

Из уравнения (X.10) найдем диаметр проводника:

$$d = \frac{1000 Q}{\pi l \alpha (t_{\text{пров}} - t_{\text{в}})} \quad (X.16)$$

Тогда по формуле (X.15)

$$Q = \frac{U^2 \pi 1000^2 \cdot Q^2}{4r l^3 \pi^2 \alpha^2 (t_{\text{пров}} - t_{\text{в}})^2} \text{ Вт},$$

откуда найдем необходимую длину проводника, м:

$$l = 43 \sqrt[3]{\frac{U^2 Q}{r \alpha^2 (t_{\text{пров}} - t_{\text{в}})^2}} \quad (X.17)$$

Удельное сопротивление проводника зависит от его температуры:

$$r_t = r_{20} [1 + \alpha_c (t - t_{20})] \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}, \quad (X.18)$$

где r_{20} — удельное сопротивление проводника при $t = 20^\circ \text{C}$;

α_c — температурный коэффициент сопротивления электропроводности материала проводника, отнесенный к 1° повышения температуры.

Наиболее часто встречающиеся сплавы имеют следующие значения r_{20} и α_c :

хромоникель (60% Ni+10% Cr+ +30% Fe)		$r_{20}=1,1; \alpha_c=0,00025$
константан (50% Cu+50% Ni)		$r_{20}=0,48; \alpha_c=0,00004$
никелин (62% Cu+20% Ni+ +18% Zn)		$r_{20}=0,41; \alpha_c=0,000067$
платиносеребро (80% Ag+ +20% Pt)		$r_{20}=0,2; \alpha_c=0,00025$

На поверхности проволоки, нагретой до $t_{\text{пров}} = 100^\circ \text{C}$, при ее диаметре 0,5—2 мм следует принимать $\alpha = 35\text{—}52 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ [$30\text{—}45 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \times \text{Ч} \cdot ^\circ\text{C})$], при этом меньшему диаметру соответствует большее значение α .

Существует другой способ расчета поперечного сечения и длины проводника по эмпирической формуле:

$$d = \sqrt[1,36]{I \sqrt{\frac{r_t}{k}}} \text{ мм}. \quad (X.19)$$

Здесь I — сила тока, определяемая по формуле (X.12)

$$k = 13,31 e^{0,00336 t_{\text{пров}}} (10,46 - 0,0208 t_{\text{пров}}).$$

Определив диаметр проводника, находят длину:

$$l = \frac{RF}{r_t} = \frac{UF}{Ir_t} \quad (X.20)$$

Для электроотопления чаще всего применяется трехфазный переменный ток. Если отопительный прибор присоединен к трем проводам по схеме «звезда» (рис. X.22, а) и трехвитковый прибор переключить на схему «треугольник» с помощью переключателя, прикрепленного к самому электроприбору, то количество выделяемого тепла при этом будет в 3 раза больше. Схема такого переключения указана на рис. X.22, б. При 20*

постановке переключателя на контакты 1—1—1 получается соединение «на звезду», а на контакты 2—2—2 — «на треугольник».

Приведенные выше формулы даны для прямолинейной намотки проволоки. Спирально навитый провод нагревается несколько сильнее (вследствие взаимного облучения и индукции). Поэтому расчетную тем-

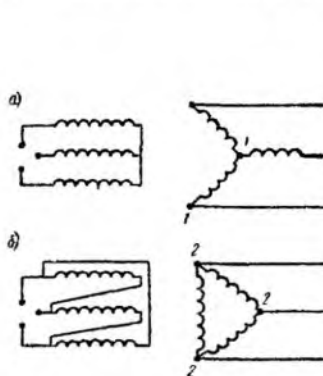


Рис. X.22. Присоединение отопительного электроприбора по схемам

а — «звезда»; б — «треугольник»

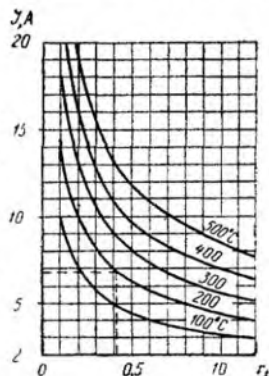


Рис. X.23. График для определения силы тока

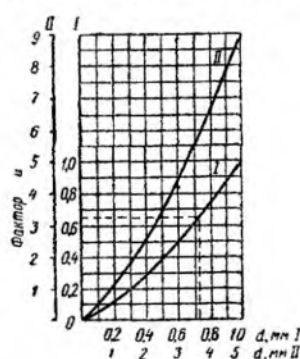


Рис. X.24. График для определения диаметра проводника

пературу провода заранее снижают на 20%, а затем проверяют, будет ли достигнута необходимая температура проволоки при спиральной намотке:

$$t_{\text{сп}} = t_{\text{пр}} \left(1 + \frac{d^2}{2,1l} \right), \quad (\text{X.21})$$

где $t_{\text{сп}}$ — температура спиральной проволоки;
 $t_{\text{пр}}$ — принятая сниженная ее температура;
 l — расстояние между витками проволоки, мм.

Для более простого расчета приведем два графика (рис. X.23 и X.24) и рассмотрим способ пользования ими на частных примерах.

Пример X.2. Электроприбор должен выделять тепла $Q=610$ Вт (525 ккал/ч); напряжение на зажимах прибора $U=100$ В; температура проволоки $t_{\text{пров}}=100^\circ\text{C}$. Требуется найти диаметр и длину проволоки из хромоникеля.

1. По уравнению (X.12) найдем силу тока

$$I = \frac{610}{100} = 6,1 \text{ А.}$$

2. Определим вспомогательную величину

$$k = 13,31 \cdot 2,73^{0,00366 \cdot 100} (10,46 - 0,0208 \cdot 100) = 10,25.$$

Для хромоникеля $r_{20}=1,1$ Ом·мм²/м и $\alpha_{\text{с}}=0,00025$ Ом/град, следовательно:

$$r_{100} = 1,1 [1 + 0,00025 (100 - 20)] = 1,122 \text{ Ом·мм}^2/\text{м},$$

3. Находим диаметр проволоки по формуле (X.19)

$$d = \sqrt[1,36]{6,1 \sqrt{\frac{1,122}{10,25}}} = 1,67 \text{ мм};$$

4. Сечение этой проволоки

$$F = 0,785 \cdot 1,67^2 = 2,19 \text{ мм}^2.$$

5. Необходимая длина проволоки по формуле (X.20) будет равна:

$$l = \frac{100 \cdot 2,19}{6,1 \cdot 1,122} = 32 \text{ м},$$

Сравним с результатом расчета по формуле (X.17).

6. Принимаем среднее значение

$$\alpha = \frac{35 + 52}{2} = 43,5 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

7. Находим необходимую длину проволоки

$$l = 43 \sqrt[3]{\frac{100^2 \cdot 610}{1,122 \cdot 43,5^2 (100 - 20)^2}} = 35,4 \text{ м},$$

т. е. практически получаем тот же результат, что и по эмпирической формуле.

Пример X.3. Тепломощность электроприбора $Q = 985$ Вт (850 ккал/ч), проволока никелиновая, для которой $r_{20} = 0,41$ и $\alpha_c = 0,000067$. Температура нагретой проволоки должна быть $t = 200^\circ \text{C}$. Требуется найти диаметр и длину проволоки при $V = 220$ В.

1. Находим удельное сопротивление проводника

$$r_{200} = 0,41 [1 + 0,000067 (200 - 20)] = 0,415 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}.$$

Это значение r_{200} откладываем по горизонтали (см. пунктирные линии на рис X.23) и на кривой, соответствующей заданной температуре поверхности проволоки $t = 200^\circ \text{C}$, на оси ординат получаем 6,85 А.

Далее определяем силу тока:

$$I = \frac{985}{220} = 4,49 \text{ А}.$$

Находим значение вспомогательного фактора

$$u = \frac{4,49}{6,85} = 0,65.$$

На оси ординат (см рис X.24) на шкале I находим значение $u = 0,65$, проводим горизонтальную пунктирную линию до точки пересечения с кривой I и внизу получаем $d = 0,73$ мм. При площади поперечного сечения проволоки $F = 0,416$ мм² длина проволоки получится равной:

$$l = \frac{220 \cdot 0,416}{4,49 \cdot 0,415} = 49,2 \text{ м}.$$

СПИСОК ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Киссин М. И. Отопление и вентиляция. Ч. I. Отопление. М., Госстройиздат, 1955
 Ковалевский И. И. Печные работы, 7-е изд. М., «Высшая школа», 1973
 Смирнов А. П. Использование газообразного топлива в отопительных печах. М., Стройиздат, 1964.

ОСОБЕННОСТИ ОТОПЛЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

§ 104. КУЛЬТИВАЦИОННЫЕ СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ КРУГЛОГОДИЧНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ ОВОЩЕЙ

Назначение культивационных сооружений — выращивание овощей и рассады в то время года, когда это невозможно в естественных условиях.

Сооружения бывают двух типов: теплицы и парники.

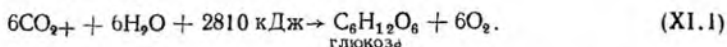
В зависимости от времени эксплуатации теплицы бывают весенние (весна, лето, осень) и зимние — круглогодичные. Парники эксплуатируются только в весенне-летний период.

Для создания внутри культивационных сооружений искусственного микроклимата применяют нагревание воздуха и почвы в холодное время года, а также охлаждение в периоды, когда наружная температура и интенсивность солнечной радиации превышают требуемые пределы.

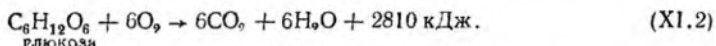
1. МИКРОКЛИМАТ КУЛЬТИВАЦИОННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Жизнь растений характеризуется процессами фотосинтеза и дыхания.

Фотосинтезом называется процесс образования углеводов из углекислого газа и воды под действием солнечного света. Балансовая формула фотосинтеза имеет вид:



Основными фотосинтезирующими органами являются листья. Процесс, обратный фотосинтезу, называется дыханием растений. Он заключается в окислении углеводов клеток, в результате чего выделяется углекислый газ:



Формулы (XI.1) и (XI.2) имеют условный характер. Реакции, которые протекают в действительности, гораздо сложнее.

Процессы фотосинтеза и дыхания взаимосвязаны и зависят от многих факторов.

На жизнь растений большое влияние оказывает температура воздуха и листьев, а также величина поглощенной солнечной радиации и ее спектральный состав.

Повышение температуры окружающего воздуха до определенного предела увеличивает интенсивность фотосинтеза¹ (рис. XI.1). В летний

¹ Под интенсивностью фотосинтеза понимается количество углекислого газа в миллиграммах, усвоенного в течение 1 ч 1 дм² поверхности листа

период интенсивность длинноволновой радиации в спектре солнца довольно высока. В результате поглощения солнечной радиации растения существенно нагреваются: температура листьев достигает 40—45° С, что значительно выше пределов, характеризующих максимум фотосинтеза.

