

66
MS4

2169

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ

Кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к курсовому проекту
по дисциплине
«Теплотехника и теплотехническое оборудование»
для студентов заочной формы обучения
специальности Т.19.02 –
«Производство строительных изделий и конструкций»

Минск 2001

УДК 666.97 (075.8)

Работа подготовлена в соответствии с учебным планом для студентов заочной формы обучения по специальности Т.19.02, с использованием действующих нормативных документов, литературных источников последних лет издания и опыта преподавания.

Изложены принципы расчета тепловых агрегатов и методика составления тепловых балансов установок периодического и непрерывного действия.

Составители:

Л.В.Нестеров, А.И.Орлович

Рецензент Э.И.Батяновский

Учебное издание

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к курсовому проекту по дисциплине
«Теплотехника и теплотехническое оборудование»
для студентов заочной формы обучения специальности Т.19.02 –
«Производство строительных изделий и конструкций»

Составители: НЕСТЕРОВ Лев Валентинович
ОРЛОВИЧ Анна Ивановна

Редактор Г.В.Ширкина

Подписано в печать 22.11.2000.

Формат 60x84 1/16. Бумага тип. № 2. Офсет. печать.

Усл.печ.л. 1,9. Уч.-изд.л. 1,5. Тираж 75. Зак. 436.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусская государственная политехническая академия.

Лицензия ЛВ № 155 от 30.01.1998 г. 220027, Минск, пр.Ф.Скорины, 65.

© Составление, Нестеров Л.В.,
Орлович А.И., 2001

Введение

Теплотехническое оборудование, используемое на предприятиях строительной индустрии для ускорения твердения изделий, относится к высокоэнергоёмкому. В среднем по Республике Беларусь расход тепловой энергии на производство 1 м^3 сборного железобетона составляет 0,3 Гкал. Высокая стоимость энергоносителей при низкой эффективности их использования, неритмичная поставка топлива и другие причины приводят к сокращению объёмов выпускаемой продукции. При таких обстоятельствах необходим иной подход к процессам ускорения твердения бетона в заводских условиях. Максимально возможное использование химических добавок, переход на низкотемпературные режимы, использование частично-термосных и термосных режимов требуют грамотного инженерного подхода к конструированию тепловых установок, теплотехническому расчёту ограждающих конструкций, составлению теплового баланса.

Инженер-технолог должен уметь использовать теоретические знания, полученные в процессе обучения, новейшие достижения науки и техники в области ускорения твердения строительных изделий и конструкций для конкретных условий производства.

Целью курсового проектирования является подготовка студента к самостоятельной разработке энергосберегающего теплотехнического оборудования, используемого в промышленности строительных материалов для ускорения твердения изделий и конструкций. Проектирование включает технологический и теплотехнический расчёт установок, назначение оптимальных режимов тепловой обработки, позволяющих экономить тепловую энергию и повышать эффективность работы агрегатов.

При выполнении курсового проекта необходимо проработать теоретическую часть курса, изучить дополнительную литературу, ознакомиться с устройством и работой действующих тепловых установок.

1. Задание

Курсовое проектирование предусматривает разработку студентом конструкций одной из тепловых установок для ускорения твердения строительных изделий и конструкций. Задание по курсовому проекту выдается студентам во время установочных занятий. В задании в качестве исходных данных приводятся: вид изделий, годовая производительность линии, тип теплового агрегата, параметры теплоносителя на вводе в цех, сменность работы предприятия. Недостающие сведения следует выбирать из справочной и нормативной литературы, типовых проектов, рассчитывать самостоятельно (например состав бетонной смеси), а также использовать разработки передовых предприятий.

2. Состав курсового проекта

Курсовой проект состоит из расчетно-пояснительной записки и графической части.

Расчетно-пояснительную записку следует выполнять на листах формата 210x297 мм, руководствуясь требованиями ЕСКД.

Записка включает, как правило, следующие разделы:

1. Введение.
2. Характеристика материалов и габаритные размеры изделий, форм.
3. Краткое описание технологического процесса изготовления изделий.
4. Выбор и обоснование режима тепловой обработки, расчет прогрева изделий.
5. Конструктивный расчет установки и определение требуемого количества тепловых агрегатов.
6. Теплотехнический расчет установки.
7. Определение удельных и часовых расходов теплоты и теплоносителя.
8. Расчет трубопроводов.
9. Пути снижения теплотрат при тепловой обработке, вторичное использование энергоресурсов.
10. Техника безопасности.
11. Список использованных источников.

Все расчеты следует выполнять с применением терминов, сокращений, обозначений единиц согласно принятым в научно-технической литературе и действующей системе единиц (СИ; допускаемые к применению единицы других систем).

Все используемые в расчетах справочные данные должны сопровождаться ссылками на литературные источники, список которых приводится в перечне использованной литературы.

Графическая часть проекта составляет обычно 1 лист формата А1 (594x841 мм), на котором отражается план линии (цеха) по производству заданного вида изделий, план и разрезы проектируемой установки, отдельные узлы и детали агрегата, график тепловой обработки с изображением на нем кривых изменения температуры среды, поверхности и центра изделия, а также аксонометрическая схема системы теплоснабжения установок.

3. Содержание расчетно-пояснительной записки

Во введении к записке содержатся основные аспекты, отображающие роль тепловой обработки в повышении производительности технологической линии, краткий обзор способов ускорения твердения, применяемых при выпуске проектируемых изделий, а также цель и задачи, которые должны быть решены при выполнении курсового проекта.

3.1. Характеристика материалов, габаритные размеры изделий, форм

Применяемые в производстве заданного вида изделий материалы, состав бетонной смеси, вид химической добавки принимаются студентом самостоятельно на основании расчета по любой из существующих методик либо в соответствии с рекомендациями [7, 10], либо согласно разработкам заводских лабораторий передовых предприятий.

Габаритные размеры изделий, форм, форм-вагонеток подбираются по технологическим картам, справочникам, каталогам строительных изделий и конструкций.

В конце этого раздела необходимо привести состав бетона на 1 м^3 , объем изделий ($V_{из}$), объем бетона в изделии ($V_{б}$), массу изделия ($M_{из}$), массу формы ($M_{ф}$), массу формы-вагонетки ($M_{ф/в}$).

