукционная установка; 6 – деаэратор питательной воды; 7 – питательный насос; 8 – пароводяной подогреватель системы горячего водоснабжения; 9 – конденсатный насос; 10 – конденсатный бак; 11 – пароводяной подогреватель системы отопления; 12 – охладитель конденсата; 13 – сетевой насос системы горячего водоснабжения; 14 – экономайзер; 15 – пароводяной подогреватель химически очищенной воды; 16 – водоподготовительная установка; 17 – пароводяной подогреватель сырой воды; 18 – водоводяной подогреватель; 19 – дутьевой вентилятор; 20 – дымосос; 21 – воздухоподогреватель; 22 – насос системы отопления; 23 – подпиточный насос; 24 – грязевик; 25 – нагревательные приборы котельной; 26 – батарейные циклоны; 27 – дымовая труба

Пар на термические деаэратеры атмосферного типа питательной воды 6 и подпиточной воды 1 поступает через редуцирующие установки 5, которые обеспечивают снижение избыточного давления пара до 19,6 кПа.

Конденсат, возвращаемый после использования пара на технологические нужды, сливается в конденсаторный бак 10, откуда конденсатным насосом 9 перекачивается в деаэратор питательной воды 6. В этот же деаэратор под давлением греющего пара поступает конденсат от подогревателей сетевой воды системы отопления 11 и прошедший через охладитель конденсат пароводяного подогревателя сетевой воды системы отопления и системы горячего водоснабжения 12. В деаэратор 6 поступает конденсат от подогревателя сырой воды 17 и химочищенной воды 15, а также добавка химочищенной воды, восполняющая потери конденсата потребителями технологических нужд животноводческого комплекса и потери воды на непрерывную продувку котлоагрегата. Пар, прошедший редуцирующую установку 5, подается в деаэратеры 1 и 6 и нагревает в них воду до температуры 102...105 °С. При этой температуре растворенные в воде газы выделяются и вместе с небольшим количеством пара отводятся из деаэратора. Деаэрированная питательная вода питательным насосом 7 подается в котел 4.

Котловая вода непрерывной продувки из верхнего барабана котла 4 поступает в сепаратор непрерывной продувки 2, где вследствие падения давления котловая вода расширяется и частично превращается в пар, который направляется в деаэратор подпиточной воды 1, а оставшаяся котловая вода поступает в водоводяной подогреватель сырой воды 18 и затем сливается в канализацию.

Обратная сетевая вода из системы отопления, пройдя грязевик 24, забирается сетевым насосом 22, проходит через экономайзер 14, где подогревается уходящими дымовыми газами, и окончательно нагревается в охладителе конденсата 12 и в паровом подогревателе 11, после чего поступает в подающую магистраль. Часть этой воды используется в нагревательных приборах 25 для отопления здания котельной. Регулирование температуры прямой сетевой воды системы отопления осуществляется подмешиванием сетевой воды из обратного трубопровода в подающий трубопровод или путем изменения количества пара подаваемого в подогреватель 11.

Подпитка водяных тепловых сетей осуществляется из деаэратора подпиточной воды 1 через водоводяной подогреватель химочищенной воды 3 при помощи подпиточного насоса 23. Эта же вода посредством сетевого насоса горячего водоснабжения 13 подается в пароводяной подогреватель воды горячего водоснабжения 8, после чего используется на горячее водоснабжение животноводческого комплекса.

Деаэратор подпиточной воды уступает деаэратору питательной воды по качеству обработки воды, так как поверхность контакта воды с паром в нем меньше, но зато он менее чувствителен к загрязнениям и накипи, что важно при обработке воды для открытых тепловых сетей.

Сырая вода из водопровода, пройдя водоводяной подогреватель 18 и пароводяной подогреватель 17, подается в водоподготовительную установку 16, в которой осветляется и подвергается химической обработке. После этого поток

очищенной воды делится на две части: одна часть идет через подогреватель 3 в деаэратор подпиточной воды 1, а другая – через пароводяной подогреватель 15 поступает в деаэратор питательной воды 6.

Дымовые газы, отдав свою теплоту при парообразовании в котле, с температурой порядка 300...400 °С, поступают в экономайзер 14, в котором подогревают сетевую воду из системы отопления. В том случае, если теплоты газов, выходящих из экономайзера достаточно для подогрева воздуха, то они направляются в воздухоподогреватель 21 и нагревают воздух, подаваемый дутьевым вентилятором 19 в топку котла. Движение дымовых газов осуществляется под действием разряжения, создаваемого дымососом 20 и дымовой трубой 27. Очистка дымовых газов перед выбросом их в атмосферу осуществляется в батарейных циклонах 26.

Для удобства работы с тепловой схемой котельной каждый трубопровод имеет свое условное обозначение, а непосредственно в котельной поверх изоляции окрашивается краской с опознавательными кольцами или полосами (таблица 3.7).

Таблица 3.7 – Условные обозначения и окраска трубопроводов

Назначение трубопровода	Условное обозначение	Основной цвет	Цвет колец или полос
Насыщенный пар	ПН	Красный	Желтый
Пар после редуцирующей установки	ПО	Красный	Голубой
Питательная вода	ВП	Зеленый	Без колец
Химически очищенная вода	ВХ	Зеленый	Белый
Конденсат	ВК	Зеленый	Синий
Продувка и дренаж	ВД	Зеленый	Красный
Теплофикационная водяная линия			
- прямая	ПС	Зеленый	Желтый
- обратная	ОС	Зеленый	Коричневый
Горячий дутьевой воздух	ВЗГ	Черный	Желтый
Холодный дутьевой воздух	ВЗХ	Черный	Голубой
Дымовые газы	ГТ	Темно-синий	Без колец

3.5 Техничко-экономические показатели работы котельной

Оценку работы котельной и сопоставление различных вариантов котельной производят по ее технико-экономическим показателям. Основные технико-экономические показатели работы котельной могут быть разделены на количественные, качественные и экономические.

Количественными показателями, определяющими работу котельной, являются: годовой отпуск теплоты потребителям, расчетная тепловая нагрузка, установленная мощность котельной, годовой расход натурального и условного топлива, расход электроэнергии на собственные нужды котельной, годовой расход воды, штатный состав котельной.

К основным качественным показателям, характеризующим тепловую экономичность работы котельной, относятся: коэффициент использования установленной мощности котельной, удельный расход натурального и условно-

го топлива, удельный расход электрической энергии на собственные нужды, удельный расход воды.

Экономические показатели работы котельной включают в себя: годовые эксплуатационные расходы и себестоимость единицы выработанной теплоты.