Отрицательное влияние перегрева растений на их жизнедеятельность иллюстрирует рис. XI.2, на котором показано изменение интенсивности фотосинтеза при температуре воздуха 30—35° С. В часы наибольшей солнечной радиации наблюдается снижение интенсивности фотосинтеза,

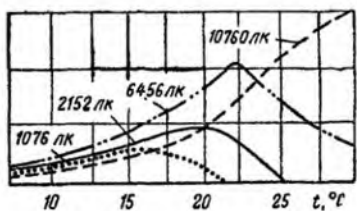


Рис. XI.1. Зависимость интенсивности фотосинтеза томатов от температуры и освещенности

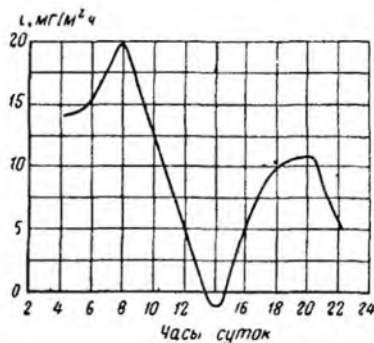


Рис. XI.2. Изменение интенсивности i фотосинтеза в теплице в течение летнего дня

а в 13—15 ч дыхание растений преобладает над фотосинтезом. Дневная депрессия фотосинтеза отрицательно сказывается на жизни растений и снижает урожайность выращиваемых культур.

Для различных растений существует своя зона теплового комфорта, в которой они интенсивнее развиваются. В табл. XI.1 приведены рекомендуемые значения температуры и влажности воздуха для некоторых овощных культур, выращиваемых в культивационных сооружениях.

Температуру листьев при выращивании томатов и огурцов рекомендуется поддерживать 22—23° С. Максимально допустимая температура листьев 35° С.

Существенное влияние на процесс фотосинтеза оказывает освещенность, т. е. интенсивность солнечной радиации в диапазоне 0,4—0,7 мк. Нормальный фотосинтез протекает при соответствии температуры воздуха степени освещенности. Минимальная освещенность для томатов и огурцов в рассадной фазе 3000—4000 лк, в послерассадной 5000—6000 лк в течение 8—10 ч в сутки. Наиболее благоприятные для растений значения освещенности составляют 10 000—20 000 лк.

На характер протекания процесса фотосинтеза влияет не только количество поглощенного излучения, но и качественный состав его. Фиолетовые и синие лучи с $\lambda=0,38—0,49$ мк обуславливают нормальный обмен веществ, стимулируют формирование ветвей и листьев. Зеленые и желтые лучи с $\lambda=0,49—0,595$ мк мало влияют на физиологические процессы. Оранжевые и красные лучи с $\lambda=0,595—0,78$ мк являются основным видом излучения, необходимого для фотосинтеза. При этом происходит максимальное поглощение радиации хлорофиллом. Вытягиванию расте-

Температурно-влажностный режим в сооружениях защищенного грунта
(СНиП II-Н.4-70)

Группа культур	Температура воздуха, °C							Относительная влажность, %
	во время появления всходов	во время выращивания			в период плодоношения		в период закладки растения	
		пасмурно	солнечно	ночью	днем	ночью		
Огурцы, дыни, арбузы	17—18	22—25	27—30	17—18	25—30	18—20	13—15	85—95 (огурцы) 65—75 (для остальных культур)
Помидоры, баклажаны, перец, кабачки, фасоль	10—12	20—22	25—27	10—13	22—28	15—17	8—10	65—75 (кабачки) 50—60 (для остальных культур)
Салат, сельдерей, спаржа, лук на зелень	8—9	17—18	20—26	8—12	—	—	7—5	70—80
Шпинат, укроп, шавель, петрушка на зелень	8—9	15—16	20—21	8—9	—	—	1	70—80
Редис, капуста, брюква	6—7	12—13	16—18	7—8	—	—	1—3	65—75

ний способствует излучение с $\lambda=0,7-1$ мк, укорачиванию при утолщении листьев — излучение в диапазоне $\lambda=0,315-0,38$ мк. Для излучения с $\lambda>1$ мк не выявлено специфического действия. Коротковолновая радиация с $\lambda<0,315$ мк губительна для растений.

На интенсивность фотосинтеза в значительной степени влияет концентрация углекислого газа. Оптимальная величина CO_2 в зоне растений составляет 1%. Нижний предел значения CO_2 равен 0,01%, верхний — 5%.

В формировании теплового режима растений и концентрации углекислого газа существенную роль играет подвижность воздуха. Подвижность воздуха в теплице интенсифицирует конвективный теплообмен растений с окружающим воздухом, препятствует образованию застойных зон. Рекомендуемая скорость движения воздуха в зоне растений составляет 0,2—0,7 м/с.

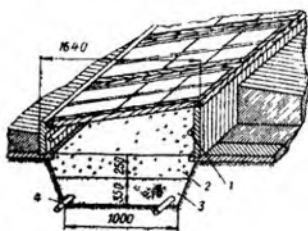
Нормальный рост растений обеспечивается совокупностью благоприятных почвенных и атмосферных условий. Отклонение какого-либо фактора, определяющего эти условия, в большую или меньшую сторону приводит к нарушению роста растений, а следовательно, и к уменьшению урожайности.

2. КОНСТРУКЦИИ КУЛЬТИВАЦИОННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Парники. Наибольшее распространение получили русские односкатные углубленные парники (рис. XI.3) с укрытиями из остекленных съемных рам. Находят все большее применение разборно-перестановоч-

Рис. XI.3. Парник на водяном обогреве

1 — трубы надпочвенного обогрева, 2 — грунт, 3 — песок, 4 — трубы надпочвенного обогрева

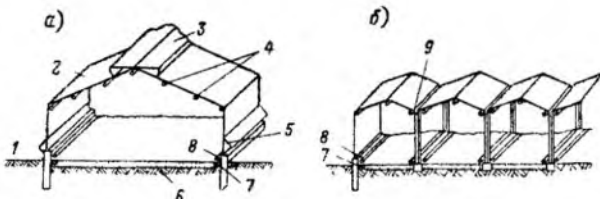


ные пленочные парники, в которых укрытием является переносный каркас с пленочным покрытием.

Теплицы. Большая часть теплиц строится в виде двухскатных или блочных (рис. XI.4). Двухскатные теплицы (рис. XI.4, а) могут иметь

Рис. XI.4. Теплицы

а — ангарная двухскатная; 5 — блочная; 1 — фундамент; 2 — остекление; 3 — вентиляционные фрамуги (вытяжные); 4 — трубы обогрева воздушного пространства; 5 — вентиляционные фрамуги (приточные); 6 — растительный грунт; 7 — трубы периметрального обогрева на грунта; 8 — трубы надгрунтового обогрева; 9 — трубы желобного обогрева



внутренние опоры. В зависимости от способа выращивания растений теплицы делятся на грунтовые и стеллажные. Как в ангарных, так и в блочных теплицах овощи можно выращивать в инертных средах, смачиваемых растворами питательных солей. Такой способ выращивания растений называется гидропонным.

Основным надземным ограждением теплиц и парников являются светопрозрачные материалы — стекло и полимерные пленки.

3. ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС И ОТОПЛЕНИЕ ТЕПЛИЦЫ

Температурный режим теплицы, заданный культурооборотом, определяется системой теплопоступлений и теплопотерь сооружения. В общем виде алгебраическое уравнение теплового баланса теплицы может быть записано в соответствии со схемой (рис. XI.5):

$$\Sigma Q = 0. \quad (XI.3)$$

Отдельные составляющие этого уравнения в зависимости от конкретных условий могут быть приняты со знаком плюс или минус или могут быть равны нулю; они определяются по формулам, приведенным в главе II.

Расчет конвективного теплообмена на внутренних поверхностях теплицы следует выполнять по формуле

$$Q_k = \alpha_k (t_n - \tau_n) F, \quad (\text{XI.4})$$

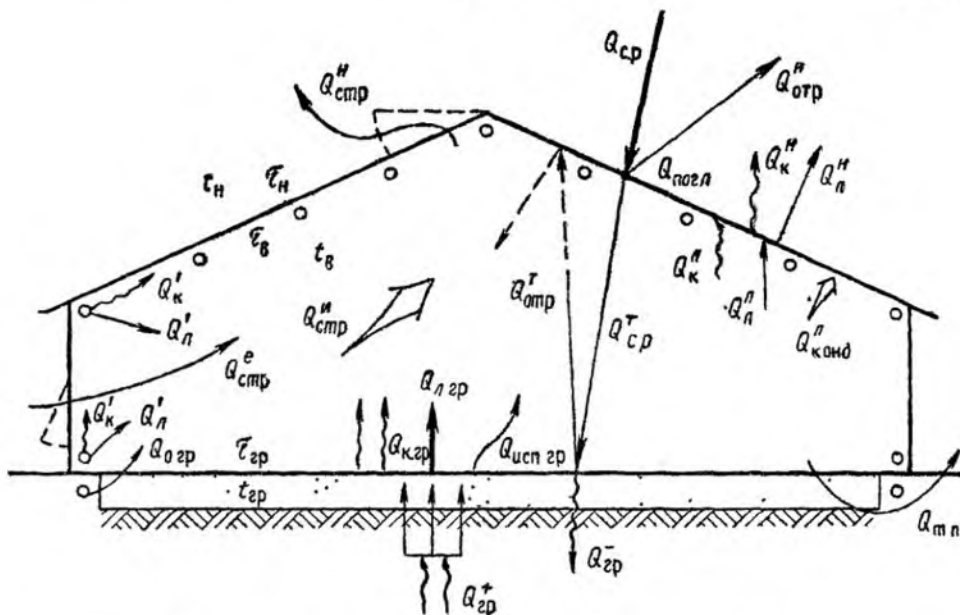


Рис XI5 Расчетная схема теплового баланса теплицы

$Q_{ср}$ — тепло солнечной радиации, $Q_{отр}^-$ — тепло солнечной радиации, поступившее в теплицу, $Q_{отр}^H$ — тепло солнечной радиации отраженное от покрытия, $Q_{погл}$ — тепло солнечной радиации, поглощенное покрытием, $Q_{отр}^T$ — тепло солнечной радиации, отраженное грунтом, $Q_{гр}^-$ — тепло, поглощенное грунтом, $Q_{гр}^+$ — тепло, отдаваемое грунтом $Q_{кгр}$ и $Q_{лгр}$ — конвективное и лучистое тепло с поверхности грунта, $Q_{исп\ гр}$ — тепло испарения с поверхности грунта, $Q_{к'}^H$, $Q_{л'}^H$, $Q_{к''}^H$, $Q_{л''}^H$, $Q_{конд}^H$ — конвективное, лучистое тепло и тепло конденсации на внутренней поверхности ограждения, $Q_{к'}^H$, $Q_{л'}^H$ — конвективное и лучистое тепло на наружной поверхности, $Q_{тп}$ — теплопотери через грунт, $Q_{к'}^H$, $Q_{л'}^H$ — конвективное и лучистое тепло нагревательных приборов системы обогрева воздушного пространства; $Q_{огр}$ — тепло системы обогрева грунта, $Q_{стр}^e$, $Q_{стр}^H$ — тепло естественных и искусственных воздушных струй, $Q_{стр}^H$ — тепло наружной струи, t_n , t_b , $t_{гр}$ — температуры наружного, внутреннего воздуха и грунта, τ_n , τ_b , $\tau_{гр}$ — температуры наружной, внутренней поверхности ограждения и поверхности грунта

в которой величина α_k , Вт/(м²·К) определяется в зависимости от характера теплообмена, протекающего в конкретных условиях в теплице:

$$\alpha_k = 1,5 k_1 \sqrt[3]{\Delta t}, \quad (\text{XI.5})$$

где k_1 — коэффициент, зависящий от температурного режима в теплице, принимаемый по графику (рис XI 6),

1,5 — коэффициент, определяющий соотношение вертикальных и наклонных поверхностей в теплицах.