3.2. Краткое описание технологического процесса изготовления изделий

Выбирается технологическая схема производства изделий (стендовая, агрегатно-поточная или конвейерная), которая должна быть согласована с графической частью работы, отображаемой на плане цеха. Дается краткое описание технологического процесса в виде технологической карты с указанием времени загрузки, разгрузки установок, ритма движения конвейера, полного технологического цикла изготовления изделий ($\tau_{ц}$).

3.3. Выбор и обоснование режима тепловой обработки, расчет прогрева изделий

Назначение режимов тепловой обработки должно производиться на основании нормативной литературы [7...10] с учетом вида и класса бетона, активности цемента при пропаривании, толщины изделий,

наличия химической добавки, предварительного напряжения арматуры, способа подвода теплоты (типа установки), требуемой прочности бетона и других факторов. При этом выбираются продолжительность предварительной выдержки (в случае ее необходимости), время подъема температуры среды до требуемой, продолжительность изотермической выдержки (при использовании изотермических режимов), время охлаждения.

Назначение энергосберегающих режимов должно быть тесно увязано с теплотехническими и конструктивными особенностями тепловых агрегатов.

Следующим этапом работы является проверка выбранного режима тепловой обработки, заключающаяся в расчете средних температур по сечению обрабатываемых изделий к концу основных периодов тепловой обработки: подъема температуры и изотермической выдержки. Особое значение имеет расчет температуры в период нагрева, так как на этой стадии температурные градиенты по сечению изделия существенно влияют на процессы структурообразования.

Для расчета температур можно воспользоваться критериальными зависимостями теплопроводности при нестационарных условиях теплопередачи [1, 2]. Бетон рассматривается как инертное тело без учета теплоты, выделяющейся при гидратации цемента.

Качественную характеристику скорости изменения температуры тела при неустановившемся режиме учитывают критериальным комплексом Фурье

$$F_0 = \frac{a \cdot \tau}{R^2}, \quad (1)$$

где τ – продолжительность нагрева (охлаждения), ч;
 R – определяющий размер изделия, м; при двустороннем подводе теплоты $R = \delta/2$, при одностороннем – $R = \delta$, где δ – толщина изделия;

a – коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{ч}$;

$$a = \frac{3,6\lambda}{c \cdot \rho}, \quad (2)$$

где λ – коэффициент теплопроводности материала, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$; для твердеющего бетона в зависимости от вида и плотности $\lambda = 1,5 \dots 2,5 \text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$;

c – теплоемкость материала, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$, определяется по формуле (28);

ρ – плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Зависимость скорости распространения теплоты в изделии от интенсивности внешнего теплообмена учитывается критериальным комплексом Био

$$Bi = \frac{\alpha \cdot R}{\lambda}, \quad (3)$$

где α – коэффициент теплоотдачи от среды к поверхности обрабатываемого изделия, Вт/(м²·°С); α зависит от скорости движения теплоносителя, влажности среды, перепада температур между средой и поверхностью изделия и т.д. Выбор конкретных величин должен основываться на понимании процессов теплообмена в рассматриваемой тепловой установке. Для определения α можно воспользоваться [1...5].

При расчете температуры материала в точке x используется критериальная зависимость типа

$$\Theta = \frac{t_c - t_x}{t_c - t_n} = f(F_0, Bi, x/R), \quad (4)$$

где Θ – безразмерная температура;

t_c – средняя температура среды за соответствующий расчетный период, °С;

t_n – температура изделия в начале расчетного периода, °С.

Температура на поверхности равна

$$t_n = t_s - \Theta_n(t_c - t_n). \quad (5)$$

Температура в центре изделия

$$t_y = t_c - \Theta_u(t_c - t_n). \quad (6)$$

Значения безразмерной температуры Θ_n , Θ_u определяются по таблицам или графикам (рис. 1,2) [1,2] исходя из рассчитанных величин F_0 и Bi .

Средняя температура изделия за расчетный период определяется по формуле

$$t_{\delta}^{cp} = \frac{t_n + 2t_y}{3}. \quad (7)$$

По изложенной методике температуру изделий получают без учета теплоты гидратации. В реальных условиях экзотермия цемента в процессе твердения бетона будет способствовать повышению температуры. Поэтому при расчете средняя температура бетона к концу изотермической выдержки может быть уменьшена на 5...10°С по отношению к заданной по режиму.