Зная расчетные тепловые нагрузки животноводческого комплекса, и принимая во внимание режим работы котельной, определяется годовое количество отпущенной теплоты.

$$Q^r = Q_{от}^r + Q_{г.в}^r + Q_{т}^r, \text{ ГДж},$$

где $Q_{от}^r$, $Q_{г.в}^r$, $Q_{т}^r$ – соответственно годовое количество теплоты на отопление, горячее водоснабжение и технологические нужды, ГДж.

Годовой расход теплоты на отопление животноводческого комплекса

$$Q_{от}^r = 3,6 \cdot 10^{-3} \sum Q_{от} \frac{t_{в}^{cp} - t_{о.п}}{t_{в}^{cp} - t_{н}} 24 n_{о.п}, \text{ ГДж},$$

где $\sum Q_{от}$ – суммарный тепловой поток на отопление всего животноводческого комплекса; кВт; $t_{в}^{cp}$ – средняя расчетная температура воздуха по всем потребителям, °С; $t_{о.п}$ – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °С (приложение 2); $n_{о.п}$ – продолжительность отопительного периода (приложение 2).

Годовой расход теплоты на горячее водоснабжение животноводческого комплекса

$$Q_{г.в}^r = 3,6 \cdot 10^{-3} \sum Q_{г.в} 24 [n_{о.п} + \xi(350 - n_{о.п})], \text{ ГДж},$$

где $\sum Q_{г.в}$ – суммарный тепловой поток на горячее водоснабжение всего животноводческого комплекса; ξ – коэффициент, учитывающий снижение расхода теплоты на горячее водоснабжение в летний период по отношению к зимнему (принимается равным 0,82); 350 – количество суток в году работы системы горячего водоснабжения.

Годовой расход теплоты на технологические нужды животноводческого комплекса

$$Q_{т}^r = 3,6 \cdot 10^{-3} k_{н} \sum Q_{т.з}, \text{ ГДж},$$

где $k_{н}$ – общехозяйственный коэффициент совпадения максимума нагрузок отдельных потребителей (принимается равным 0,85...0,90); $\sum Q_{т}$ – суммарный тепловой поток на технологические нужды всего животноводческого комплекса, кВт; z – годовой фонд рабочего времени отдельных потребителей, ч (для животноводческого комплекса принимается равным 1000 часам).

Расчетная тепловая нагрузка $Q_{уст}^p$ и установленная мощность котельной $Q_{уст} = mQ_k$ определены при подборе котлов.

Годовой расход натурального топлива

$$B^r = \frac{10^6 Q^r}{Q_{н}^p \eta_k}, \text{ кг}.$$

Годовой расход условного топлива

$$B_y^r = \frac{10^6 Q^r}{Q_{н.у}^p \eta_k}, \text{ кг},$$

где $Q_{н.у}^p$ – теплота сгорания условного топлива, равная 29300 кДж/кг.

Для определения годового расхода электроэнергии на собственные нужды и годового потребления воды необходимо знать время работы котельной для выработки годового количества теплоты, если бы она все время работала при установленной тепловой мощности. Это связано с тем, что установленная мощность котельной в течении года используется не полностью, что объясняет неравномерностью потребления теплоты как в течении суток, так и в течении года. Тогда

$$\tau^r = \frac{10^3 Q^r}{3,6 Q_{уст}}, \text{ ч.}$$

Расход электроэнергии на собственные нужды складывается из расхода на привод машин, механизмов и освещения. Расход электроэнергии на выработку теплоты связан с работой тягодутьевых машин, насосов электродвигателей топливоподачи, шлакоудаления и других механизмов. Потребность электроэнергии для этих целей определяется по фактически установленной мощности работающих двигателей, числу часов работы их в году и степени загрузки. Расход электроэнергии на освещение подсчитывается по установленной мощности светильников и продолжительности их работы.

Для предварительных расчетов расход электроэнергии на освещение не рассчитывается (так как он велик), а для расчета установленной мощности электродвигателей используют удельную установленную мощность, которая зависит от величины установленной мощности котельной, и для отопительно-производственных котельных при сжигании твердого топлива в слое определяется по таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Значения удельных показателей для отопительно-производственных котельных при сжигании твердого топлива в слое

Показатели	Установленная тепловая мощность, кВт					
	2300	4600	7000	9200	11600	14000
Удельная установленная мощность электродвигателей, кВт/кВт	0,041	0,033	0,029	0,027	0,023	0,021
Коэффициент штатного персонала, чел./кВт	0,0035	0,0028	0,0025	0,0022	0,0021	0,002
Удельные капитальные затраты, руб./кВт	86,8	64,5	53,4	43,3	37,8	34,2

Годовое потребление электроэнергии на собственные нужды

$$\mathcal{E}_{с.н}^r = a_3 Q_{уст} \tau^r k_3, \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

где a_3 – удельная установленная мощность электродвигателей, кВт/кВт (таблица 3.8); τ^r – число часов работы котельной в году, ч; k_3 – коэффициент исполь-

зования мощности электродвигателей (при установленной мощности котельной от 2,3 до 11,6 МВт $k_3 = 0,6$; более 11,6 МВт – $k_3 = 0,7$).

Годовое потребление воды котельной установкой определяется на основании часового расхода воды, прошедшей через водоподготовку

$$G^r = G_{x.o} \tau^r, \text{ м}^3.$$

Штатный состав и численность персонала котельной определяется штатным расписанием, которое для каждого предприятия утверждается вышестоящей организацией. На момент проектирования определить численность персонала можно по коэффициенту штатного расписания

$$n_{\text{шт}} = a_{\text{шт}} Q_{\text{уст}}, \text{ чел.},$$

где $a_{\text{шт}}$ – коэффициент штатного персонала, чел./кВт (таблица 3.8).

Коэффициент использования установленной мощности котельной (степень загрузки котельной в течении года)

$$k_{\text{уст}} = \frac{10^3 Q^r}{3,6 \cdot 8760 Q_{\text{уст}}},$$

где 8760 – количество часов в году.

Удельный расход натурального и условного топлива на единицу выработанной теплоты является основным показателем экономичности работы котельной установки

$$b = \frac{B^r}{Q^r}, \text{ кг/ГДж},$$

$$b_y = \frac{B_y}{Q^r}, \text{ кг/ГДж}.$$

Удельный расход электроэнергии на собственные нужды

$$\varepsilon_{\text{с.н}} = \frac{\varepsilon_{\text{с.н}}^r}{Q^r}, \text{ кВт} \cdot \text{ч/ГДж}.$$

Удельный расход воды котельной

$$g = \frac{G^r}{Q^r}, \text{ м}^3/\text{ГДж}.$$

Эксплуатационные затраты котельной на производство тепловой энергии разделяются на постоянные, не зависящие от выработки теплоты, и переменные, изменяющиеся пропорционально количеству отпущенной теплоты.