Коэффициент конвективного теплообмена $\alpha_{\frac{H}{\frac{H}{2}}}$, Вт/(м²·К), для наклонно-

го участка наружного ограждения может быть определен по формуле

$$\alpha_{\kappa}^{\text{H}} = k_2 \frac{(v\rho)^{0,8}}{l^{0,2}} 1,163, \quad (\text{XI.6})$$

где k_2 — для теплиц принимается по графику (рис. XI.7);
 l — длина ската, м.

Для вертикального участка наружного ограждения

$$\alpha_{\kappa}^{\text{B}} = 11,63 \sqrt{v}, \quad (\text{XI.7})$$

где v — расчетная скорость ветра, м/с.

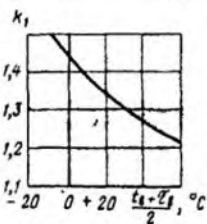


Рис. XI.6. Зависимость коэффициента k_1 от температурного режима в теплице



Рис. XI.7. Зависимость коэффициента k_2 от температуры наружного воздуха

Расчетное значение коэффициента конвективной теплопередачи $\alpha_{\kappa}^{\text{B}}$, Вт/(м²·К), на наружной поверхности будет средневзвешенное по площади

$$\alpha_{\kappa} = \frac{\alpha_{\kappa}^{\text{H}} F_{\text{H}} + \alpha_{\kappa}^{\text{B}} F_{\text{B}}}{F_{\text{H}} + F_{\text{B}}}, \quad (\text{XI.8})$$

где F_{H} и F_{B} — площади наклонных и вертикальных поверхностей теплицы.

Лучистый теплообмен между поверхностями внутри теплицы следует рассчитывать по формулам для расчета лучистого теплообмена между двумя серыми телами. В связи с тем, что в культивационном сооружении находятся трехатомные газы, поглощающие длинноволновое излучение, в уравнение теплообмена следует вводить поправочный коэффициент, который для теплиц равен 0,88; тогда

$$Q_{\text{л}}^{\text{H}} = 0,88 Q_{\text{л}}^{\text{вп}}, \quad (\text{XI.9})$$

где $Q_{\text{л}}^{\text{вп}}$ — количество лучистого тепла, поступающее в теплицу от грунта.

При определении затрат тепла на испарение влаги с поверхности грунта в расчетную формулу следует вводить поправочный коэффициент, равный для теплиц 0,8:

$$Q_{\text{исп.гр}} = 0,8 G_{\text{исп}} q_{\text{исп}}. \quad (\text{XI.10})$$

Системы отопления теплиц и парников должны обеспечивать заданные температурные условия как в грунте, так и в воздушном пространстве.

Расчетные параметры внутреннего воздуха и температура грунта в теплицах и парниках принимаются в соответствии с заданными культурооборотах проектируемого сооружения.

Расчетные параметры наружного воздуха в холодный период года принимаются: для сооружений круглогодичного использования — параметру В по СНиП, для сезонных сооружений — средняя температура на-

ибо более холодного месяца за период эксплуатации, сниженная на половину максимальной суточной амплитуды температуры воздуха для данного района.

В теплицах круглогодичного назначения целесообразно проектировать системы водяного отопления с отопительными приборами в виде регистров или змеевиков из гладких труб. Следует проектировать самостоятельные системы грунтового обогрева. Эти системы в зависимости от района строительства могут иметь отопительные приборы, расположенные по всей площади растительного грунта или только для периметрального обогрева.

Система надпочвенного обогрева также должна быть самостоятельная. Ее отопительные приборы должны быть расположены в приземной

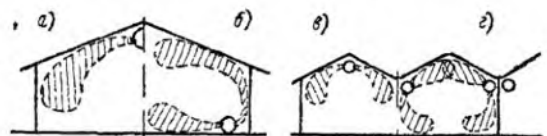


Рис. XI.8. Схемы подачи нагретого воздуха через полистиленовые воздуховоды равномерной раздачи

а и в — настигающая струя под наклонное остекление; б — из нижней зоны на вертикальное остекление; в — поднаклонное остекление и вниз

части у внутренних поверхностей наружных ограждений. В блочных теплицах отопительные приборы следует располагать в пригрунтовой зоне по всей площади теплицы. Систему обогрева воздушного пространства теплицы необходимо делать также самостоятельной и отопительные приборы располагать под светопрозрачным ограждением теплиц. В блочных теплицах (см. рис. XI.4) необходимо иметь самостоятельные системы с подлотковыми отопительными приборами. Назначение этих систем — подогрев лотков, по которым стекает растаявший снег с наклонного остекления.

Проектирование нескольких самостоятельных систем обогрева определяется необходимостью одновременной их работы в зависимости от конкретных условий эксплуатации теплицы и метеорологических условий.

Для поддержания заданных температурных условий в теплицах, особенно весенних, целесообразно устраивать воздушное отопление с раздачей воздуха через полимерные пленочные перфорированные воздуховоды, проложенные в верхней части теплицы или в пригрунтовой зоне (рис. XI.8). Можно применять системы комбинированного обогрева, т. е. водяного с нагревателями из гладких труб и воздушного с воздуховодами равномерной раздачи воздуха через полимерные пленочные перфорированные воздуховоды.

Отопительные приборы систем должны быть так размещены в объеме сооружения, чтобы температура рабочего объема была обеспечена при наименьших затратах тепла.

Натурными наблюдениями в действующих теплицах установлено, что наиболее рационально такое распределение отопительных приборов, при котором теплопотери теплицы компенсируются следующим образом. В ангарных теплицах от отопительных приборов, расположенных:

- а) в воздушном пространстве у остекленных поверхностей — 50—60%;
- б) у цокольной части стены — 25—30%;
- в) в грунте по периметру теплицы (в овощных теплицах) — 15—20%;
- г) под корнеобитаемым слоем под всей площадью грунта (в рассад-

ных теплицах) — 20—30% при соответствующем сокращении теплопередачи приборов воздушного пространства.

В блочных теплицах эти соотношения должны быть изменены в связи с относительным увеличением теплопотерь через наклонные светопрозрачные ограждения.

Теплопередача отопительных приборов системы подлотового обогрева определяется для каждого климатического района исходя из количества снега, выпадающего в этом районе.

Расчет системы обогрева грунта приведен в специальной литературе.

Характеристика температурного поля, создаваемая комплексом систем обогрева, определяется величиной отношения

$$\Delta \bar{t} = \frac{t_{p.o} - t_n}{t_b^{orp} - t_n} \quad (XI.11)$$

Это отношение показывает взаимосвязь температуры рабочего объема ($t_{p.o}$), средневзвешенной температуры воздуха у внутренних поверхностей наружных ограждений (t_b^{orp}) и температуры наружного воздуха t_n .

Наиболее рациональна такая система отопления, которая при максимальном рабочем объеме теплицы будет иметь $\Delta \bar{t} = 1$.

Величина $\Delta \bar{t}$ может быть определена на действующем объекте или на модели.

Таблица XI.2

Температура внутреннего воздуха в помещениях для птиц

Вид птицы	Температура воздуха в помещении, °С, при содержании птиц	
	напольном	клеточном
Взрослые птицы:		
куры	12—16	16
индейки	12—16	—
утки	7—14	—
гуси	7	—
Молодняк кур в возрасте:		
1—30 дней	22	24
31—60 дней	18*	20
свыше 60 дней	14—16	16
Молодняк индеек в возрасте:		
1—20 дней	22	24
21—120 дней	20—18	—
свыше 120 дней	16	—
Молодняк уток в возрасте:		
1—10 дней	22	26
11—30 дней	20	—
31—55 дней	14	—
свыше 55 дней	7—14	—

§ 105. ПТИЦЕВОДЧЕСКИЕ ПОМЕЩЕНИЯ

Птицеводческие помещения строятся, как правило, одноэтажными, однако при соответствующем технико-экономическом обосновании могут быть и многоэтажными. Конструктивной особенностью птицеводческих помещений являются полы, которые устраивают с твердым покрытием (бетонные, асфальтовые и др.) в помещениях для содержания птиц на глубокой подстилке, в залах для клеточного содержания птиц или двухслойными — верхние сетчатые или планочные, нижние — сложные с твердым покрытием в помещениях при напольном содержании птиц без подстилки.

Конструкции полов должны обладать степенью теплоусвоения, не превышающей норм теплоотдачи птиц, находящихся на этих полах.

Системы отопления помещений должны обеспечить заданные температурные режимы в условиях стационарного теплового баланса при расчетной наружной температуре.

Расчетную наружную температуру воздуха следует принимать по параметрам «Б» СНиП.

В холодный период года температура внутреннего воздуха в помещениях определяется видом птиц и их возрастом и должна поддерживаться в соответствии с данными, приведенными в табл. XI.2.

Приведенная в таблице температура должна быть обеспечена системой отопления в зоне размещения птиц. Зоной размещения птиц при неполном содержании является припольная зона высотой 0,4 м, при клеточном содержании — пространство на всю высоту клеточных батарей.

Одна из особенностей температурно-влажностного режима птичника — необходимость поддержания относительной влажности воздуха в помещении 60—70%.

При составлении теплового баланса птицеводческого помещения следует принимать в расчет тепlopоступления от птиц, находящихся в этом помещении.

Количество тепла, выделяемое птицами, определяется по формуле

$$Q_{\text{пт}} = NPqk_1k_2k_3, \quad (\text{XI.12})$$

где N — расчетное число птиц;

P — масса одной птицы, кг;

q — тепловыделение птицы на 1 кг, Вт/кг (табл. XI.3);

k_1 — поправочный коэффициент на тепловыделения в ночное время (следует принимать равным 0,6);

k_2 — поправочный коэффициент на отклонение внутренней температуры воздуха в птичнике от оптимальной, принимаемый равным:

Температура
воздуха в по-
мещении, °С.

Коэффициент
 k_2 :

для взрос-
лых птиц .
для молод-
няка . . .

	4	8	12	16	20	24	28	32	36
для взрос- лых птиц .	1,15	1,1	1,05	1	0,95	0,92	0,9	0,85	0,8
для молод- няка . . .	—	—	—	—	1,05	1	0,95	0,92	0,8

k_3 — коэффициент заполнения птичника, т. е. отношение фактического количества голов, находящихся большую часть времени в птичнике, к расчетному (может быть принят равным 0,85—0,9).

При составлении теплового баланса следует учитывать количество тепла, которое расходуется на испарение влаги из помета, а также из глубокой подстилки, если она имеется.