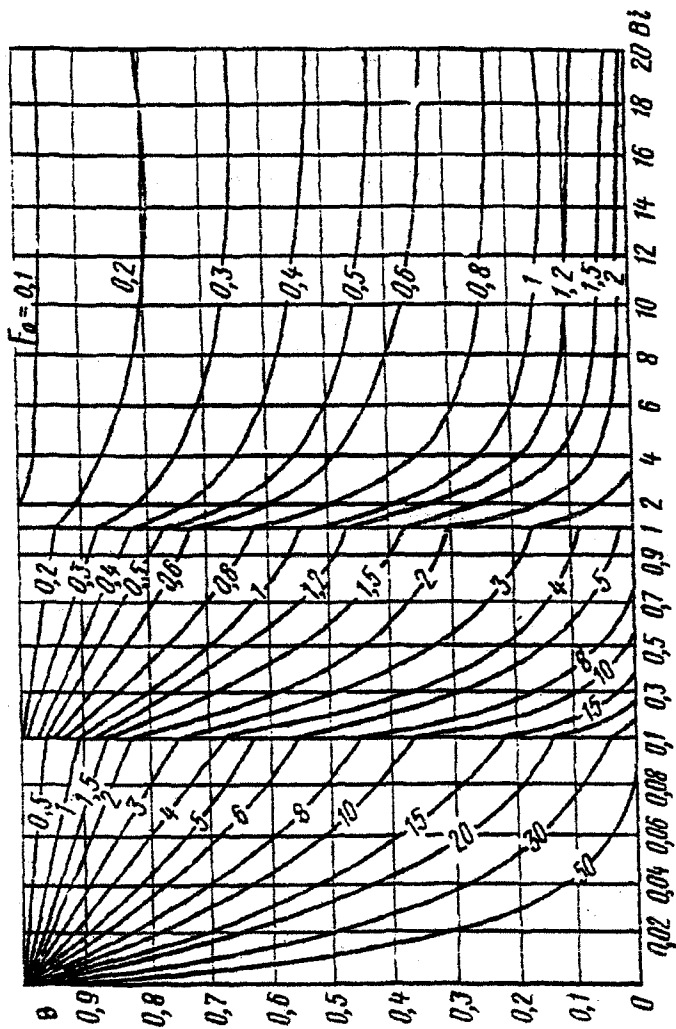


Рис. 1. График для определения температуры в центре пластины

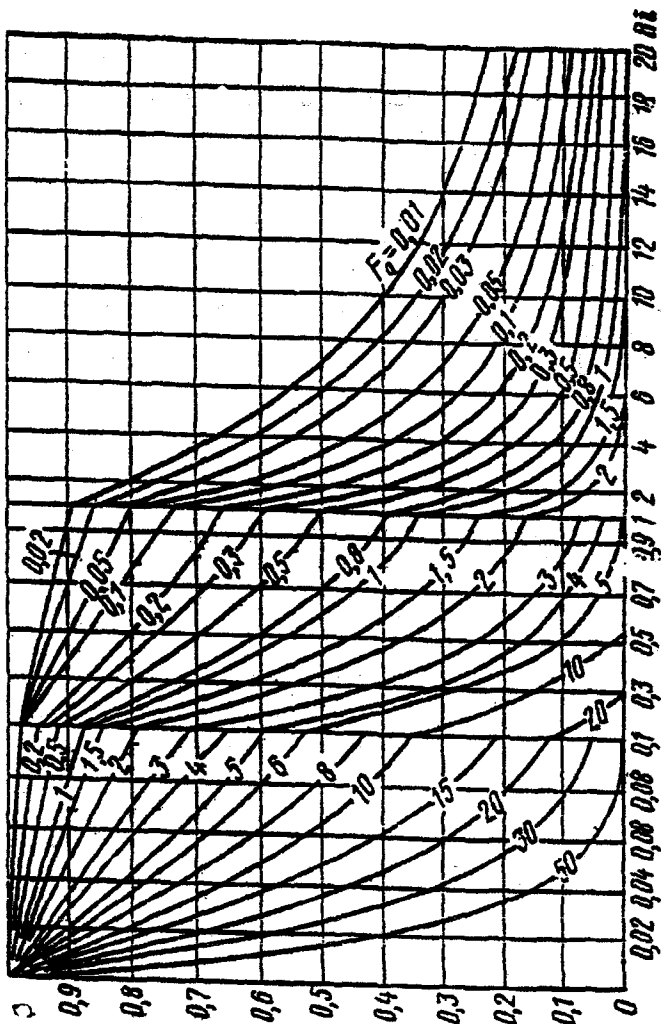


Рис. 2. График для определения температуры на поверхности пластины

3.4. Конструктивный расчет установки и определение требуемого количества тепловых агрегатов

3.4.1. Установки периодического действия (УПД)

При выполнении данной части курсового проекта необходимо использовать сведения о продолжительности тепловой обработки, времени загрузки и выгрузки изделий в установку, габаритных размерах изделий, форм и их объеме.

Для УПД (например пропарочных камер) учитывается общее количество изделий (n), одновременно обрабатываемых в установке, количество изделий по высоте (n_h), число штабелей по длине (m_L) и ширине (m_b).

Габаритные размеры УПД определяются размерами изделий и форм и рассчитываются по выражениям

$$\text{длина } L_k = m_L \cdot l_\phi + 2 \cdot l_1 + l_2, \text{ м;} \quad (8)$$

$$\text{ширина } B_k = m_b \cdot b_\phi + 2 \cdot l_1 + l_2, \text{ м;} \quad (9)$$

$$\text{высота } H_k = n_h \cdot h_\phi + (n - 1) \cdot h_1 + h_2 + h_3, \text{ м;} \quad (10)$$

где l_ϕ , b_ϕ , h_ϕ – длина, ширина и высота форм соответственно, м;
 h_1 , h_2 , h_3 – расстояния по высоте между формами, верхней формой и крышкой, днищем нижней формы и полом камеры, м:

$$h_1 = 0,05 \dots 0,075 \text{ м}, h_2 = 0,05 \text{ м}, h_3 = 0,15 \text{ м};$$

l_1 – расстояние между формой и стенкой камеры, достаточное для прохода захватов автоматической траверсы, м; $l_1 = 0,2 \dots 0,3$ м;

l_2 – расстояние между штабелями форм, м; $l_2 = 0,2$ м.

Указанные здесь расстояния и размеры (для иных установок) могут быть изменены при достаточном обосновании.

С целью исключения возможного расслоения паровоздушной смеси высота камеры ограничивается: для установок с парораздачей через перфорированные трубы – до 3 м, а с интенсивной циркуляцией греющей среды – до 4 м.

Габаритные размеры серийно выпускаемых промышленностью установок (кассет, термоформ, автоклавов) не рассчитываются, а выбираются из технических характеристик (паспортных данных) установок. По паспортным данным устанавливается количество обрабатываемых изделий и объем загружаемого бетона. Размеры индивидуальных термоформ и кассетных установок определяются размерами изделий и их количеством. Тепловые отсеки для изготовления внутренних стен и панелей перекрытия размещаются через два изделия, при изготовлении наружных стен – через одно изделие.

Число установок периодического действия определяется по выражению

$$D = \frac{N_0 \cdot \tau_u}{\sum V_{\sigma} \cdot M \cdot K \cdot Z} \quad (11)$$

где N_0 – годовая производительность линии, м³;

τ_u – продолжительность цикла работы установки (с учетом времени предварительной выдержки, загрузки и разгрузки, длительности тепловой обработки $\tau_{т.о.}$), ч;

$\sum V_{\sigma}$ – суммарный объем бетона, одновременно обрабатываемого в одной установке, м³;

M – число рабочих дней в году;

K – число смен;

Z – продолжительность рабочей смены, ч.

При числе установок $D > 5$ необходимо предусмотреть резерв в 1...2 установки. По окончании этой части расчета необходимо скомпоновать полученное число УПД в блоки и увязать их расположение с технологической линией.