К постоянным затратам относятся амортизационные отчисления на здание и оборудование котельной, отчисления на текущий ремонт, на заработную плату обслуживающего персонала и прочие расходы.

К переменным расходам относятся затраты на топливо, электроэнергию и воду.

Эксплуатационные затраты определяются за год работы котельной, поскольку условия работы меняются в зависимости от сезона

$$C^r = C_{\text{ам}} + C_{\text{т.р}} + C_{\text{з.п}} + C_{\text{т}} + C_{\text{э}} + C_{\text{в}} + C_{\text{пр}}, \text{ руб.},$$

где $C_{\text{ам}}$ – затраты на амортизацию оборудования и строений, включающие расходы на реновацию и капитальный ремонт, руб.; $C_{\text{т.р}}$ – затраты на текущий ре-

монт, руб.; $C_{з.п}$ – затраты на заработную плату персонала, руб.; C_T – затраты на топливо, руб.; $C_э$ – затраты на электроэнергию, руб.; $C_в$ – затраты на воду, израсходованную в котельной установке, руб.; $C_{пр}$ – прочие расходы, руб.

Затраты на амортизацию исчисляются определенным процентом от стоимости здания котельной, установленного в ней оборудования и монтажных работ

$$C_{ам} = C_{ам}^{зд} + C_{ам}^{об} + C_{ам}^{монт} .$$

Затраты на амортизацию здания котельной

$$C_{ам}^{зд} = Kn_{зд} M_{ам}^{зд}, \text{ руб.},$$

где K – капитальные затраты на строительство котельной, руб.; $n_{зд}$ – доля капитальных затрат на строительство здания (для отопительно-производственных котельных, работающих на твердом топливе, принимается равной 0,42); $M_{ам}^{зд}$ – норма амортизации (для зданий и сооружений источников теплоснабжения принимается равной 0,035, что соответствует 3,5%).

Капитальные затраты на строительство котельной включают в себя затраты на основное и вспомогательное оборудование, на основное здание и вспомогательные сооружения, на проектирование, строительство здания и монтаж оборудования. Для ориентировочных предварительных расчетов общие капиталовложения можно определить через удельные капитальные затраты a_k (таблица 3.8)

$$K = a_k Q_{уст}, \text{ руб.}$$

Затраты на амортизацию оборудования зависят от состава оборудования, совершенства его эксплуатации, длительности работы оборудования в течении календарного года, общего срока эксплуатации и качества топлива. С целью упрощения расчетов затраты на амортизацию основного и вспомогательного оборудования учитываются совместно

$$C_{ам}^{об} = Kn_{об} M_{ам}^{об}, \text{ руб.},$$

где $n_{об}$ – доля капитальных затрат на основное и вспомогательное оборудование (для отопительно-производственных котельных, работающих на твердом топливе, принимается равной 0,42); $M_{ам}^{об}$ – норма амортизации на оборудование (принимается в пределах от 0,087 до 0,13, что соответствует 8,7...13%).

Затраты на амортизацию монтажных работ в котельной

$$C_{ам}^{монт} = Kn_{монт} M_{ам}^{монт}, \text{ руб.}$$

где $n_{монт}$ – доля капитальных затрат на монтажные работы (для отопительно-производственных котельных, работающих на твердом топливе принимается равной 0,16); $M_{ам}^{монт}$ – норма амортизации на монтажные работы (можно принять равной норме амортизации на оборудование).

Затраты на текущий ремонт оборудования и здания можно для ориентировочных расчетов принять равными 20% затрат на амортизацию

$$C_{т.р} = 0,2C_{ам}, \text{ руб.}$$

В затратах на заработную плату учитывается поясной коэффициент оплаты отпусков, дополнительная заработная плата – премии и пр., а также отчисления в фонд социального страхования:

$$C_{з.п} = c'_{з.п} n, \text{ руб.},$$

где $c'_{з.п}$ – средняя годовая оплата труда для работников котельной, руб.

Годовые затраты на топливо

$$C_T = c'_T B_y^r, \text{ руб.},$$

где c'_T – затраты на топливо, руб./т.

Годовые затраты на электроэнергию

$$C_э = c'_э Э_{с.н}^r, \text{ руб.},$$

где $c'_э$ – стоимость одного кВт·ч электроэнергии, руб./кВт·ч.

Годовые затраты на воду

$$C_B = c'_B G^r, \text{ руб.},$$

где c'_B – стоимость 1 м³ воды, руб./м³.

Прочие производственные расходы включают затраты на возмещение износа малоценного и быстроизнашиваемого инвентаря, стоимость защитных средств и спецодежды производственного персонала, плату за использование телефоном и радиоточками и пр. и принимаются обычно в размере 3...5% от общей суммы эксплуатационных затрат.

$$C_{пр} = (0,03...0,05)(C_{ам} + C_{т.р} + C_{з.п} + C_T + C_э + C_B).$$

Себестоимость единицы выработанной теплоты – это есть обобщающий показатель, оценивающий эффективность котельной установки, а также степень использования установленного оборудования. Себестоимость единицы выработанной теплоты является определяющим показателем хозяйственной деятельности котельной. Поэтому значение величины и структуры себестоимости является необходимым условием для осуществления хозяйственного расчета и снижения расходов на эксплуатацию котельной.

Себестоимость единицы выработанной теплоты определяется путем деления общей суммы годовых затрат, связанных с работой котельной, на годовую выработку теплоты

$$c = \frac{C^r}{Q^r}, \text{ руб./ГДж.}$$

Результаты расчета технико-экономических показателей сводятся в таблицу 3.9.

Таблица 3.9 – Техничко-экономические показатели котельной

№	Показатель	Величины
1	Годовое количество отпущенной теплоты, ГДж в том числе на отопление, ГДж на горячее водоснабжение, ГДж на технологические нужды, ГДж	
2	Расчетная тепловая нагрузка, кВт	
3	Установленная мощность котельной, кВт	
4	Годовой расход натурального топлива, т	
5	Годовой расход условного топлива, т	
6	Годовое потребление электрической энергии, кВт·ч	
7	Годовое потребление воды, м ³	
8	Численность обслуживающего персонала, чел.	
9	Коэффициент использования установленной мощности	
10	Удельный расход натурального топлива, кг/ГДж	
11	Удельный расход условного топлива, кг/ГДж	
12	Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/ГДж	
13	Удельный расход воды, м ³ /ГДж	
14	Годовые эксплуатационные расходы, руб. в том числе на амортизацию, руб. на текущий ремонт, руб. на заработную плату, руб. на топливо, руб. на электроэнергию, руб. на воду, руб. прочие расходы, руб.	
15	Себестоимость тепловой энергии, руб./ГДж	

**Нормативные значения температуры и влажности внутреннего воздуха
в помещениях и зданиях для крупного рогатого скота [3, 14]**