Тепло, Вт, необходимое на испарение влаги из помета, определяется по формуле

$$Q_{\text{исп}} = 680 \frac{NP_{\text{п}}}{24} k_{\text{п}}, \quad (\text{XI.13})$$

где N — число голов птицы;

$k_{\text{п}}$ — степень усушки помета, принимается равной 0,7;

$P_{\text{п}}$ — выход помета от одной птицы, кг/сутки, принимается равным:

Куры яичного направления	0,24
Куры мясного направления	0,29
Индейки	0,43
Утки	0,55
Молодняк кур в возрасте:	
1—30 дней	0,03
31—70 дней	0,08
71—180 дней	0,12
свыше 180 дней	0,21

Таблица XI.3

Тепловыделение птицы

Виды и возрастные группы птиц	Масса P, кг	Тепловыделения			
		общие		явные	
		Вт/кг	ккал/(ч кг)	Вт/кг	ккал/(ч кг)
Взрослые птицы:					
при клеточном содержании	1,5—1,7	11,4	9,8	7,9	6,8
при напольном содержании					
куры яичных пород	2	13,1	11,3	9,2	7,9
куры мясных пород	1,8	12	10,3	8,4	7,2
индейки	1,7	11,2	9,6	7,8	6,7
утки	1,2	7,2	6,2	5,6	4,8
Молодняк кур:					
куры яичных пород в возрасте:					
1—10 дней	0,06	18,1	15,6	15,6	13,5
11—30 дней	0,25	14,8	12,7	10,2	8,8
31—60 дней	0,6	12,2	10,5	8,6	7,4
61—150 дней	1,3	11,2	9,7	7,9	6,8
свыше 150 дней	1,6	10,7	9,2	7,4	6,4
куры мясных пород в возрасте:					
1—10 дней	0,08	17	15	15	12,9
11—30 дней	0,35	13,7	11,8	9,4	8,1
31—60 дней	1,2—1,4	12,1	10,4	8,4	7,2
61—150 дней	1,8	11,2	9,6	7,8	6,7
свыше 150 дней	2,5	10,2	8,8	7	6
Молодняк индеек в возрасте:					
1—10 дней	0,1	15	13	12,2	10,5
11—30 дней	0,6	14,1	12,2	9,8	8,4
31—120 дней	4	10,7	9,2	7,4	6,4
свыше 120 дней	6	10	8,6	7	6
Молодняк уток в возрасте:					
1—10 дней	0,3	23,1	20,1	16,3	14
11—30 дней	1	16,9	14,5	11,7	10,1
31—55 дней	2,2	8	6,9	5,6	4,8
свыше 55 дней	3	6,6	5,7	4,7	4

Примечание. Приведенные в таблице значения тепловыделений относятся к конечному возрасту птицы.

В птицеводческих помещениях следует предусматривать, как правило, воздушное отопление, совмещенное с приточной вентиляционной системой. Количество тепла, подаваемого такой системой, определяется тепловым балансом помещений. В помещениях для молодняка птиц, а

также в других помещениях при соответствующем обосновании можно применять системы центрального водяного отопления с чугунными секционными нагревательными приборами или приборами в виде регистров из гладких труб. Температура поверхности приборов не должна превышать 95°C . Отопительные приборы и трубы системы отопления должны быть недоступны для соприкосновения птиц или иметь соответствующее укрытие. К отопительным приборам должен быть доступ для очистки их от загрязнения.

Для обогрева молодняка птиц младшего возраста применяют системы локального отопления, например электрические брудеры или газовые инфракрасные излучатели при соответствующем оборудовании их отсосами вытяжных вентиляционных систем.

Для выращивания молодняка птиц (цыплят, индюшат, утят, гусят и цесарят) применяют электробрудеры с инфракрасными (ИК) лампами.

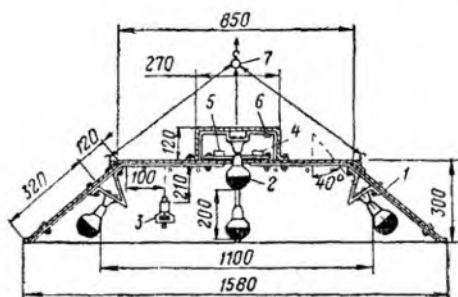


Рис. XI.9. Электробрудер (разрез)

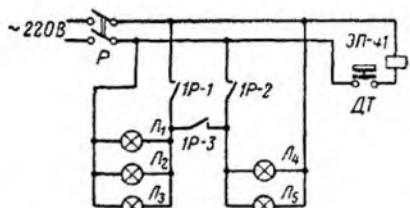


Рис. XI.10. Принципиальная электрическая схема электробрудера

ИК — рудер с лампами (рис. XI.9) состоит из конусообразного корпуса 1, пяти ламп 2 мощностью 250 Вт, датчика температуры 3, электромагнитного реле 4, клеммной колодки 5 и пакетного выключателя 6. Он рассчитан на выращивание 500 цыплят до месячного возраста. В процессе эксплуатации брудер подвешивают к потолку птичника на стальном тросе диаметром 5 мм и заземляют.

Температурный режим в зоне обогрева цыплят регулируется по схеме, показанной на рис. XI.10. Контроль температуры осуществляет датчик ДТ, который состоит из мембраны, заполненной эфиром, и малогабаритного микропереключателя. Если температура в зоне облучения увеличивается по отношению к заданной, датчики температуры ДТ включают электромагнитное реле ЭП-41, которое с помощью контактов 1P-1, 1P-2, 1P-3 переключает лампы последовательно.

Инфракрасные лампы при этом работают на пониженном накале, за счет чего и снижается интенсивность излучения. При уменьшении температуры в зоне обогрева происходит обратное включение ламп на полный накал.

Для обогрева молодняка птиц можно применять и отдельные ИК-лампы, оборудованные защитной арматурой. Над зоной обогрева может быть установлено несколько облучателей. Интенсивность облучения определяется высотой подвеса ламп.

При обогреве газовыми инфракрасными излучателями газовая смесь в горелках сгорает до образования конечных продуктов окисления

(азота, углекислого газа, водяного пара и небольшого количества кислорода), наличие которых не превышает предельно допустимые концентрации для помещений птицеводческих ферм.

Как правило, отопление горелками инфракрасного излучения осуществляется путем периодического или поочередного включения отдельных горелок.

Расчет системы отопления сводится к определению количества горелок исходя из общей тепловой нагрузки и выбору способа расположения их в помещении.

Горелки в помещении должны располагаться таким образом, чтобы облученность птиц не превышала следующих норм:

Цыплята в возрасте:	
до 10 дней . . .	290—350 Вт/м ² [250—300 ккал/(ч·м ²)]
10—30 дней . . .	170—290 Вт/м ² [150—250 ккал/(ч·м ²)]
старше 30 дней .	120—170 Вт/м ² [100—150 ккал/(ч·м ²)]

Принципиальные схемы отопления для птичников с различными способами содержания птиц приведены в табл. XI.4.

Таблица XI.4

Рекомендуемые схемы отопления птичников

Назначение зданий и помещений	Система отопления	
	основная	дополнительная
<i>Напольное содержание</i>		
Цехи промышленного стада кур-несушек, цехи маточного стада, акклиматизаторы	Воздушное, совмещенное с приточной вентиляцией	—
Бройлерники и цехи ремонтного молодняка	Водяное с температурой на поверхности нагревательных приборов 95°С	Воздушное, совмещенное с приточной вентиляцией
Цехи выращивания цыплят	То же	Локальные системы инфракрасного обогрева
<i>Клеточное содержание</i>		
Цехи кур-несушек	Воздушное, совмещенное с приточной вентиляцией	—

При проектировании систем воздушного отопления в помещениях с клеточным содержанием кур необходимо обеспечить температуру в рабочем объеме помещения, т. е. на всю высоту клеточных батарей, в соответствии с требованиями, приведенными в табл. XI.2.

§ 106. ЖИВОТНОВОДЧЕСКИЕ ПОСТРОЙКИ

При проектировании отопления животноводческих построек температуру наружного воздуха рекомендуется принимать по параметрам «Б». Температуру внутреннего воздуха $t_{в}$, °С, следует принимать равной:

I. Коровники:

родильное отделение	18
помещения для беспривязного содержания скота	10
помещения для привязного содержания скота	10
профилактории	20
телятники для выращивания и дорашивания	16
телятники для откорма	12

II. Свинарники:

для холостых маток и хряков	14
для супоросных маток	18
для подсосных маток с поросятами:	
для поросят в первую неделю жизни	30
для поросят в две—четыре недели жизни	24
для свиноматок	18
для поросят отъемышей	22
для откорма свиней	18

Максимальная температура воздуха для взрослых животных не должна превышать 25° С.

Оптимальная температура внутреннего воздуха в помещениях для содержания животных, т. е. такая температура, при которой животное давало бы максимум продукции при минимальных капиталовложениях и эксплуатационных расходах, в том числе и расходах на корм, может быть определена технико-экономическим путем.

Методика определения внутренней оптимальной температуры в помещении, которая в свою очередь обуславливает оптимальные термические сопротивления ограждений в неотапливаемых помещениях или количество тепла, необходимое для подачи в помещение системой отопления в отапливаемых помещениях при необходимых термических сопротивлениях ограждений, сводится к следующему¹.

При оптимальном термическом сопротивлении ограждений приведенные затраты, руб/м², составляют:

$$\Pi = (EK + \mathcal{E})_{\text{мин}}, \quad (\text{XI.14})$$

где K — капитальные вложения, руб/м²;

E — коэффициент экономической эффективности, равный для сельского строительства 0,2;

\mathcal{E} — годовые эксплуатационные расходы, руб/м².

В капитальные затраты практически входит только стоимость ограждений, поэтому величину K следует определять по формуле

$$K = \delta_{\text{ст}} C_{\text{ст}} + \delta_{\text{п}} C_{\text{п}} = \bar{A} R_{\text{ст}} C_{\text{ст}} + \bar{B} R_{\text{п}} C_{\text{п}} \quad (\text{XI.15})$$

или

$$K = (\bar{A} \lambda_{\text{ст}} C_{\text{ст}} + \bar{B} \lambda_{\text{п}} C_{\text{п}}) (R_0 - R_v - R_n), \quad (\text{XI.16})$$

где $\delta_{\text{ст}}$, $\delta_{\text{п}}$ — толщина утеплителя стен и покрытия, м;

$C_{\text{ст}}$, $C_{\text{п}}$ — стоимость материала стен и покрытия, руб/м³;

$\lambda_{\text{ст}}$, $\lambda_{\text{п}}$ — теплопроводность утеплителя стен и покрытия, Вт/(м·К);

$R_{\text{ст}}$, $R_{\text{п}}$ — термическое сопротивление стен и покрытия, К·м²/Вт;

R_n , R_v — сопротивления теплообмену, К·м²/Вт;

¹ Методика разработана автором совместно с инж. А. А. Руновым.

R_0 — среднее сопротивление теплопередаче стен и покрытия, $K \cdot m^2/Vt$;

\bar{A} , \bar{B} — коэффициенты перехода от сопротивлений теплопередаче стен и покрытия к среднему сопротивлению ограждений помещений, определяемые по формулам:

$$\bar{A} = \frac{0,77F_{\Pi} + F_{ст}}{F_{\Pi} + F_{ст}}; \quad (XI.17)$$

$$\bar{B} = \frac{F_{\Pi} + 1,3F_{ст}}{F_{\Pi} + F_{ст}}, \quad (XI.18)$$

где $F_{ст}$, F_{Π} — площадь стен и покрытия, m^2 .