3.4.2. Установки непрерывного действия (УНД)

Из установок этого типа наибольшее распространение получили щелевые, полигональные камеры, вертикальные камеры.

Щелевые и полигональные камеры

Геометрические размеры камеры зависят от ее производительности, ритма конвейера и режима термообработки.

Часовая производительность установки определяется по выражению

$$N_r = \frac{N_0}{V_{изд} \cdot M \cdot K \cdot Z}, \text{ изд/ч}, \quad (12)$$

где $V_{изд}$ – средний объем изделия, м³.

Габаритные размеры УНД рассчитываются по формулам (13...18).

$$\text{Длина } L_k = L_I + L_{II} + L_{III} = N_r \cdot \tau_{т.о.} \cdot (l_{\phi} + l_1), \quad (13)$$

где L_I, L_{II}, L_{III} – длины зон подъема температуры, изотермической выдержки и охлаждения соответственно, м;

$$L_I = N_r \cdot \tau_I (l_{\phi} + l_1); \quad (14)$$

$$L_{II} = N_r \cdot \tau_{II} (l_{\phi} + l_1); \quad (15)$$

$$L_{III} = N_r \cdot \tau_{III} (l_{\phi} + l_1), \quad (16)$$

где l_{ϕ} – длина формы-вагонетки, м (на 0,5 м может превышать длину изделия);

l_1 – зазор между формами-вагонетками по длине, 0,05...0,1 м;

$\tau_I, \tau_{II}, \tau_{III}$ – продолжительность периодов подъема температуры, изотермической выдержки и охлаждения.

Высота камеры

$$H = n_{\text{я}} \cdot (h_{\phi} + a) - a + h_1 + h_2, \quad (17)$$

где $n_{\text{я}}$ – количество ярусов в камере;
 h_{ϕ} – высота формы-вагонетки, м;
 a – свободный промежуток между формами-вагонетками по высоте, равный 0,1...0,2 м;
 h_1 – расстояние от низа формы-вагонетки до пола камеры, определяется высотой рельсового пути от пола камеры и высотой рельса, м;
 h_2 – расстояние от верхней поверхности изделия до перекрытия, м;
 $h_2 = 0,1...0,2$ м при размещении нагревательных элементов по боковым стенкам камеры. Горизонтальное размещение их увеличит зазоры, h_1 и h_2 принимаются конструктивно.

Ширина камеры при устройстве прохода посередине

$$B = b_{\phi} + 2b_1, \quad (18)$$

где b_1 – допустимый зазор между стенами камеры и формой-вагонеткой, определяется конструктивно (0,2...0,5 м); при установке боковых регистров – 0,3...0,4 м.

При устройстве прохода сбоку ширина B увеличивается на 0,6 м для одного прохода.

Размеры и число УНД определяются возможностью размещения их по длине цеха. Если расчетная длина камеры выходит за габариты разрешенной площади цеха, то принимают несколько установок одинаковой длины, располагаемых рядом и увязанных с технологическим оборудованием цеха. Длина горизонтальной камеры для УТП-1 не должна превышать 127 м.

Вертикальные пропарочные камеры

Характеризуются одинаковой длительностью периодов разогрева (τ_I) и остывания (τ_{III}) изделий в камере. Следовательно, количество изделий в зонах подъема температуры и охлаждения также будет равным ($N_I = N_{III}$).

Количество изделий в зоне изотермического прогрева

$$N_{II} = N_r \tau_{II}. \quad (19)$$

N_r рассчитывается по формуле (12).

Общее число изделий в камере

$$N = N_I + N_{II} + N_{III}. \quad (20)$$

При $N > 20$ следует принимать не менее двух потоков изделий в камере ($n_{\text{п}} = 2$) с четырьмя подъемниками-снижателями.

Из условия полной загрузки камеры и размещения двух изделий в верхней зоне на передаточном устройстве на каждом подъемнике-снижателе должно быть определенное количество изделий, которое рассчитывается по формуле

$$S = \frac{N-2}{2 \cdot n_{II}} \quad (21)$$

Внутренние габариты камеры вычисляются по формулам (22...25).

$$\text{Длина } L_k = 2 \cdot n_{II} \cdot l_{\phi} + 2(n_{II} - 1) \cdot l_1 + l_1 + 2 \cdot l_2, \quad (22)$$

где l_1 – расстояние между формами-вагонетками по длине, м (0,05... 0,1 м);

l_2 – технологический зазор между формой и стенкой камеры, м (0,35...0,4 м).

Ширина камеры определяется по формуле (18).

Высота равна

$$H = (S + 1) \cdot h_{\phi} + S \cdot h_1 + h_2 + h_3, \quad (23)$$

где h_1 – технологический зазор между формами, равный 0,1...0,2 м;

h_2 – расстояние от уровня пола до низа первой формы на кронштейне камеры, м; при размещении первой формы выше входного отверстия камеры при высоте рельса h_p размер $h_2 = h_p + h_{\phi}$;

h_3 – расстояние от верха последней формы до потолка камеры; для размещения передаточного устройства принимается равным 0,5...0,6 м.

Границы зон разогрева, изотермической выдержки и охлаждения устанавливаются исходя из количества изделий, находящихся в этих зонах, и числа потоков.

Длина зоны изотермического выдерживания

$$L_{II} = N_{II} \cdot (h_{\phi} + h_1). \quad (24)$$

Так как в этой зоне изделия распределяются по двум пакетам (при одном потоке), то высота зоны изотермической выдержки $H_{II} = L_{II} / 2$, м.

Высота зоны нагрева и охлаждения

$$H_I = H_{III} = H - H_{II}. \quad (25)$$

3.5. Теплотехнический расчет установки

Теплотехнический расчет заключается в составлении теплового баланса установок, на основании которого определяется расход теплоты, требуемой на тепловую обработку изделий. От того, насколько полно уравнение теплового баланса учитывает составляющие и в какой мере достоверны методики определения каждой статьи, зависит точность определения удельного расхода энергии и вероятность установления непроизводительных потерь теплоты в агрегате.

Базовой величиной для расчета теплового баланса является количество теплоты, расходуемое за цикл тепловой обработки для установок периодического действия и за 1 час для установок непрерывного действия. Тепловой баланс составляют для периода нагре-

ва и периода изотермической выдержки для установки в целом или отдельных ее зон.