№ п/п	Наименование зданий и помещений	Группа животных	Содержание животных	Расчетная температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	
					максимальная	минимальная
1	Коровники, здания для молодняка старше года на откорме, быков	Коровы и нетели, молодняк старше года, быки-производители, взрослый скот на откорме	В стойлах, боксах, комбибоксах, групповых клетках (при регламентированном использовании выгулов)	10	75	40
2	Здания и помещения для молодняка	Молодняк от 6 до 12 месяцев	В боксах и групповых клетках (кроме случаев, указанных в п. 3 и 4)	12	75	40
3	Коровники и здания для молодняка молочных пород (в районах с температурой наружного воздуха -25 °С и ниже)	Коровы и молодняк всех возрастов	Беспривязное содержание на глубокой подстилке с кормлением в здании	3	85	40
4	Телятники	Телята от 14-20 дней до 6 месяцев	В боксах и групповых клетках	15	75	40
5	Родильные отделения	Коровы глубоко-стельные и новостельные	Привязное содержание и в денниках	15	75	40
6	Профилактории	Телята до 20-дневного возраста	В индивидуальных клетках	17	75	40
7	Помещения для скота мясных пород	Коровы перед отелом (за десять дней), во время отела и после отела с телятами до 20-дневного возраста	Беспривязное содержание на глубокой подстилке	3	85	40

Примечания. 1. Нормы параметров внутреннего воздуха приведены для холодного и переходного периодов года (при температуре наружного воздуха ниже 10 °С). Отклонение от расчетных температур допускается в пределах ± 2 °С.

2. При расчете вентиляции в коровниках и зданиях для молодняка в самый холодный период в течение 5 дней подряд, но не более 10 дней в году допускается снижение температуры

внутреннего воздуха на 5 °С, при этом относительная влажность внутреннего воздуха может повышаться до 85%.

3. В помещениях допускается содержание углекислоты до 2,5 л/м³, аммиака – до 20 мг/м³, сероводорода – до 10 мг/м³.

Приложение 1.2

Нормативные значения температуры и влажности внутреннего воздуха в помещении для содержания свиней различных половозрастных групп [3, 14]

№ п/п	Здания и помещения для животных	Температура воздуха в помещении, °С			Относительная влажность воздуха в помещении, %	
		расчетная	максимальная	минимальная	максимальная	минимальная
1	Свинарники – помещения для холостых и супоросных маток и хряков	16	19	13	75	40
2	Помещения для поросят-отъемышей и ремонтного молодняка	20	22	18	70	40
3	Свинарник-откормочник – помещение для содержания свиней	18	20	14	75	40
4	Свинарник-маточник – помещение для тяжелосупоросных подсосных маток	20	22	18	70	40

Примечания. 1. Нормы параметров внутреннего воздуха приведены для холодного и переходного периодов года (при температуре наружного воздуха ниже 10 °С).

2. В самый холодный период допускается на срок не более 5 дней подряд и не более 10 дней в году снижение температуры внутреннего воздуха в свинарниках до 10 °С (кроме свинарников-маточников и помещений для поросят-отъемышей).

3. В помещениях для содержания животных предельная концентрация углекислоты не должна превышать 2 л/м³, аммиака – 20 мг/м³, сероводорода – 10 мг/м³.

Приложение 2

Климатические данные по городам азиатской части России [15]

Город	Отопительный период					Лето	
	Продолжительность, сут.	Температура воздуха, °С			Температура воздуха, °С		
		расчетная для проектирования	средняя отопительного периода	средняя самого холодного месяца	средняя самого жаркого месяца	средняя в 13 ч самого жаркого месяца (ориентировочно)	
отопления	вентиляции						
1	2	3	4	5	6	7	8
Барнаул	219	-39	-23	-8,3	-17,7	+19,7	+24,0
Владивосток	201	-25	-16	-4,8	-14,4	+20,0	–
Енисейск	245	-47	-28	-9,8	-22	+18,4	+22,3
Иркутск	241	-38	-25	-8,9	-20,9	+17,6	+22,6
Красноярск	235	-40	-22	-7,2	-17,1	+18,7	+24,2
Минусинск	226	-42	-27	-9,5	-21,2	+19,6	+25,1
Новосибирск	227	-39	-24	-9,1	-19,0	+18,7	+23,0

Продолжение приложения 2

1	2	3	4	5	6	7	8
Омск	220	-37	-23	-7,7	-19,2	+18,3	+23,0
Тобольск	229	-36	-22	-7,0	-18,5	+18,0	+21,6
Томск	234	-40	-25	-8,8	-19,2	+18,1	+22,5
Тюмень	220	-35	-21	-5,7	-16,6	+18,6	+22,4
Улан-Удэ	235	-38	-28	-10,6	-25,4	+19,4	+23,1
Хабаровск	205	-32	-23	-10,1	-22,3	+21,1	–
Чита	240	-38	-30	-11,6	-26,6	+18,8	–

Примечания. 1. Расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления принята равной средней температуре наиболее холодных пятидневок из восьми наиболее холодных зим за 50 лет.

2. Расчетная температура наружного воздуха для проектирования вентиляции принята равной средней температуре воздуха наиболее холодного периода, составляющего 15% общей продолжительности отопительного периода.

3. Продолжительность отопительного периода определена по числу дней с устойчивой среднесуточной температурой наружного воздуха +8 °С и ниже.

4. Средняя температура наружного воздуха отопительного периода исчислена как средняя алгебраическая за отопительный период.

Приложение 3

Поправочные коэффициенты для определения теплоты,
углекислого газа и влаги, выделяемых животными при различных
температурах в помещении [2, 3]

Температура внутри помеще- ний, °С	Коэффициент свободных тепловыделений		Коэффициент влаговывделений		Коэффициент выделений углекислого газа	
	КРС	свиньи	КРС	свиньи	КРС	свиньи
-5	1,43	1,59	0,67	0,72	1,13	1,34
0	1,21	1,25	0,76	0,85	1,08	1,14
5	1,12	1,08	0,86	0,96	1,05	1,06
10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
15	0,85	0,86	1,24	1,13	0,96	0,94
20	0,63	0,67	1,70	1,50	0,93	0,90
25	0,30	0,42	2,40	2,00	0,89	0,86

Нормы выделений животными теплоты,
углекислоты и водяных паров [3]