Уравнение XI.16 получено в результате подстановки в уравнение (XI.15) $R_{ст}$ и R_{Π} , найденных из совместного решения уравнений:

$$R_0 = \frac{F_{ст} + F_{\Pi}}{\frac{F_{ст}}{R_{ст}} + \frac{F_{\Pi}}{R_{\Pi}}}; \quad R_{\Pi} = 1,3R_{ст}. \quad (XI.19)$$

Последнее уравнение показывает, что термическое сопротивление покрытия должно быть на 30% больше сопротивления стен.

Такое соотношение между $R_{ст}$ и R_{Π} в одноэтажных животноводческих постройках необходимо для уменьшения лучистого теплообмена поверхности тела животного, обращенной к покрытию, и предотвращения холодных конвективных токов от покрытия в зону животных.

При изменении теплозащиты наружных ограждений в неотапливаемых коровниках изменяются также эксплуатационные затраты \mathcal{E} , так как при этом изменяется микроклимат помещения. В эксплуатационные затраты входят затраты на корм $C_{к}$ и со знаком минус стоимость продукции $C_{пр}$:

$$\mathcal{E} = C_{к} - C_{пр}. \quad (XI.20)$$

Расходы на заработную плату обслуживающего персонала и амортизационные отчисления практически не изменяются с изменением теплозащиты ограждений, так как эти затраты связаны в основном с численностью животных и технологией производства. Следовательно, эти расходы не следует учитывать при расчете величины \mathcal{E} .

Выразим слагаемые в уравнениях (XI.16) и (XI.20) функциональной зависимостью от температуры внутреннего воздуха $t_{в}$. Это позволит путем дифференцирования формулы (XI.14) по переменной $t_{в}$ найти оптимальное термическое сопротивление ограждений.

Среднее сопротивление теплопередаче, $K \cdot m^2/Vt$, наружных ограждений определяется из условия теплового баланса:

$$R_0 = \frac{t_{в} - t_{н}}{q_{т} - q_{в} - q_0}, \quad (XI.21)$$

где $t_{в}$, $t_{н}$ — температура внутреннего и наружного воздуха, $^{\circ}C$;
 $q_{т}$, $q_{в}$ — удельные тепловыделения в помещении и расход тепла на воздухообмен, Vt/m^2 ;
 q_0 — теплопотери через ограждения, термическое сопротивление которых можно считать известным (окна, ворота, пол), Vt/m^2 .

Значения $q_{т}$ и $q_{в}$ зависят от температуры внутреннего воздуха, но

полный учет этой зависимости в дальнейших расчетах приводит к сложным уравнениям. Для упрощения были использованы следующие расчетные формулы:

$$q_{\tau} = \frac{mQ_{ж}}{F_1}; \quad (XI.22)$$

$$q_{в} = \frac{\chi G_{ж}}{F_1}, \quad (XI.23)$$

где $Q_{ж}$ — тепловыделение животного, Вт/гол;
 $G_{ж}$ — влаговыделение животного, г/(ч·гол);
 F_1 — суммарная площадь стен и покрытия в расчете на одно животное, м²/гол;
 m, χ — коэффициенты, принимаемые по табл. XI.5.

Таблица XI.5

Значения коэффициентов m и χ в зависимости от температуры наружного воздуха

Температура наружного воздуха $t_{н}$, °C	m	χ
-10	0.99	0.045
-15	0.98	0.043
-20	0.97	0.041
-25	0.96	0.04
-30	0.95	0.039

Из формул (XI.16), (XI.21) — (XI.23) получим:

$$K = (\bar{A}\lambda_{ст}C_{ст} + \bar{B}\lambda_{п}C_{п}) \times$$

$$\times \left[\frac{t_{в} - t_{н}}{\frac{mQ_{ж}}{F_1} - \frac{\chi G_{ж}}{F_1} (t_{в} - t_{н})} - R_{в} - R_{п} \right], \quad (XI.24)$$

Затраты на корм $C_{к}$ и стоимость продукции $C_{пр}$ в формуле (XI.20) вычисляются по формулам:

$$C_{к} = \frac{\bar{\Pi} \bar{C}_{к} z}{F_1}; \quad (XI.25)$$

$$C_{пр} = \frac{\bar{Ю} \bar{C}_{пр} z}{F_1}, \quad (XI.26)$$

где $\bar{C}_{к}, \bar{C}_{пр}$ — стоимость кормов, руб., за кормовую единицу (руб/к. е.) и продукции, руб/кг;

$\bar{\Pi}, \bar{Ю}$ — расходы кормов в кормовых единицах в сутки на голову [к. е./(сут·гол)] и прирост массы, кг/(сут·гол).

Величины $\bar{\Pi}$ и $\bar{Ю}$ определяются по формулам:

$$\bar{\Pi} = M (1,15 - 0,015 t_{в}); \quad (XI.27)$$

$$\bar{Ю} = H (-5 \cdot 10^{-4} t_{в}^2 + 0,01 t_{в} + 0,95), \quad (XI.28)$$

где M, H — расход кормов за зимний период и средний удой от коровы при нормальном микроклимате.

Эмпирические формулы (XI.27) и (XI.28) выведены по экспериментальным зарубежным и отечественным данным. Графики изменения этих величин представлены на рис. XI.11.

Величина z в формулах (XI.25) и (XI.26) представляет собой длительность периода в сутках, в течение которого отклонение от оптимальной температуры внутреннего воздуха влечет за собой изменение продуктивности.

Если при $t_n > -5^\circ\text{C}$ в коровниках с различной теплоизоляцией существенного различия в продуктивности не наблюдается, то при $t_n < -5^\circ\text{C}$ продуктивность резко падает.

За расчетную величину z следует принимать период с t_n ниже -5°C . Для различных климатических районов эта величина различна.

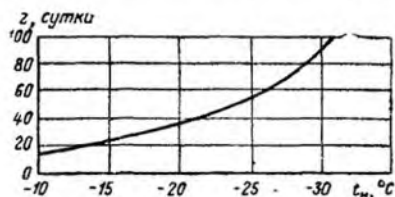
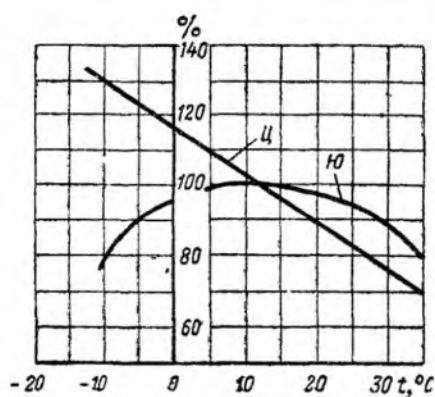


Рис. XI.12. Зависимость продолжительности z периода с температурой $t_n < -5^\circ\text{C}$ от расчетной температуры наружного воздуха

Рис. XI.11. Зависимость продуктивности животных Ю и расхода кормов Ц от температуры внутреннего воздуха в коровнике

На рис. XI.12 показан график зависимости z от расчетной наружной температуры.

Подставляем в формулу (XI.20) полученные значения:

$$\Theta = \frac{Mz\bar{C}_k}{F_1} (1,15 - 0,015t_n) + \frac{Hz C_{np}}{F_1} (5 \cdot 10^{-4} t_n^2 - 0,01t_n - 0,95). \quad (\text{XI.29})$$

Подставив в формулу (XI.14) значения K и Θ из формул (XI.24) и (XI.29), продифференцировав полученное выражение по переменной t_n и приравняв производную нулю, после преобразований получим:

$$\left(1 - \frac{t_n^{\text{опт}}}{\alpha}\right)^{-2} + \frac{\beta}{\alpha} t_n^{\text{опт}} - \gamma = 0, \quad (\text{XI.30})$$

где

$$\alpha = \frac{mQ_{ж} + \chi G_{ж} t_n}{\chi G_{ж}}; \quad (\text{XI.31})$$

$$\beta = \frac{(mQ_{ж} + \chi G_{ж} t_n)^3}{m\chi Q_{ж} G_{ж} F_1^2} \frac{0,1Hz \bar{C}_{np}}{\bar{A}\lambda_{ст} C_{ст} + \bar{B}\lambda_{п} C_{п}}; \quad (\text{XI.32})$$

$$\gamma = \frac{(mQ_{ж} + \chi G_{ж} t_n)^2}{mQ_{ж} F_1^2} \frac{Hz \bar{C}_{np} + 1,5Mz \bar{C}_k}{\bar{A}\lambda_{ст} C_{ст} + \bar{B}\lambda_{п} C_{п}}. \quad (\text{XI.33})$$

По уравнению (XI.30) составлена номограмма, представленная на рис. XI.13. Ход решения по номограмме показан пунктиром.

Для определения оптимального термического сопротивления внутреннюю температуру, найденную по номограмме, подставляем в формулу (XI.21):

$$R_o^{\text{опт}} = \frac{t_n^{\text{опт}} - t_n}{q_v - q_v - q_o}. \quad (\text{XI.34})$$

Пример XI. 1. Необходимо рассчитать оптимальное термическое сопротивление стен и покрытия коровника, в котором находятся 200 животных массой 500 кг каждое. Район строительства — Московская область. Стены из керамзитобетона ($\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$), утеплитель покрытия — минеральная вата.

Данные для расчета: $C_{от} = 30 \text{ руб/м}^3$; $C_{п} = 10 \text{ руб/м}^3$; $\bar{C}_{пр} = 0,16 \text{ руб/кг}$; $\bar{C}_к = 0,06 \text{ руб/к. е.}$; $M = 9 \text{ к. е./сут}$; $N = 12 \text{ л/сут}$; $\lambda_{от} = 0,46 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$; $\lambda_{п} = 0,07 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$; $F_1 = 8,3 \text{ м}^2/\text{гол}$; $\bar{A} = 0,8$; $\bar{B} = 1,1$; для Московской области $t_{н} = -26^\circ\text{C}$.

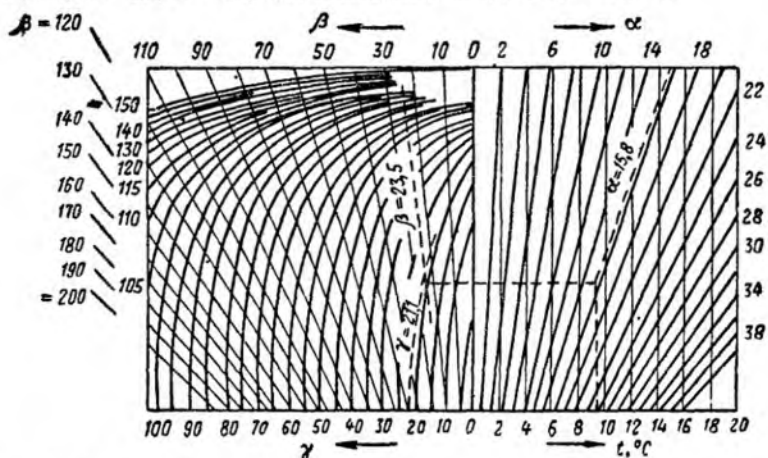


Рис. XI.13. Номограмма для определения оптимальной температуры внутреннего воздуха в коровнике

Согласно НТП СХ 5-68, имеем: $Q_{ж} = 800 \text{ Вт/гол}$, $G_{ж} = 394 \text{ г/(ч гол)}$.