На основе теплового баланса подбирают диаметр труб для подвода теплоносителя, составляют программу автоматического регулирования процесса тепловой обработки. Если установки оснащены электронагревательными приборами, то рассчитывают мощность и количество электронагревателей.

Ниже приводится методика составления теплового баланса наиболее широко распространенных тепловых установок.

3.5.1. Тепловой баланс пропарочной камеры

Наиболее широкое распространение получило следующее уравнение теплового баланса, состоящее из приходной и расходной части:

$$Q + Q_{\text{экз}} = \beta(Q_b + Q_f + Q_{\text{опр}} + Q_{\text{пот}} + Q_{\text{исп}} + Q_{\text{к}} + Q_{\text{ср}}), \quad (26)$$

где $Q = G_n \cdot i_n$ – поступление теплоты от теплоносителя в каждом из периодов или за весь цикл тепловой обработки, кДж; эта величина в уравнении теплового баланса обычно является неизвестной;

G_n – расход теплоносителя, кг;

i_n – энтальпия теплоносителя, поступающего в установку, кДж/кг;

$Q_{\text{экз}}$ – количество теплоты, выделяющейся в процессе экзотермической реакции гидратации цемента с водой затворения, кДж; эта статья баланса относится к приходной части уравнения;

$Q_b, Q_f, Q_{\text{опр}}, Q_{\text{пот}}, Q_{\text{исп}}, Q_{\text{к}}, Q_{\text{ср}}$ – количество теплоты, расходуемое за расчетный период на нагрев (соответственно бетона изделий, металла форм, ограждающих конструкций камеры), а также покрытие потерь теплоты в окружающую среду, испарение влаги, потери с конденсатом и нагрев паровоздушной среды камеры, кДж;

β – коэффициент, учитывающий непредвиденные потери теплоты, принимаемый равным 1,05...1,3 [3,5]. Наименьшая величина принимается при автоматическом регулировании режима тепловой обработки.

1). Теплота на нагрев бетона изделий

Количество теплоты, расходуемое на нагрев массы изделий, определяется по формуле

$$Q_b = c_b \cdot G_b \cdot (t_k - t_n), \quad \text{кДж}, \quad (27)$$

где c_b – средневзвешенная теплоемкость бетонной (растворной и т.д.) массы изделий, кДж/(кг·°С);

$G_b = G_c + G_g + G_m$ – масса изделий, одновременно загружаемых в установку, кг;

G_c, G_g, G_m – массы сухих составляющих, воды затворения, металла арматуры и закладных деталей соответственно, кг;
 t_n, t_k – средние температуры бетона в начале и в конце соответствующего периода, °С.

Средняя температура определяется по формуле (7).

Средневзвешенная теплоемкость бетонной массы определяется по формуле

$$c_b = \frac{(c_c \cdot G_c + c_n \cdot G_n + c_{щ} \cdot G_{щ}) + c_g \cdot G_g + c_m \cdot G_m}{G_c + G_n + G_m + G_g + G_m}, \text{ кДж/(кг}\cdot\text{°С)}, \quad (28)$$

где $c_c, c_n, c_{щ}, c_g, c_m$ – массовые теплоемкости цемента, песка, щебня, воды, металла арматуры соответственно, кДж/(кг·°С).

Значения теплоемкости строительных материалов и их составляющих определяют по [11] или табл. 1.

$G_c, G_n, G_{щ}, G_g, G_m$ – масса цемента, песка, щебня, воды затворения и металла арматуры соответственно, кг.

Таблица 1

Теплоемкость некоторых металлов, твердых и жидких веществ

Наименование	Удельная теплоемкость, кДж/(кг·°С)	Наименование	Удельная теплоемкость, кДж/(кг·°С)
Алюминий	0,84	Бетон	0,84
Сталь	0,48	Песок	0,84
Асбест	0,82	Гранитный щебень	0,89
Асбошифер	0,84	Гравийный щебень	0,85
Плиты минераловатные	0,84	Керамзит	0,84
Пенополиуретан	1,47	Цемент	1,13
Пенополистирол	1,34	Зола	0,75
Пеностекло	0,84	Вода	4,19
Дерево	2,3	Лед	1,80

2). Теплота на нагрев форм

Количество теплоты, расходуемое на нагрев форм или опалубки, определяется по выражению

$$Q_f = c_m \cdot G_f \cdot (t_k - t_n), \text{ кДж}, \quad (29)$$

где c_m – теплоемкость материала форм, кДж/(кг·°С);

G_f – масса форм, кг;

t_k – конечная температура поверхности бетона изделий в соответствующем периоде, °С;

$t_{н}$ – начальная температура материала форм, равная: в период подъема температуры – температуре воздуха в цеху или на улице, а в период изотермической выдержки – температуре поверхности бетона изделий в конце периода подъема температуры, °С.

Величина $G_{ф}$ может быть принята по металлоемкости форм в зависимости от вида обрабатываемых изделий из табл. 2 [10].

Таблица 2

Удельная масса металлических форм

Вид изделий	Удельная масса форм, т/м ³
Балки покрытий	1,0...1,2
Ригели, прогоны	1,4...2,0
Стеновые панели	0,8...1,4
Панели перекрытий	2,8...3,4
Ребристые плиты	4,0...4,5

3). Теплота на разогрев конструкций камеры

а). Теплота на разогрев ограждающих (стен, днища) конструкций установки для тепловой обработки рассчитывается по формуле

$$Q_{огр} = \sum c_i \cdot G_i \cdot (t_{ки} - t_{ни}), \text{ кДж}, \quad (30)$$

где c_i – массовая теплоемкость соответствующего слоя конструкции рассматриваемого ограждения, кДж/(кг·°С);

G_i – масса рассматриваемого слоя, кг;

$t_{ки}$ – средняя конечная температура материала рассматриваемого слоя конструкции, °С;

$t_{ни}$ – начальная температура материала рассматриваемого слоя конструкции, °С.