№ п/п	Вид животных	Живая масса, кг	Нормы выделений на одну голову		
			потока свобод- ной теп- лоты	углекис- лоты, л/ч	водяных паров, г/ч
1	2	3	4	5	6
1	Коровы стельные сухостойные и нетели за 2 месяца до отела	300	556	100	319
		400	662	119	380
		600	853	153	489
2	Коровы лактирующие при уровне лак- тации 10 л	300	593	106	340
		400	704	126	404
		500	793	142	455
		600	880	158	505
3	Коровы лактирующие при уровне лак- тации 15 л	300	683	123	392
		400	799	143	458
		500	884	158	507
		600	957	172	549
4	Волы откормочные	400	858	154	493
		600	1044	187	599
		800	1248	224	715
5	Телята в возрасте до 1 месяца	50	159	29	92
		80	235	42	135
6	Телята в возрасте от 1 до 3 месяцев	60	198	35	113
		100	309	56	177
		130	351	63	202
7	Телята в возрасте от 3 до 4 месяцев	120	340	61	195
		150	351	63	202
		200	463	89	265
8	Молодняк от 4 месяцев и старше	180	377	68	216
		250	456	82	261
		350	599	107	344
9	Хряки-производители	100	247	44	142
		200	340	61	194
		300	433	78	250
10	Матки холостые и супоросные	100	204	36	117
		150	235	42	135
		200	271	49	156
11	Матки тяжелосупоросные (за 7...10 дней до опороса)	100	242	43	139
		150	284	51	164
		200	321	58	180
12	Матки подсосные с поросятами	100	488	88	282
		150	558	100	320
		200	646	115	370
13	Поросята до двухмесячного возраста	10	72	13	42
		15	92	16	53

Продолжение приложения 4

1	2	3	4	5	6
14	Поросята-отъемыши	20	102	18	60
		30	121	22	70
15	Ремонтный и откормочный молодняк	50	155	28	89
		80	215	39	124
		120	263	47	151
16	Взрослые свиньи на откорме	100	265	48	153
		200	351	63	202

Примечания. 1. Нормы выделений животными приведены при температуре в помещении 10 °С и относительной влажности воздуха 70% для крупного рогатого скота и 70...75% для свиней.

2. При других температурах t_v нормы выделений теплоты и влаги определяются с учетом поправочных коэффициентов, указанных в приложении 3.

3. При относительной влажности воздуха 80...85% количества выделенных животными теплоты, углекислоты и водяных паров увеличиваются на 3%.

Приложение 5

Влагосодержание воздуха в зависимости от его температуры и относительной влажности

Температура воздуха, °С	Влагосодержание воздуха г/кг сух. возд. при относительной влажности, %					
	40	50	60	70	80	90
-40	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
-30	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
-20	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
-10	0,8	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4
-5	1,2	1,4	1,6	1,8	2,1	2,4
0	1,4	1,8	2,2	2,8	3,0	3,6
2	1,6	2,2	2,8	3,0	3,6	4,0
4	2,0	2,4	3,2	3,6	4,2	4,6
6	2,6	3,2	3,8	4,6	5,1	5,8
8	3,0	3,7	4,4	5,1	5,8	6,5
10	3,4	4,2	4,9	5,7	6,4	7,2
12	3,9	5,0	5,8	6,8	7,5	8,3
14	4,3	5,4	6,6	7,6	8,4	9,2
16	5,1	6,2	7,4	8,6	9,8	10,8
18	5,0	7,0	8,4	9,8	11,0	12,4
20	6,4	7,8	9,3	11,0	12,4	13,7
25	8,6	10,4	12,7	14,8	16,6	18,8
30	11,1	14,1	17,2	19,4	22,6	25,2

Термодинамические свойства воды
и водяного пара на линии насыщения [12]

Температура t , °C	Абсолютное давление p , Па	Удельный объем ки- пящей воды v' , м ³ /кг	Удельный объем сухо- го насы- щенного пара v'' , м ³ /кг	Удельная энталь- пия ки- пящей воды h' , кДж/кг	Удельная энтальпия сухого насыщен- ного пара h'' , кДж/кг	Удель- ная теп- лота ис- парения r , кДж/кг
50	$1,2335 \cdot 10^4$	0,0010121	12,048	209,26	2591,8	2382,5
51	$1,2960 \cdot 10^4$	0,0010126	11,501	213,44	2593,6	2380,2
52	$1,3612 \cdot 10^4$	0,0010131	10,982	217,62	2595,4	2377,8
53	$1,4292 \cdot 10^4$	0,0010136	10,490	221,80	2597,2	2375,4
54	$1,5001 \cdot 10^4$	0,0010140	10,024	225,98	2598,9	2372,9
55	$1,5740 \cdot 10^4$	0,0010145	9,5812	230,17	2600,7	2370,5
56	$1,6510 \cdot 10^4$	0,0010150	9,1609	234,35	2602,4	2368,1
57	$1,7312 \cdot 10^4$	0,0010156	8,7618	238,54	2604,2	2365,7
58	$1,8146 \cdot 10^4$	0,0010161	8,3831	242,72	2606,2	2363,3
59	$1,9015 \cdot 10^4$	0,0010166	8,0229	246,91	2607,7	2360,8
60	$1,9919 \cdot 10^4$	0,0010171	7,6807	251,09	2609,5	2358,4
61	$2,0859 \cdot 10^4$	0,0010177	7,3554	255,28	2611,2	2355,9
62	$2,1837 \cdot 10^4$	0,0010182	7,0458	259,46	2613,0	2353,5
63	$2,2854 \cdot 10^4$	0,0010188	6,7512	263,65	2614,7	2351,1
64	$2,3910 \cdot 10^4$	0,0010193	6,4711	267,84	2612,4	2348,6
65	$2,5008 \cdot 10^4$	0,0010199	6,2042	272,02	2618,2	2346,2
66	$2,6148 \cdot 10^4$	0,0010205	5,9502	276,21	2619,9	2343,7
67	$2,7332 \cdot 10^4$	0,0010211	5,7082	280,40	2621,6	2341,2
68	$2,8561 \cdot 10^4$	0,0010217	5,4775	284,59	2623,3	2338,7
69	$2,9837 \cdot 10^4$	0,0010205	5,2576	288,78	2625,1	2336,3
70	$3,1161 \cdot 10^4$	0,0010228	5,0479	292,97	2626,8	2333,8
71	$3,2533 \cdot 10^4$	0,0010235	4,8481	297,16	2628,5	2331,3
72	$3,3957 \cdot 10^4$	0,0010241	4,6574	301,36	2630,2	2328,8
73	$3,5433 \cdot 10^4$	0,0010247	4,4753	305,55	2631,9	2326,3
74	$3,6963 \cdot 10^4$	0,0010253	4,3015	309,74	2633,6	2323,9
75	$3,8548 \cdot 10^4$	0,0010259	4,1356	313,94	2635,3	2321,4
76	$4,0190 \cdot 10^4$	0,0010266	3,9771	318,13	2637,0	2318,9
77	$4,1890 \cdot 10^4$	0,0010272	3,8257	322,33	2638,7	2316,4
78	$4,3650 \cdot 10^4$	0,0010279	3,6811	326,52	2640,4	2313,9
79	$4,5473 \cdot 10^4$	0,0010285	3,5427	330,72	2642,1	2311,4
80	$4,7359 \cdot 10^4$	0,0010292	3,4104	334,92	2643,8	2308,9
81	$4,9310 \cdot 10^4$	0,0010299	3,2839	339,11	2645,4	2306,3
82	$5,1328 \cdot 10^4$	0,0010305	3,1629	343,31	2647,1	2303,8
83	$5,3415 \cdot 10^4$	0,0010312	3,0471	347,51	2648,8	2301,3
84	$5,5572 \cdot 10^4$	0,0010319	2,9362	351,71	2650,4	2298,7
85	$5,7803 \cdot 10^4$	0,0010326	2,8300	355,92	2652,1	2296,2
86	$6,0107 \cdot 10^4$	0,0010333	2,7284	360,12	2653,7	2293,6
87	$6,2488 \cdot 10^4$	0,0010340	2,6309	364,32	2655,4	2291,1
88	$6,4947 \cdot 10^4$	0,0010347	2,5376	368,53	2657,0	2288,5
89	$6,7486 \cdot 10^4$	0,0010354	2,4482	372,73	2658,7	2286,0
90	$7,0108 \cdot 10^4$	0,0010361	2,3624	376,94	2660,3	2283,4