Из табл. XI.5 находим: $m = 0,96$ и $\chi = 0,04$. По рис. XI.12 $z = 60$. Зная все необходимые величины, по формулам (XI.31) — (XI.33) получим: $\alpha = 15,8$, $\beta = 23,5$, $\gamma = 21,1$. По номограмме (рис. XI.13) находим: $t_{н}^{opt} = 9,2^\circ\text{C}$ (ход решения показан пунктиром).

По формуле (XI.34) определяем оптимальное сопротивление теплопередаче: $R_{о}^{opt} = 2,74 \text{ К}\cdot\text{м}^2/\text{Вт}$.

С учетом коэффициентов \bar{A} и \bar{B} [формулы (XI.17) и (XI.18)] оптимальные сопротивления теплопередаче стен и покрытия равны: $R_{от}^{opt} = 1,87 \text{ К}\cdot\text{м}^2/\text{Вт}$; $R_{оп} = 2,58 \text{ К}\cdot\text{м}^2/\text{Вт}$.

Вычитая из полученных значений переходные сопротивления $R_{в} = 0,114 \text{ К}\cdot\text{м}^2/\text{Вт}$ и $R_{п} = 0,043 \text{ К}\cdot\text{м}^2/\text{Вт}$, получим оптимальные термические сопротивления ограждений: $R_{ст}^{opt} = 1,72 \text{ К}\cdot\text{м}^2/\text{Вт}$, $R_{п}^{opt} = 2,42 \text{ К}\cdot\text{м}^2/\text{Вт}$.

Методика расчета $t_{н}^{opt}$ и R^{opt} для помещений другого назначения аналогична приведенной. Продуктивность животных и расход кормов зависят от вида животных (свиней, овец и т. д.).

Внутренняя терморегуляция животных позволяет изменять внутреннюю температуру воздуха в помещении в сравнительно большом диапазоне. На рис. IX.14 показана зона математического теплового баланса, которая для большинства сельскохозяйственных животных находится в диапазоне $+5$ — 18°C . Зона же максимальной продуктивности животных значительно уже зоны математического теплового баланса и определяется соотношением качественных составляющих общей теплоотдачи животных, т. е.

$$Q_{общ} = Q_{к} + Q_{л} + Q_{исп} + Q_{т}, \quad (\text{XI.35})$$

где $Q_{т}$ — теплоотдача животного путем теплопроводности полу при лежащем положении.

Опыты показывают, что наилучшее самочувствие животного дости-

гается при следующем соотношении слагаемых общей теплоотдачи, %:

$$Q_k : Q_d : Q_{исп} : Q_T = 30 : 30 : 35 : 5.$$

На графике (рис. XI.14) по оси абсцисс отложены значения t_n — температуры помещения, представляющей собой средневзвешенную температуру внутреннего воздуха в помещении и радиационную температуру этого помещения, которая может быть определена по формуле

$$t_n = kt_R + (1 - k)t_B, \quad (XI.36)$$

где k — опытный коэффициент, равный для коровников $k=0,3$, для свинарников $k=0,42$.

Поддержание в помещениях температуры, находящейся ниже зоны максимальной продуктивности, повлечет за собой дополнительные рас-

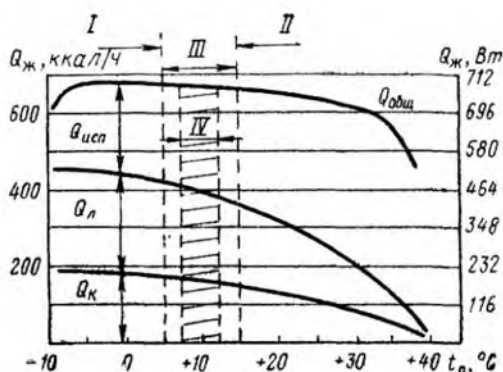


Рис. XI.14. Зависимость количества тепла, отдаваемого животными в окружающую среду, от температуры помещения (корова массой 300 кг)

I и II — зоны соответственно пониженной и повышенной температуры; III — зона математического теплового баланса; IV — зона максимальной продуктивности животных

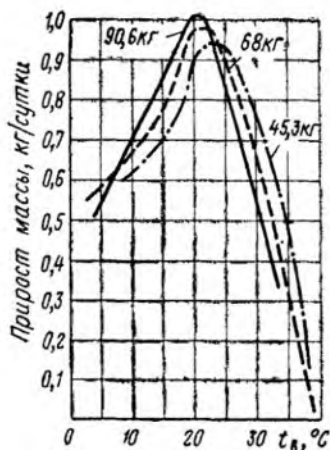


Рис. XI.15. Суточный прирост массы свиней в зависимости от температуры воздуха (по данным США)

ходы корма для получения той же продукции, а увеличение этой температуры вызывает снижение продуктивности за счет общего снижения интенсивности физиологического процесса в организме животного. На рис. XI.15 показаны кривые прироста массы свиней в зависимости от температуры воздуха в помещении.

При расчете лучшего теплообмена животного с внутренними поверхностями ограждающих конструкций следует учитывать, что не вся поверхность тела участвует в теплообмене, а лишь часть ее. Расчетная поверхность определяется по формуле

$$F_n = kF_{ж}, \quad (XI.37)$$

где F_n — поверхность, участвующая в теплообмене, m^2 ;
 k — доля поверхности, участвующая в теплообмене; для коров и свиней $k=0,8$;
 $F_{ж}$ — общая поверхность тела животного; для коров $F_{ж}=10,5 P^{2/3}$,
 для свиней $F_{ж}=9,2 P^{2/3}$;
 P — масса животного, т.

Температура шерстного покрова животного в большой степени зависит от температуры воздуха в помещении, что следует учитывать при расчете конвективного и лучистого теплообмена животного. Характер изменения температуры шерстного покрова животного в зависимости от температуры внутреннего воздуха показан на рис. XI.16.

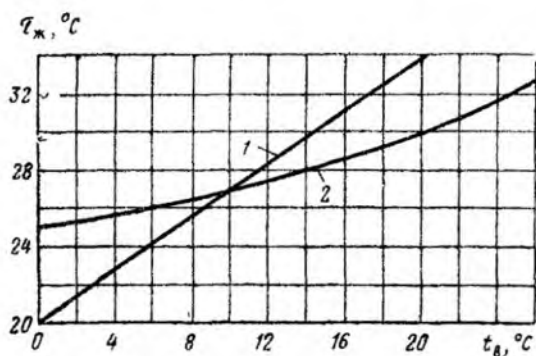


Рис. XI.16. Зависимость температуры шерстного покрова животных (коров 1 и свиней 2) от внутренней температуры воздуха

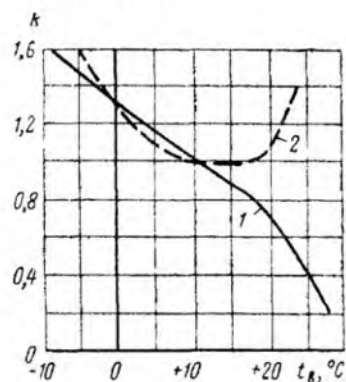


Рис. XI.17. Зависимость поправочного коэффициента k при определении теплоотдачи животных (коров 1 и свиней 2) от температуры помещения

В районах с низкой наружной температурой, удерживающейся в течение длительного времени, животноводческие постройки необходимо оборудовать системами отопления. Термическое сопротивление ограждающих конструкций этих помещений должно обеспечивать радиационную температуру в помещении, при которой лучистый теплообмен был бы в пределах, ограниченных зоной максимальной продуктивности животных.

Для районов, где расчетная наружная температура позволяет поддерживать необходимые микроклиматические условия в животноводческих помещениях за счет биологического тепла, выделяемого животными, которого достаточно для обеспечения требуемого воздухообмена в помещении, систему отопления можно не предусматривать.

Конкретные решения о применении системы искусственного обогрева помещения или организации системы естественного проветривания можно принять только после сравнения вариантов объемов капиталовложений и эксплуатационных затрат при условии обеспечения в том и другом случае необходимых микроклиматических параметров, не выходящих за пределы зоны максимальной продуктивности животных.

Систему искусственного обогрева животноводческих помещений следует предусматривать в том случае, если имеется неравенство

$$\frac{Q_{ж} - Q_{тп}}{I_{в} - I_{н}} < \frac{G_{нл} \cdot 1000}{d_{yx} - d_{np}} \quad (XI.38)$$

Это неравенство отражает необходимость снижения концентрации вредных веществ ниже уровня предельно допустимых и соответственно расхода тепла на нагревание свежего воздуха, поступающего в помещение.

Количество тепла, выделяемого животным, зависит от его вида, массы, породы, физиологического состояния и других факторов. Так, мо-

лочные коровы массой 300—600 кг выделяют явного тепла 510—880 Вт (438—759 ккал/ч), а общего тепла 700—1200 Вт (598—1039 ккал/ч).

Подробные сведения о тепловыделениях различных сельскохозяйственных животных приведены в нормах технологического проектирования животноводческих построек (см. НТП СХ 5-68).

Следует иметь в виду, что теплоотдача животного в большой степени зависит от температуры окружающего воздуха. Поэтому указанную в нормах теплоотдачу следует принимать с поправочным коэффициентом k , определяемым по графику, приведенному на рис. XI.17.

В животноводческих помещениях, как правило, следует проектировать системы воздушного отопления. Максимальная температура воздуха определяется исходя из условий подачи воздушной струи в помещение. Нагретый воздух должен подаваться через воздуховоды равномерной раздачи, причем струя воздуха не должна оказывать вредного влияния на животное.

В помещениях для содержания молодняка можно устраивать системы с местными отопительными приборами. Температура на поверхности приборов систем водяного отопления не должна превышать 95° С.

В помещениях для содержания свиней, особенно молодняка, целесообразно предусматривать обогрев полов с помощью регистров или змеевиков систем центрального водяного отопления.

Для основных животноводческих помещений могут быть рекомендованы схемы отопления, приведенные в табл. XI.6.