Средняя конечная температура материала рассматриваемого слоя конструкции $t_{ки}$ рассчитывается как среднее арифметическое значение температур на границе отдельных слоев. Температура на границе слоев рассчитывается по формуле

$$t_x = t_{cp} - \frac{t_{cp} - t_0}{R_0} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_s} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right), \quad (31)$$

где t_0 – температура окружающего воздуха, °С;

t_{cp} – температура среды в камере в процессе термообработки,

°С; в период подъема температуры $t_{cp} = \frac{t_0 + t_{из.в.}}{2}$;

$t_{из.в.}$ – температура изотермической выдержки, °С;

R_0 – общее сопротивление теплопередачи ограждающих конструкций, (м²·°С)/Вт;

$\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}$ – термическое сопротивление слоев от внутренней по-

верхности до рассматриваемого сечения конструкции ограждения, (м²·°С)/Вт;

δ_i – толщина i-го слоя, м;

λ_i – коэффициент теплопроводности i-го слоя материала, Вт/(м²·°С), принимаемый согласно [11].

$$R_0 = \frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_s} + \sum R_i + \frac{1}{\alpha_n}, \quad (32)$$

где K – коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции, Вт/(м²·°С);

α_s – коэффициент теплоотдачи у внутренней поверхности камеры, $\alpha_s = 60 \dots 100$ Вт/(м²·°С);

α_n – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·°С).

α_n может быть определен по табл. 3 [5].

Таблица 3

Значение коэффициента теплоотдачи в зависимости от температуры поверхности ограждения

Температура наружной поверхности стены, °С	Коэффициент теплоотдачи α_n , Вт/(м ² ·°С) для стенок	
	бетонных	металлических
1	2	3
10	8,6	9,78
25	10,0	10,45
40	11,16	10,69
60	11,63	11,63
80	12,67	12,32
100	14,41	13,26

Коэффициент теплоотдачи α_n у наружной поверхности ограждения можно рассчитать по формуле

$$\alpha_n = \Phi \cdot \sqrt[4]{t_{nos} - t'_{nos}} + \frac{c^t}{t_{nos} - t'_{nos}} \cdot \left[\left(\frac{T_{nos}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T'_{nos}}{100} \right)^4 \right], \quad (33)$$

где t_{nos} , T_{nos} – температура наружной поверхности установки по стоградусной шкале и шкале Кельвина соответственно;

$t'_{нов}$, $T'_{нов}$ – температура лучевоспринимающей поверхности по стоградусной шкале и шкале Кельвина;

c' – приведенный коэффициент лучеиспускания поверхностей ограждения, Вт/(м²·К⁴);

Φ – коэффициент, принимаемый для вертикальных поверхностей ограждающих конструкций (2,2) и горизонтальных поверхностей, обращенных вниз (1,8);

$$c' = c_0 \cdot \varepsilon, \quad (34)$$

где c_0 – постоянная лучеиспускания абсолютно черного тела, равная 5,67Вт/(м²·К⁴);

ε – степень черноты полного нормального излучения материала ограждения (табл. 4).

Таблица 4

Степень черноты полного нормального излучения для различных материалов

Наименование материала	τ	ε
Алюминиевая краска	50	0,5
Сталь листовая, прокат	50	0,56
Сталь с шероховатой поверхностью	50	0,95...0,98
Асбошифер	20	0,96
Кирпичная кладка оштукатуренная	20	0,94
Масляные краски различных цветов	100	0,92...0,96
Стекло	20...100	0,91...0,94
Толь	20	0,91...0,93

б). Теплота на нагрев крышки рассчитывается по выражению

$$Q_{кр} = c_m \cdot G_{м1} \cdot (t_{из.в.} - t_0) + c_{из} \cdot G_{из} \cdot \left(\frac{t_{из.в.} + t_{н.п.}^{кр}}{2} - t_0 \right) + c_m \cdot G_{м2} \cdot (t_{н.п.}^{кр} - t_0), \quad (35)$$

где $G_{м1}$, $G_{м2}$ – соответственно масса металла крышки нижней (включая ребра) и верхней части, кг;

$G_{из}$ – масса тепловой изоляции, кг;

$c_{из}$ – массовая теплоемкость тепловой изоляции, кДж/(кг·°С);

$t_{н.п.}^{кр}$ – температура наружной поверхности крышки, °С.

4). Потери теплоты через ограждающие конструкции камеры

а). Потери теплоты в окружающую среду. В этой части расчета определяют потери теплоты установкой через ограждения, наружная поверхность которых омывается воздухом цеха или полигона, – над-

земные части стен пропарочной камеры, крышка и т.п. Потери теплоты для этих ограждений определяются по формуле

$$Q_{ном}'' = \sum K_i \cdot F_i (t_{ср} - t_0) \cdot \tau \cdot 3,6, \text{ кДж}, \quad (36)$$

где K_i – коэффициент теплопередачи i -й ограждающей конструкции надземной части камеры, определяемый по формуле (32), Вт/(м²·°С);

F_i – теплоотдающая поверхность i -го ограждения, м²;

τ – продолжительность рассматриваемого периода тепловой обработки, ч.

б). Потери теплоты в грунт. В этом случае определяются потери через ограждения установки, находящиеся в контакте с грунтом: подземные части стен, днище камеры.

При расчете теплопотерь в грунт подземные части ограждения установок рассматриваются как полы на грунте. Проводится разбивка заземленной части ограждения на условные зоны (полосы шириной 2,0 м). Разбивку на зоны начинают от уровня земли, продолжают вниз по внутренней поверхности до стыка подземной части стенки с полом и далее по поверхности пола.

Потери теплоты в грунт определяются по формуле

$$Q_{ном}'' = \sum \frac{1}{R_{0i}} \cdot F_i (t_{ср} - t_0) \cdot 3,6 \cdot \tau, \text{ кДж}, \quad (37)$$

где R_{0i} – общее сопротивление теплопередаче конструкции рассматриваемого ограждения i -й зоны, (м²·°С)/Вт; для первых четырех зон оно равно:

$$R_{01} - 2,1(\text{м}^2 \cdot \text{°С})/\text{Вт},$$

$$R_{02} - 4,3(\text{м}^2 \cdot \text{°С})/\text{Вт},$$

$$R_{03} - 8,6(\text{м}^2 \cdot \text{°С})/\text{Вт},$$

$$R_{04} - 14,2(\text{м}^2 \cdot \text{°С})/\text{Вт};$$

F_i – площадь i -й зоны рассматриваемого ограждения, м²;

τ – продолжительность рассматриваемого периода тепловой обработки, ч.