Продолжение приложения 6

$t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{Па}$	$\nu', \text{м}^3/\text{кг}$	$\nu'', \text{м}^3/\text{кг}$	$h', \text{кДж/кг}$	$h'', \text{кДж/кг}$	$r, \text{кДж/кг}$
91	$7,2814 \cdot 10^4$	0,0010369	2,2801	381,15	2661,9	2280,7
92	$7,5607 \cdot 10^4$	0,0010376	2,2012	385,36	2663,5	2278,1
93	$7,8488 \cdot 10^4$	0,0010384	2,1256	389,57	2665,2	2275,6
94	$8,1460 \cdot 10^4$	0,0010391	2,0529	393,78	2666,8	2273,0
95	$8,4525 \cdot 10^4$	0,0010398	1,9832	397,99	2668,4	2270,4
96	$8,7685 \cdot 10^4$	0,0010406	1,9163	402,20	2670,0	2267,8
97	$9,0943 \cdot 10^4$	0,0010414	1,8520	406,42	2671,6	2265,2
98	$9,4301 \cdot 10^4$	0,0010421	1,7902	410,63	2673,2	2262,6
99	$9,7760 \cdot 10^4$	0,0010429	1,7309	414,85	2674,8	2259,9
100	$1,01325 \cdot 10^5$	0,0010437	1,6738	419,06	2676,3	2257,2
101	$1,0500 \cdot 10^5$	0,0010445	1,6190	423,28	2677,9	2254,6
102	$1,0878 \cdot 10^5$	0,0010453	1,5664	427,50	2679,5	2252,0
103	$1,1267 \cdot 10^5$	0,0010461	1,5157	431,73	2681,0	2249,3
104	$1,1668 \cdot 10^5$	0,0010469	1,4669	435,95	2682,6	2246,6
105	$1,2080 \cdot 10^5$	0,0010477	1,4200	440,17	2684,1	2243,9
106	$1,2504 \cdot 10^5$	0,0010485	1,3749	444,40	2685,7	2241,3
107	$1,2941 \cdot 10^5$	0,0010494	1,3315	448,63	2687,2	2238,6
108	$1,3390 \cdot 10^5$	0,0010502	1,2897	452,85	2688,8	2235,9
109	$1,3852 \cdot 10^5$	0,0010510	1,2494	457,08	2690,3	2233,2
110	$1,4326 \cdot 10^5$	0,0010519	1,2106	461,32	2691,8	2230,5
111	$1,4814 \cdot 10^5$	0,0010527	1,1733	465,55	2693,3	2227,7
112	$1,5316 \cdot 10^5$	0,0010536	1,1373	469,78	2694,8	2225,0
113	$1,5832 \cdot 10^5$	0,0010544	1,1025	474,02	2696,3	2222,3
114	$1,6361 \cdot 10^5$	0,0010553	1,0691	478,26	2697,8	2219,5
115	$1,6905 \cdot 10^5$	0,0010562	1,0369	482,50	2699,3	2216,8
116	$1,7464 \cdot 10^5$	0,0010570	1,0058	486,74	2700,8	2214,1
117	$1,8038 \cdot 10^5$	0,0010579	0,97583	490,98	2702,2	2211,2
118	$1,8628 \cdot 10^5$	0,0010588	0,94648	495,22	2703,7	2208,5
119	$1,9233 \cdot 10^5$	0,0010597	0,91896	499,47	2705,2	2205,2
120	$1,9854 \cdot 10^5$	0,0010606	0,89202	503,7	2706,6	2202,9
121	$2,0491 \cdot 10^5$	0,0010615	0,86603	508,0	2708,1	2200,1
122	$2,1145 \cdot 10^5$	0,0010625	0,84092	512,2	2709,5	2197,3
123	$2,1815 \cdot 10^5$	0,0010634	0,81617	516,5	2710,9	2194,4
124	$2,2503 \cdot 10^5$	0,0010643	0,79330	520,7	2712,3	2191,6
125	$2,3209 \cdot 10^5$	0,0010652	0,77067	525,0	2713,8	2188,8
126	$2,3932 \cdot 10^5$	0,0010662	0,74884	529,2	2715,2	2186,0
127	$2,4674 \cdot 10^5$	0,0010671	0,72771	533,5	2716,6	2183,1
128	$2,5434 \cdot 10^5$	0,0010681	0,70732	537,8	2717,9	2180,1
129	$2,6213 \cdot 10^5$	0,0010690	0,68760	542,0	2719,3	2177,3
130	$2,7012 \cdot 10^5$	0,0010700	0,66851	546,3	2720,7	2174,4
131	$2,7830 \cdot 10^5$	0,0010710	0,65007	550,6	2722,1	2171,5
132	$2,8668 \cdot 10^5$	0,0010720	0,63223	554,8	2723,4	2168,6
133	$2,9527 \cdot 10^5$	0,0010730	0,61498	559,1	2724,8	2165,7
134	$3,0406 \cdot 10^5$	0,0010740	0,59827	563,4	2726,1	2162,7
135	$3,1306 \cdot 10^5$	0,0010750	0,58212	567,7	2727,4	2159,7

Технические характеристики вентиляторов серии ВЦ 4-70 [1, 18]