Таблица XI.6

Системы отопления животноводческих помещений

Назначение помещения	Отопление	
	основное	дополнительное
Коровники	Воздушное, совмещенное с приточной вентиляцией	—
Родильные отделения	То же	Водяное с температурой на поверхности прибора 95° С или электрообогреваемые полы
Профилактории	»	Локальные источники тепла
Телятники	»	Лампы инфракрасного излучения или газовые инфракрасные нагреватели
Свинарники-маточники	»	Локальные источники тепла, электронагреваемые полы
Свинарники-откормочники	»	Водяное с температурой на поверхности прибора 95° С

В отдельных случаях при соответствующем экономическом обосновании для поддержания в помещении заданной температуры могут быть использованы автоматизированные теплообменные системы на механическом побуждении, в которых для нагревания наружного воздуха используется биологическое тепло животных, выделяемое ими в помещении.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Удельное динамическое давление, приведенные коэффициенты трения и характеристики сопротивления труб системы водяного отопления

Диаметр труб, мм			G , кг/ч w , м/с	λ d_v , 1/м	$\Delta \cdot 10^4$ Па (кг/ч) ²	$S \cdot 10^4$ Па (кг/ч) ²	G , кг/ч при	
условный	наружный	внутренний					$w_{\text{пр}}$	$w_{\text{макс}} = 1,5$ м/с
<i>Трубы стальные водогазопроводные обыкновенные по ГОСТ 3262-62</i>								
15	21,3	15,7	690	2,7	10,6	28,6		1 035
20	26,8	21,2	1250	1,8	3,18	5,72	350	1 875
25	33,5	27,1	2000	1,4	1,23	1,72	650	3 000
32	42,3	35,9	3500	1	0,392	0,392	1400	5 250
40	48	41	4650	0,8	0,23	0,185	2000	6 970
50	60	53	7800	0,55	0,0824	0,0454	4000	11 700
<i>Трубы стальные электросварные по ГОСТ 10704-63</i>								
					$\Delta \cdot 10^4$	$S \cdot 10^4$		
50	57	49	6 600	0,6	11,3	6,8	3 500	10 500
70	76	70	13 400	0,4	2,68	1,07	8 000	20 100
80	89	82	18 400	0,3	1,425	0,43	12 000	27 600
100	108	100	27 600	0,28	0,643	0,148	22 000	41 400
125	133	125	43 000	0,18	0,265	0,0475	40 000	64 500
150	159	149	61 000	0,15	0,1355	0,0203	65 000	91 500

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ ДЛЯ ОРИЕНТИРОВОЧНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ЦИРКУЛЯЦИОННОГО ДАВЛЕНИЯ ВСЛЕДСТВИЕ ОХЛАЖДЕНИЯ ВОДЫ В ТРУБАХ

Двухтрубные системы

с естественной циркулирующей воды

$$\Delta p_{\text{е.тп}} = 44l^n N^{1,5}, \text{ Па;}$$

с насосной циркулирующей воды

$$\Delta p_{\text{е.тп}} = 24l^n N^{1,6}, \text{ Па,}$$

Однотрубные системы

с естественной циркулирующей воды

$$\Delta p_{\text{е.тп}} = 24l^n N^{1,62}, \text{ Па;}$$

с насосной циркулирующей воды

$$\Delta p_{\text{е.тп}} = 1,57l^n N^{2,74}, \text{ Па,}$$

где l — расстояние от главного стояка до расчетного;

N — число этажей в здании;

n — показатель степени (для одноэтажного здания равен 0,2; для каждого последующего этажа уменьшается на 0,02).

Примечания: 1. Формулы составлены для открытой прокладки стояков при изолированных магистральных трубах.

2. При прокладке стояков в бороздах без изоляции вводится поправочный коэффициент 0,75; при прокладке стояков в бороздах с изоляцией естественное циркуляционное давление вследствие охлаждения воды в трубах не учитывается.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Теплопередача через 1 м неизолированной стальной трубы

Разность температуры воды и окружающего воздуха, град	Теплопередача, Вт, через 1 м трубы условным диаметром d_y , мм					
	15	20	25	32	40	50
30	27	34	43	53	60	73
31	28	35	44	55	62	75
32	29	36	45	57	65	78
33	30	37	46	59	67	80
34	30	38	48	60	69	82
35	31	40	50	62	72	85

Продолжение прил 3

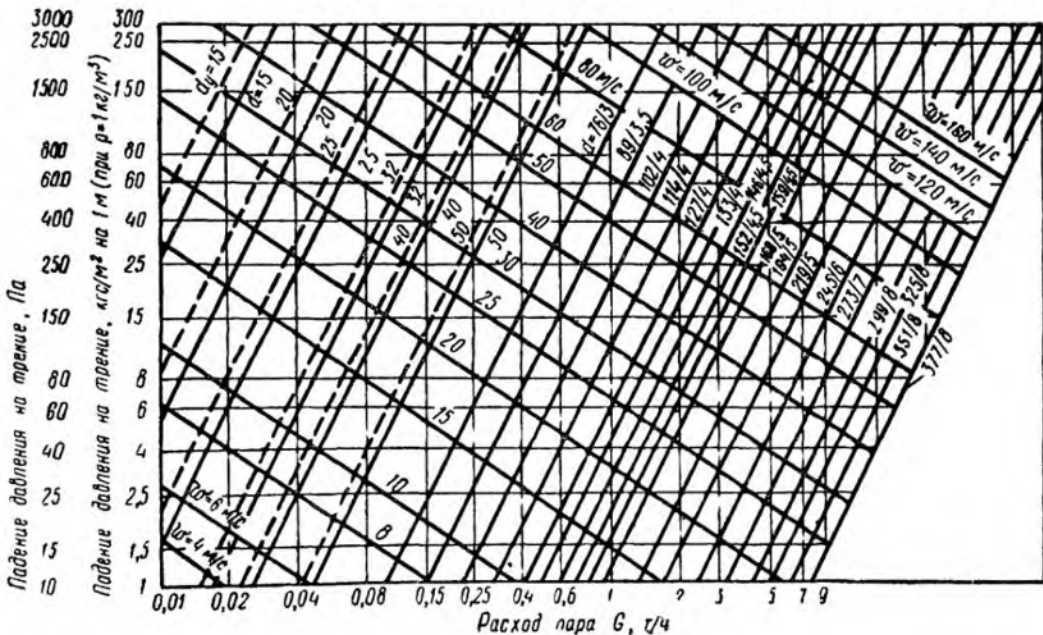
Разность температуры воды и окружающего воздуха, град	Теплопередача, Вт, через 1 м трубы условным диаметром d_y , мм					
	15	20	25	32	40	50
36	32	41	51	64	73	88
37	34	42	52	66	75	90
38	35	43	54	67	78	92
39	35	44	56	69	80	94
40	36	45	57	71	82	97
41	37	46	58	73	84	100
42	38	47	59	75	86	102
43	39	49	60	77	88	104
44	40	50	62	79	90	106
45	41	51	64	80	91	109

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Таблица для расчета переменного режима действия теплопроводов

ГОСТ	Условный диаметр d_y , мм	Эквивалентная длина $l_{\text{э}} = \frac{a}{\lambda}$ м	Площадь поперечного сечения трубы F , дм^2	Эквивалентное отверстие 1 м трубы $F_{\text{эе}}$ дм^2	Проводимость 1 м трубы σ	
					10^{-3} кг/(ч × Па ^{1/2})	10^{-3} [кг/ч]/[кгс/м ²] ^{1/2}
3262—62	10	0,278	0,0124	0,00654	0,0103	0,0322
	15	0,37	0,0194	0,01182	0,0187	0,059
	20	0,557	0,0354	0,02642	0,0418	0,13
	25	0,715	0,0573	0,0484	0,0765	0,239
	32	1	0,1004	0,1004	0,159	0,5
	40	1,25	0,132	0,148	0,234	0,737
	50	1,82	0,22	0,297	0,47	1,48
10704—63	50	1,67	0,189	0,244	0,386	1,2
	70	2,5	0,3849	0,61	0,965	2,27
	80	3,33	0,528	0,948	1,5	4,8
	100	4,35	0,785	1,644	2,6	8,15
	125	5,56	1,22	2,87	4,55	14,35
	150	6,67	1,74	4,48	7,1	22

Примечание. Величина характеристики сопротивления S дается в приложении 1.



- Трубы водогазопроводные обыкновенные
- - - Трубы усиленные

Приложение 4. Номограмма для расчета паропроводов высокого давления

Данные для расчета топочного пространства печей

Вид топлива	Нижняя рабочая теплотворность топлива		Плотность топлива, кг/м ³	Температура горения, °С	Допустимое на-пряжение колосниковой решетки, кг/(ч·м ²)	Толщина слоя топлива, см	Объем воздуха практически необходимый для сжигания 1 кг топлива, отнесенный к 0° и атмосферному давлению, м ³ /кг	Наименьшая высота над слоем топлива, см	Прозоры в колосниках, %	Тепловое напряжение объема топочного пространства	
	кДж/кг	ккал/кг								Вт/м ³	ккал/(ч м ³)
Дрова влажностью:											
25%	12 600	3000	400	1000	250	25—35*	10	25—45*	25	405 000	350 000
50%	7 550	1800	540	800	200	35—55	11	35—45	25	350 000	300 000
Торфяные брикеты	16 800	4000	250	1000	200	25	11	25—35	25	440 000	380 000
Торф кусковой воздушной сушки	12 600	3000	400	970	180	20—30	10	35—50	20	440 000	380 000
Уголь:											
подмосковный	12 600	3000	700	900	70	9—15	12	40—50	35	440 000	380 000
бурый (бокхед)	21 000	5000	750	1100	85	9—20	12	30—40	30	465 000	400 000
каменный (жирный)	25 200— 29 400	6000— 7000	800—900	1200	70	10—20	17	30—40	30	520 000	450 000
Кокс:											
каменноугольный	27 200	6500	400	1200	90—110	15—30	16	20—40	40—50	—	—
торфяной	29 300	7000	300	1100	—	20	17	—	—	—	—
Нефтяные остатки	41 900	10 000	900	1500	—	—	16	—	—	—	—
Антрацит	30 600	7300	1000	1300	60	15—25	17	20	40	555 000	480 000
Солома разная	10 500— 12 600	2500— 3000	100—120	800	—	25—40	10	50—70	18—20	405 000	350 000
Подсолнечная лузга	12 600	3000	100	800	—	—	10	35—40	50	405 000	350 000
Кукурузные стержни	8 400	2000	—	—	67—70	—	—	—	—	350 000	300 000
Горючие сланцы	11 300	2700	600	1000	70	15—20	12	40—80	50	290 000	250 000

* Вторая цифра обозначает толщину слоя топлива при $Q_1^0 > 12 600$ кДж/кг.