Если в конструкцию ограждения входят материалы с коэффициентом теплопроводности менее 1,2 Вт/(м·°С), то R_{0i} определяется с учетом термического сопротивления данного слоя, например:

$$R_{01} = 2,1 + \delta_{ym}/\lambda_{ym} \text{ и т.д.}$$

в). Расход теплоты на возмещение потерь через гидрозатвор определяется по формуле

$$Q_{ном}^{г.з.} = q_{г.з.} \cdot L \cdot \left(\frac{\tau_p}{2} + \tau_{у.с.} \right) \cdot 3,6, \text{ кДж}, \quad (38)$$

где $q_{г.з.}$ – удельные потери теплоты с 1 погонного метра гидравлического затвора, Вт/м;

L – протяженность гидравлического затвора, м;

$\tau_n, \tau_{из.с.}$ – продолжительность подъема температуры и изотермической выдержки соответственно, ч.

Значения $q_{э.з}$ можно принимать по табл. 5 [13].

Таблица 5

Значения удельных потерь теплоты с
1 пог. м гидравлического затвора

Температура среды, °С	80	85	90
Значения $q_{э.з}$, Вт/м	185	220	280

Примечание: для полигонов значение $q_{э.з}$ увеличивается на 20%.

5). *Теплота, расходуемая на испарение воды затворения*

Количество теплоты, расходуемой на испарение влаги из обрабатываемых изделий, рассчитывается по формуле

$$Q_{исп} = G_{исп} \cdot r, \text{ кДж}, \quad (39)$$

где $G_{исп}$ – количество испаряющейся жидкости за рассматриваемый период, кг;

r – теплота испарения при температуре среды камеры, кДж/кг.

При определении массы испарившейся влаги в расчет следует принимать среднюю температуру за рассматриваемый период. Для тяжелых бетонов при $t_{из.с.} \geq 75^\circ\text{C}$ эта величина может достигать 10% от воды затворения. При тепловой обработке бетонов на легких заполнителях $G_{исп}$ может достигать 30...40% от воды затворения. При этом в период подъема температуры теряется примерно 20% влаги от этой величины, а в период изотермической выдержки – 80%.

Производя расчет этой статьи, следует учитывать наличие внешнего массообмена между твердеющим бетоном и средой. При тепловой обработке изделий в среде влажного насыщенного пара испарение воды затворения в период подъема температуры отсутствует, а в период изотермической выдержки возможна частичная потеря влаги в том случае, когда температура поверхности бетона превысит температуру среды (за счет теплоты гидратации цемента). Испарение воды затворения имеет место при тепловой обработке изделий в среде с пониженной влажностью.

б). *Теплота, теряемая с конденсатом*

Расход теплоты, теряемой с невозвращенным конденсатом, рассчитывается по формуле

$$Q_k = G_k \cdot i_k, \text{ кДж}, \quad (40)$$

где G_k – количество конденсата, равное 0,8...0,9 искомого расхода пара за период;

i_k – энтальпия конденсата, уходящего из установки.

$$i_k = c_k \cdot t_k, \text{ кДж/кг}, \quad (41)$$

где c_k – теплоемкость конденсата (для воды $c_k=4,19$ кДж/кг·°С);

t_k – температура конденсата.

7). *Теплота, расходуемая на нагрев паровоздушной среды в установке*

$$Q_{cp} = V_{cp} \cdot \rho_{cp} \cdot i_{cp}, \text{ кДж}, \quad (42)$$

где $V_{cp} = V_k - V_{изд}$ – объем паровоздушной среды установки, м^3 ;

V_k – объем незагруженной камеры, м^3 ;

$V_{изд}$ – объем изделий с опалубкой, одновременно загружаемых в камеру, м^3 ;

i_{cp} – энтальпия среды, заполняющей объем камеры, кДж/кг ;

ρ_{cp} – плотность паровоздушной среды, кг/м^3 .

Для пропарочных камер, использующих «острый» пар, можно считать, что их свободный объем заполнен чистым паром при атмосферном давлении. В этом случае $\rho_{cp} = 0,58 \text{ кг/м}^3$, $i_{cp} = 2675 \text{ кДж/кг}$.

В установках, характеризующихся пониженным влажосодержанием среды, i_{cp} определяется по формуле

$$i_{cp} = t_{cp} + (2493 + 1,97 \cdot t_{cp}) \cdot d, \text{ кДж/кг}, \quad (43)$$

где d – влажосодержание среды, кг/кг с.в. . Значения d определяются по i - d -диаграмме или по табл.6.

Таблица 6

Содержание водяного пара, кг, при полном насыщении на 1 кг сухого воздуха при атмосферном давлении

Температура, °С	d , кг/кг с.в.	Температура, °С	d , кг/кг с.в.
10	0,0076	55	0,114
15	0,0106	60	0,152
20	0,0147	65	0,204
25	0,0200	70	0,276
30	0,0273	75	0,282
35	0,0356	80	0,545
40	0,0489	85	0,828
45	0,0650	90	1,400
50	0,0863	95	3,120

Плотность среды можно рассчитать по выражению

$$\rho_{cp} = \frac{346,3}{273 + t_{cp}}, \text{ кг/м}^3. \quad (44)$$

8). *Теплота экзотермии*

Количество теплоты, выделяемое в процессе гидратации цемента, необходимо рассчитывать для каждого периода режима тепловой обработки.