Модель вентилятора	Производительность, м ³ /ч	Полное давление, Па	Электродвигатель			КПД, %
			Частота вращения, об/мин	Установленная мощность, кВт	Тип электродвигателя	
1	2	3	4	5	6	7
ВЦ 4-70-2,5	380-880	63-117	1500	0,12	АИР56А4	73,6
		400-880		90-150	0,18	
	400-900	100-170		0,18	АИР56В4	
		120-190		0,18	АИР56В4	
		160-230		0,18	АИР56В4	
	800-1800	270-490	3000	0,37	АИР63А2	
		370-610		0,55	АИР63В2	
		410-710		0,55	АИР63В2	
		500-800		0,75	АИР71А2	
	900-1800	660-980		0,75	АИР71А2	
ВЦ 4-70-3,15	760-1900	95-192	1500	0,18	АИР56А4	75,5
		120-240		0,18	АИР56А4	
		140-275		0,25	АИР63А4	
		180-310		0,25	АИР63А4	
		200-380		0,37	АИР63В4	
	1600-4000	400-820	3000	1,1	АИР71В2	
		730-1050		1,5	АИР80А2	
		600-1200		1,5	АИР80А2	
		850-1300		2,2	АИР80В2	
		1100-1700		2,2	АИР80В2	
ВЦ 4-70-4	1200-2600	68-140	1000	0,18	АИР63А6	77,6
		90-172		0,25	АИР63В6	
		110-210		0,37	АИР71А6	
		130-225		0,37	АИР71А6	
		170-270		0,37	АИР71А6	
	1800-4000	180-340	1500	0,55	АИР71А4	
		230-415		0,75	АИР71В4	
		280-500		0,75	АИР71В4	
		300-550		1,5	АИР80В4	
		400-680		1,5	АИР80В4	
	3700-9000	800-1700	3000	5,5	АИР100L2	
		1000-1900		5,5	АИР100L2	
		1200-2100		5,5	АИР100L2	
	4000-9000	1300-2300		7,5	АИР112М2	
		1500-2600		7,5	АИР112М2	
ВЦ 4-70-5	2500-5600	120-230	1000	0,55	АИР71В6	80,0
		160-290		0,55	АИР71В6	
		200-340		0,75	АИР80А6	
		250-375		1,1	АИР80В6	
		300-460		1,1	АИР80В6	

Продолжение приложения 7

1	2	3	4	5	6	7
ВЦ 4-70-5	3800-8500	290-550	1500	1,5	АИР80В4	80,0
		380-700		2,2	АИР90Л4	
		450-800		2,2	АИР90Л4	
		580-900		3	АИР100S4	
		700-1100		3	АИР100S4	
ВЦ 4-70-6,3	5000-11000	200-380	1000	1,5	АИР90Л6	80,5
		260-480		2,2	АИР100Л6	
		320-550		2,2	АИР100Л6	
		390-620		3	АИР112МА6	
		500-740		3	АИР112МА6	
	7500-17500	480-890	1500	4	АИР100Л4	
		600-1100		5,5	АИР112М4	
		760-1300		7,5	АИР132S4	
		900-1450		11	АИР132М4	
		1150-1750		11	АИР132М4	
ВЦ 4-70-8	8000-17000	200-380	750	3	АИР112МВ8	80,0
		260-460		4	АИР132S4	
		310-570		4	АИР132S4	
	10000-24000	350-630	1000	5,5	АИР132S6	
		420-800		5,5	АИР132S6	
		520-940		7,5	АИР132М6	
ВЦ 4-70-10	15000-30000	360-530	750	5,5	АИР132М8	80,0
		480-700		7,5	АИР160S8	
		600-850		7,5	АИР160S8	
	20000-41000	760-1000	1000	11	АИР160S6	
		950-1300		15	АИР160М6	
		1100-1500		22	АИР200М6	
ВЦ 4-70-12,5	29500-60000	960-1280	750	18,5	АИР200М8	80,0
				22	АИР200Л8	
				30	АИР225М8	

Физические свойства воды на линии насыщения

t , °C	$p \cdot 10^{-5}$, Па	ρ , кг/м ³	h , кДж/кг	c_p , кДж/кг·К	$\lambda \cdot 10^{-2}$, Вт/м·К	$\alpha \cdot 10^8$, м ² /с	$\mu \cdot 10^6$, Па·с	$\nu \cdot 10^6$, м ² /с	$\beta \cdot 10^4$, 1/К	$\sigma \cdot 10^4$, Н/м	Pr
0	0,006108	999,9	0	4,212	55,1	13,1	1788	1,789	-0,63	756,4	13,67
10	0,012271	999,7	42,04	4,191	57,4	13,7	1306	1,306	+0,70	741,6	9,52
20	0,02337	998,2	83,91	4,183	59,9	14,3	1004	1,006	1,82	726,9	7,02
30	0,04241	995,7	125,7	4,174	61,8	14,9	801,5	0,805	3,21	712,2	5,42
40	0,07375	992,2	167,5	4,174	63,5	15,3	653,3	0,659	3,87	696,5	4,31
50	0,12335	988,1	209,3	4,174	64,8	15,7	549,4	0,556	4,49	676,9	3,54
60	0,1992	983,1	251,1	4,179	65,9	16,0	469,9	0,478	5,11	662,2	2,98
70	0,3116	977,8	293,0	4,187	66,8	16,3	406,1	0,415	5,70	643,5	2,55
80	0,4736	971,8	355,0	4,195	67,4	16,6	355,1	0,365	6,32	625,9	2,21
90	0,7011	965,3	377,0	4,208	68,0	16,8	314,9	0,326	6,95	607,2	1,95
100	1,0132	958,4	419,1	4,220	68,3	16,9	282,5	0,295	7,52	588,6	1,75
110	1,43	951,0	461,4	4,233	68,5	17,0	259,0	0,272	8,08	569,0	1,60
120	1,98	943,1	503,7	4,250	68,6	17,1	237,4	0,252	8,64	548,4	1,47
130	2,70	934,8	546,4	4,266	68,6	17,2	217,8	0,233	9,19	528,8	1,36
140	3,61	926,1	589,1	4,287	68,5	17,2	201,1	0,217	9,72	507,2	1,26
150	4,76	917,0	632,2	4,313	68,4	17,3	186,4	0,203	10,3	486,6	1,17
160	6,18	907,0	675,4	4,346	68,3	17,3	173,6	0,191	10,7	466,0	1,10
170	7,92	897,3	719,3	4,380	67,9	17,3	162,8	0,181	11,3	443,4	1,05
180	10,03	886,9	763,3	4,417	67,4	17,2	153,0	0,173	11,9	422,8	1,00
190	12,55	876,0	807,8	4,459	67,0	17,1	144,2	0,165	12,6	400,2	0,96
200	15,55	863,0	852,5	4,505	66,3	17,0	136,4	0,158	13,3	376,7	0,93
210	19,08	852,8	897,7	4,555	65,5	16,9	130,5	0,153	14,1	354,1	0,91
220	23,20	840,3	943,7	4,614	64,5	16,6	124,6	0,148	14,8	331,6	0,89
230	27,98	827,3	990,2	4,681	63,7	16,4	119,7	0,145	15,9	310,0	0,88
240	33,48	813,6	1037,5	4,756	62,8	16,2	114,8	0,141	16,8	285,5	0,87
250	39,78	799,0	1085,7	4,844	61,8	15,9	109,9	0,137	18,1	261,9	0,86
260	46,94	784,0	1135,7	4,949	60,5	15,6	105,9	0,135	19,7	237,4	0,87
270	55,05	767,9	1185,7	5,070	59,0	15,1	102,0	0,133	21,6	214,8	0,88
280	64,19	750,7	1236,8	5,230	57,4	14,6	98,1	0,131	23,7	191,3	0,90
290	74,45	732,3	1290,0	5,485	55,8	13,9	94,2	0,129	26,2	168,7	0,93
300	85,92	712,5	1344,9	5,736	54,0	13,2	91,2	0,128	29,2	144,2	0,97
310	98,70	691,1	1402,2	6,071	52,3	12,5	88,3	0,128	32,9	120,7	1,03
320	112,90	667,1	1462,1	6,574	50,6	11,5	85,3	0,128	38,2	98,10	1,11
330	128,65	640,2	1526,2	7,244	48,4	10,4	81,4	0,127	43,3	76,71	1,22
340	146,08	610,1	1594,8	8,165	45,7	9,17	77,5	0,127	53,4	56,70	1,39
350	165,37	574,4	1671,4	9,504	43,0	7,88	72,6	0,126	66,8	38,16	1,60
360	186,74	528,0	1761,5	13,984	39,5	5,36	66,7	0,126	109	20,21	2,35
370	210,53	450,5	1892,5	40,321	33,7	1,86	56,9	0,126	164	4,709	6,79