Данные для расчета газоходов отопительных печей

Вид топлива	Коэффициент теплопроводности α , Вт/м ² , температура t и скорость движения v газов											
	топливник		колпак		первый газоход $v=1,5-4$ м/с		промежуточные газоходы $v=0,5-2$ м/с		последний газоход $v=1,5-2$ м/с		дымовые трубы $v=2$ м/с	
	α	t °C	α	t °C	α	t °C	α	t °C	α	t °C	α	t °C
Дрова влажностью 25%	7000 (6000)	700	5200 (4500)	700	2670 (2300)	500	2670 (2300)	500	2670 (2300)	160	130	
Торф:												
кусковой	6400 (5500)	550	4650 (4000)	550	2300 (2000)	350	2300 (2000)	350	2300 (2000)	150	130	
брикетный	7000 (6000)	600	4850 (4200)	600	2550 (2200)	400	2550 (2200)	400	2550 (2200)	160	130	
Уголь:												
подмосковный	5800 (5000)	500	4050 (3500)	500	2300 (2000)	320	2300 (2000)	320	2300 (2000)	140	120	
бурый	5800 (5000)	550	4050 (3500)	550	2300 (2000)	350	2300 (2000)	350	2300 (2000)	140	120	
каменный	6400 (5500)	480	4650 (4000)	480	2300 (2000)	300	2300 (2000)	300	2300 (2000)	120	110	
антрацит	5200 (4500)	500	3700 (3200)	500	2300 (2000)	320	2300 (2000)	320	2300 (2000)	120	110	

Примечание. В скобках дано значение коэффициента теплопроводности α в ккал/(ч·м²).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Альтшуль А. Д., Киселев П. Г. Гидравлика и аэродинамика, изд. 2-е. М., Стройиздат, 1975.
- Андреевский А. К. Отопление (курс лекций). Минск, «Вышэйшая школа», 1974.
- Аше Б. М. Отопление и вентиляция. Т. 1. М.—Л., Стройиздат, 1939.
- Богословский В. Н. Строительная теплофизика. М., «Высшая школа», 1970.
- Белинкий Е. А. Рациональные системы водяного отопления. Л., Госстройиздат, 1963.
- Белоусов В. В., Михайлов Ф. С. Основы проектирования систем центрального отопления. М., Госстройиздат, 1962
- Вукалович М. П. Теплофизические свойства воды и водяного пара. М., «Машиностроение», 1967.
- Гусев В. М. Теплоснабжение и вентиляция. М., Стройиздат, 1973.
- Дюскин В. К. Тепловой и гидравлический режим систем водяного отопления. М., Изд-во МКХ РСФСР, 1955.
- Ермолаев Н. С. Проблемы теплоснабжения и отопления многоэтажных зданий. М., Стройиздат, 1949.
- Ильинский В. М. Строительная теплофизика (ограждающие конструкции и микроклимат зданий). М., Стройиздат, 1974.
- Ионин А. А. Газоснабжение, изд. 2-е. «Высшая школа», 1975.
- Каменев П. Н. Расчет однотрубных систем водяного отопления. М., Изд-во МКХ РСФСР, 1948.
- Копьев С. Ф. Теплоснабжение. М., Госстройиздат, 1953.
- Лейв Ж. Я., Либбер И. С. и др. Справочная книга по санитарной технике. Л., Лениздат, 1966.
- Ливчак И. Ф. Квартирное водяное отопление малоэтажных зданий. М., Изд-во МКХ РСФСР, 1950.
- Ливчак И. Ф. Системы отопления с бетонными отопительными панелями. М., Госстройиздат, 1956.
- Лобаев Б. Н. Расчет систем отопления. Киев, «Будівельник», 1966.
- Максимов Г. А. Отопление и вентиляция. Ч. I. Отопление. М., «Высшая школа», 1963.
- Семенов Л. А. Печное отопление. М., Стройиздат, 1968.
- Сканави А. Н. Динамика давления в системе водяного отопления. М., изд. МИСИ, 1971.
- Смухнин П. Н., Кулжинский Ю. И. и др. Курс отопления и вентиляции Изд. военно-инженерной академии, 1961.
- Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети. М., Госэнергоиздат, 1963.
- Справочник проектировщика. Отопление, водопровод и канализация, изд. 3-е. М., Стройиздат, 1975.
- Тилин Л. А. Лучистое отопление нагретым воздухом. М., Госстройиздат, 1955
- Туркин В. П. Отопление гражданских зданий. Челябинск, Южно-Уральское изд-во, 1974.
- Ушков Ф. В. Теплопередача ограждающих конструкций при наличии фильтрации воздуха. М., Стройиздат, 1969.
- Фокин К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий, изд. 4-е. М., Стройиздат, 1973.
- Чаплин В. М. Отопление и вентиляция Ч. I. Отопление. М., Госиздат, 1923.
- Чистович С. А. Автоматическое регулирование расхода тепла в системах теплоснабжения и отопления. Л., Стройиздат, 1975.
- Шифринсон Б. Л. Центральное отопление жилых зданий, экономический выбор схем. М., Изд-во МКХ РСФСР, 1948.
- Шкловер А. М. Теплопередача при периодических тепловых воздействиях, изд. 2-е. М., Госэнергоиздат, 1961.
- Шорин С. Н. Теплопередача. М., «Высшая школа», 1964
- Щеголев М. М., Гусев Ю. Л., Иванова М. С. Котельные установки, изд. 2-е. М., Стройиздат, 1972.
- Щекин Р. В. и др. Справочник по теплоснабжению и вентиляции. Ч. I, изд. 3-е. Киев, «Будівельник», 1968.
- Шепелев И. А. Приточные струи и воздушные фонтаны. — В сб.: Известия Академии строительства и архитектуры, № 4, 1961.
- Эккерт Э. Р., Дрейк Р. М. (пер. с англ.). Теория тепло- и массообмена, изд. 2-е. М., Госэнергоиздат, 1961.

Предисловие к третьему изданию 3

Глава I. Общие сведения об отоплении

§ 1. Предмет курса 5
 § 2. Физиологическое воздействие отопления 7
 § 3. Развитие техники отопления 9
 § 4. Затраты тепла на отопление 11
 § 5. Требования, предъявляемые к отопительной установке 12
 § 6. Классификация систем отопления 13
 § 7. Характеристика теплоносителей для отопления 18
 § 8. Сравнение основных систем отопления 22

Глава II. Тепловой режим здания

§ 9. Тепловая обстановка и условия комфортности для человека в помещении 25
 § 10. Обеспеченность расчетных условий 29
 § 11. Характеристики наружного климата холодного периода года 31
 § 12. Теплообмен на нагретой и охлажденной поверхностях в помещении и на наружной поверхности ограждения здания 33
 § 13. Стационарная передача тепла через наружные ограждения 37
 § 14. Теплоустойчивость ограждений 41
 § 15. Влияние воздухопроницаемости и влажности материалов на теплопередачу через ограждения 45
 § 16. Защитные свойства наружных ограждений 48
 § 17. Теплоустойчивость помещения 57
 § 18. Расчетная тепловая мощность системы отопления 63
 § 19. Использование тепловой мощности системы отопления и годовые затраты тепла на отопление 81
 § 20. Учет особенностей теплового режима при выборе системы отопления здания 83

Глава III. Элементы систем центрального отопления

§ 21. Отопительные приборы и предъявляемые к ним требования 87
 § 22. Основные виды отопительных приборов 89
 § 23. Коэффициент теплопередачи отопительного прибора 97
 § 24. Эквивалентная нагревательная поверхность прибора 108
 § 25. Выбор и размещение отопительных приборов в помещении 115
 § 26. Расчет площади нагревательной поверхности приборов 122
 § 27. Регулирование теплового потока отопительного прибора 130
 § 28. Трубы систем центрального отопления 133
 § 29. Соединение труб 135
 § 30. Размещение отопительных труб в здании 135
 § 31. Размещение запорно-регулирующей арматуры 139
 § 32. Компенсация удлинения труб 143
 § 33. Уклон труб 144
 § 34. Перемещение и удаление воздуха 146
 § 35. Расширительный бак 150
 § 36. Изоляция труб 156

Глава IV. Водяное отопление

§ 37. Принципиальные схемы системы отопления при водяном теплоснабжении 159
 § 38. Циркуляционный насос 163
 § 39. Смесительная установка 168
 § 40. Динамика давления в системе отопления 172
 § 41. Схемы современной системы отопления 192
 § 42. Естественное циркуляционное давление 198
 § 43. Расчетное циркуляционное давление 210
 § 44. Принципы проектирования системы отопления 213
 § 45. Эпюра циркуляционного давления в системе отопления 215
 § 46. Децентрализованные системы водо-водяного отопления 217
 § 47. Отопление высотных зданий 218
 § 48. Гравитационные системы отопления 220

Глава V. Гидравлический расчет систем водяного отопления

§ 49. Потеря давления в сети 226
 § 50. Коэффициенты гидравлического трения и местного сопротивления 229
 § 51. Местные сопротивления замыкающих участков в однотрубных системах 233
 § 52. Коэффициент затекания воды в отопительные приборы в системах с замыкающими участками 239
 § 53. Общие указания по расчету системы водяного отопления 250
 § 54. Вертикальная однотрубная система отопления с верхней разводкой 252
 § 55. Вертикальная однотрубная система отопления с нижней разводкой 261
 § 56. Горизонтальная однотрубная система отопления 263
 § 57. Двухтрубная насосная система отопления с верхней разводкой 271
 § 58. Двухтрубная насосная система отопления с нижней разводкой 277
 § 59. Двухтрубная гравитационная система отопления с верхней разводкой 280

	Стр
§ 60 Двухтрубная гравитационная система отопления с нижней разводкой	284
§ 61 Квартирная система водяного отопления	287
Глава VI Паровое отопление	
§ 62 Принцип действия системы парового отопления	294
§ 63 Классификация систем парового отопления	295
§ 64 Выбор давления пара и гидравлический расчет систем	301
§ 65 Пар вторичного вскипания	308
§ 66 Оборудование систем парового отопления	310
§ 67 Преимущества и недостатки систем парового отопления	315
§ 68 Пароводяные системы отопления	315
Глава VII Воздушное отопление	
§ 69 Характеристика воздушного отопления	319
§ 70 Классификация систем воздушного отопления	320
§ 71 Количество и температура воздуха для отопления	323
§ 72 Местное воздушное отопление	325
§ 73 Рециркуляционные воздуонгреватели	332
§ 74 Центральное воздушное отопление	338
§ 75 Особенности расчета систем центрального воздушного отопления	342
§ 76 Пути совершенствования воздушного отопления зданий	346
§ 77 Воздушно тепловые завесы	348
Глава VIII Панельно лучистое отопление	
§ 78 Особенности панельно лучистого отопления	353
§ 79 Тепловой комфорт при панельно лучистом отоплении	355
§ 80 Температура поверхности ограждений помещения	357
§ 81 Теплообмен в помещении при панельно лучистом отоплении	358
§ 82 Конструкция отопительных панелей	363
§ 83 Теплоносители и схемы систем панельного отопления	370
§ 84 Площадь и температура отопительных панелей	373
§ 85 Расчет теплопередачи отопительных панелей	378
§ 86 Принципы проектирования системы панельного отопления	384
Глава IX Регулирование и надежность систем центрального отопления	
§ 87 Пусковое и эксплуатационное регулирование	387
§ 88 Регулирование систем водяного отопления	390
§ 89 Регулирование систем парового отопления	393
§ 90 Переменный режим действия теплопроводов	394
§ 91 Надежность системы водяного отопления	406
Глава X Местное отопление	
§ 92 Печное отопление Общая характеристика	424
§ 93 Классификация печей и дымовых труб	425
§ 94 Топливники печей	426
§ 95 Теплоемкие печи	428
§ 96 Нетеплоемкие печи	434
§ 97 Отопительно вьюрные печи	435
§ 98 Правила кладки печей и дымовых труб	436
§ 99 Тяга в каналах печей и дымовых труб	438
§ 100 Расчет печного отопления	439
§ 101 Газовое отопление	443
§ 102 Газовые отопительные приборы	444
§ 103 Электрическое отопление	449
Глава XI Особенности отопления сельскохозяйственных зданий и сооружений	
§ 104 Культивационные сооружения для круглогодичного выращивания овощей	454
§ 105 Птицеводческие помещения	461
§ 106 Животноводческие постройки	465
Приложения	474
Список литературы	478