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вентиляторы радиальные низкого давления ВЦ 4-70: технические характеристики [Электронный ресурс] / Тепломах. Электрон. дан. Режим доступа: <http://teplomash.nt-rt.ru>.
2. Захаров А.А. Практикум по применению теплоты в сельском хозяйстве: учебное пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1985. 175 с.
3. Захаров А.А. Применение теплоты в сельском хозяйстве: учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1986. 288 с.
4. Коротков Е.Н. Специализированное отопительно-вентиляционное оборудование животноводческих комплексов: учебное пособие для средних профессионально-технических училищ М.: Агропромиздат, 1987. 240 с.
5. Нечаев В.В., Бочкарев В.А. Теплогенерирующие установки: учебное пособие: допущено МСХ РФ. Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2010. 102 с.
6. Отопительно-вентиляционное оборудование: каталог [Электронный ресурс] / ООО «Производственно-торговая компания» ТЕПЛОВЕНТКОМПЛЕКТ. Электрон. дан. Режим доступа: <http://www.ventcom.ru/katalog.php>. Дата обращения: 13.09.2020 г. 366 с.
6. Павлов И.И., Федоров М.Н. Котельные установки и тепловые сети: учебное пособие для техникумов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1986. 232 с.
7. Панин В.И. Котельные установки малой и средней мощности: учебник для сельск. проф.-техн. училищ. Изд. 4-е, перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1975. 381 с.
8. Парогенераторы: учебник для вузов / А.П. Ковалев, Н.С. Лелеев, Т.В. Виленский; под общ. ред. А.П. Ковалева. М.: Энергоатомиздат, 1985. 376 с.
12. Ривкин С.Л., Александров А.А. Термодинамические свойства воды и водяного пара: справочник: рекомендован гос. службой стандартных справочных данных. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1984. 80 с.
13. Роддатис К.Ф., Соколовский Я.Б. Справочник по котельным установкам малой производительности / Под ред. К.Ф. Роддатиса. Изд. 2-е, перераб. М.: Энергия. 1975. 368 с.
14. Рудобашта С.П. Теплотехника: учебник для вузов. Изд. второе, доп. М.: Издательство «Перо», 2015. 672 с.
15. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов. 6-е изд., перераб. М.: Издательство МЭИ, 1999. 472 с.
16. Теплоснабжение: учебник для вузов / А.А. Ионин, Б.М. Хлыбов, В.Н. Братенков, Е.Н. Терлецкая; под ред. А.А. Ионина. М.: Стройиздат, 1982. 336 с.
17. Теплоснабжение: учебное пособие для студентов вузов / В.Е. Козин, Т.А. Левина, А.П. Марков, И.Б. Пронина, В.А. Слемзин. М.: Высшая школа, 1980. 408 с.
18. Теплоснабжение животноводческого комплекса: метод. указания к курсовой работе по курсу «Теплоснабжение сельского хозяйства» по специальности 3114 – Электрификация и автоматизация сельского хозяйства / сост. А.Г. Соколов. Иркутск, 1990. 58 с.
19. Теплотехника: метод. указ. к курсовой работе для студентов по направлениям «Агроинженерия», «Теплоэнергетика» / Иркут. гос. с.-х. акад.; авт.-сост.: И.В. Алтухов, Г.В. Лукина. Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2010. 70 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Рекомендации по выполнению курсовой работы.....	4
1 Расчет тепловых нагрузок животноводческого комплекса	6
1.1 Расчет теплового потока на отопление животноводческого комплекса.....	6
1.2 Расчет теплового потока на горячее водоснабжение животноводческого комплекса.....	12
1.3 Расчет теплового потока на технологические нужды.....	14
2 Расчет и подбор оборудования для отопления животноводческого комплекса	17
2.1 Расчет калориферов отопительно-вентиляционной системы.....	18
2.2 Расчет вентилятора отопительно-вентиляционной системы.....	22
2.3 Выбор и расчет отопительных приборов системы центрального водяного отопления.....	24
3 Расчет котельной установки для животноводческого комплекса	28
3.1 Расчет теплопотребления и подбор котлов.....	30
3.2 Расчет и подбор тягодутьевых устройств.....	31
3.3 Расчет водоподготовки, питательных устройств и сетевых насосов.....	34
3.4 Тепловая схема котельной.....	38
3.5 Техничко-экономические показатели работы котельной.....	41
ПРИЛОЖЕНИЯ	48
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	58

Составители
Очиров Вадим Дансарунович
Бочкарев Виктор Александрович

**ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ
ЖИВОТНОВОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**
учебно-методическое пособие к курсовой работе
по дисциплине «Тепломассообмен»

Лицензия на издательскую деятельность
ЛР № 070444 от 11.03.98 г.
Подписано в печать 19.01.2021 г.
Формат 60×86/16. Печ. л. 2,84
Тираж 25 экз.

Издательство Иркутского государственного
аграрного университета им. А.А. Ежевского
664038, Иркутская область, Иркутский район
поселок Молодежный