В приближенных расчетах количество теплоты гидратации, выделяемое 1 кг цемента, можно определить по формуле [2]

$$q_{\text{экс}} = \frac{M \cdot \Theta \cdot a}{162 + 0,96\Theta} \cdot \sqrt{B/\Pi}, \text{ кДж/кг}, \quad (45)$$

где M – марка цемента;

Θ – количество градусо-часов от начала процесса, град·час;

B/Π – водоцементное отношение;

a – эмпирический коэффициент, равный

$$a = 0,32 + 0,002\Theta, \text{ при } \Theta < 290 \text{ град}\cdot\text{ч};$$

$$a = 0,84 + 0,0002\Theta, \text{ при } \Theta > 290 \text{ град}\cdot\text{ч}.$$

Расчет теплоты гидратации ведут в следующем порядке:

определяют количество градусо-часов за период подъема температуры:

$$\Theta_{\text{под}} = \left(\frac{t_n + t_{\text{срI}}^6}{2} \right) \cdot \tau_{\text{под}}, \quad (46)$$

где $t_{\text{срI}}^6$ – средняя температура бетона в конце периода прогрева, рассчитанная по формуле (7);

рассчитывают количество градусо-часов за весь период тепловой обработки; при этом средняя температура бетона в период изотермической выдержки определяется как

$$\frac{t_{\text{срI}}^6 + t_{\text{срII}}^6}{2},$$

где $t_{\text{срII}}^6$ – средняя температура бетона в конце изотермической выдержки;

тогда

$$\Theta_{\text{под+из.в.}} = \left(\frac{t_n + t_{\text{срI}}^6}{2} \right) \cdot \tau_{\text{под}} + \left(\frac{t_{\text{срI}}^6 + t_{\text{срII}}^6}{2} \right) \cdot \tau_{\text{из.в.}}; \quad (47)$$

определяют удельную теплоту гидратации за период подъема, затем за цикл тепловой обработки, а в период изотермической выдержки

$$q_{\text{из.в.}} = q_{\text{экс}}^{\text{под+из.в.}} - q_{\text{экс}}^{\text{под}}, \text{ кДж/кг}. \quad (48)$$

Общее количество теплоты гидратации, выделяемое цементом, находящимся в камере:

$$Q_{\text{экс}} = q_{\text{экс}} \cdot \Pi \cdot V_6, \text{ кДж}, \quad (49)$$

где Π – расход цемента, кг/м³;

V_6 – объем бетона в тепловой установке, м³.

Если при назначении режима тепловой обработки средняя температура бетона была снижена на 5-10°C по отношению к температуре изотермической выдержки, то эту приходную статью (теплоту гидратации) не следует включать в тепловой баланс.

Далее следует определить повышение средней температуры изделий за счет теплоты гидратации цемента

$$\Delta t_{\beta} = \frac{Q_{\text{экз}}}{G_{\beta} \cdot c_{\beta}}, \text{ } ^{\circ}\text{C}, \quad (50)$$

где G_{β} – масса бетона в тепловой установке, кг.

3.5.2. Тепловой баланс термоформ и кассетных установок

Количество тепловой энергии, необходимое на тепловую обработку изделий в термоформах и кассетах, рассчитывается так же, как и для пропарочных камер, и представляет собой сумму отдельных статей расхода. При тепловой обработке изделий в этих установках теплота расходуется на нагрев бетона изделий (Q_{β}), конструкций самой установки ($Q_{\text{огр}}$), потери в окружающую среду ($Q_{\text{пот}}$), испарение воды затворения ($Q_{\text{исп}}$), уносится с конденсатом ($Q_{\text{к}}$) и частично возмещается тепловыделением цемента ($Q_{\text{экз}}$).

Уравнение теплового баланса имеет вид

$$Q + Q_{\text{экз}} = \beta(Q_{\beta} + Q_{\text{огр}} + Q_{\text{пот}} + Q_{\text{к}} + Q_{\text{исп}}), \text{ кДж}. \quad (51)$$

Количество теплоты, расходуемое на нагрев бетона, определяется по формуле (27). Теплота экзотермических реакций гидратации рассчитывается по формулам (45)–(50).

Расход теплоты на нагрев установки

$$Q_{\text{огр}} = 1,2 \cdot \left[c_{\text{м}} \cdot G_{\text{р.л}} (t_{\text{к}} - t_{\text{н}}) + c_{\text{м}} \cdot G_{\text{п.р.}} (t_{\text{к}} - t_{\text{н}}) + c_{\text{из}} \cdot G_{\text{из}} (t_{\text{к}} - t_{\text{н}}) + c_{\text{м}} \cdot G_{\text{огр}} (t_{\text{к}} - t_{\text{н}}) \right], \text{ кДж}, \quad (52)$$

где $G_{\text{р.л}}$ – масса разделительных стальных листов, кг;

$G_{\text{п.р.}}$ – масса металла паровых рубашек, кг;

$G_{\text{из}}$ – масса тепловой изоляции, кг;

$G_{\text{огр}}$ – масса металла ограждающих листов установки, кг;

1,2 – коэффициент, учитывающий нагрев станины установки;

$t_{\text{к}}$ – средняя температура материала в конце рассматриваемого периода, °C.

Расчет температур $t_{\text{к}}$ изолированных поверхностей осуществляют по формуле (31), а температуру неизолированных – принимают равной температуре бетона:

для металла паровых рубашек $t_{\text{к}} = t_{\text{н}}^{\beta}$;

для металла разделительных листов $t_{\text{к}} = t_{\text{ц}}^{\beta}$.

Потери теплоты поверхностями установки в окружающую среду равны

$$Q_{ном} = [\alpha_1 \cdot F_1(t_1 - t_0) + \alpha_2 \cdot F_2(t_2 - t_0)] \cdot 3,6 \cdot \tau, \text{ кДж}, \quad (53)$$

где τ – продолжительность соответствующего периода, ч;
 α_1, α_2 – соответственно коэффициенты теплоотдачи теплоизолированных и неизолированных поверхностей, определяются по формуле (33);
 F_1, F_2 – площади теплоизолированных и неизолированных поверхностей соответственно, м²;
 t_1, t_2 – средние за время τ температуры теплоизолированных и неизолированных поверхностей, °С.

Статья расхода теплоты на испарение воды затворения исключается из уравнения теплового баланса, если в процессе тепловой обработки открытая поверхность бетона изделий укрыта влагоизоляционным материалом. При отсутствии защитного покрытия расчет $Q_{исп}$ проводится по формуле (39). Количество испарившейся воды за цикл термообработки, согласно опытным данным, составляет 3...5% от общего содержания воды затворения в бетоне изделий, обрабатываемых в установке.

Ввиду герметичности паровых рубашек утечка пара отсутствует и можно принять, что весь пар превращается в конденсат. В этой связи потери теплоты с конденсатом рассчитываются по формуле (40), где $G_k = G_n$.

3.5.3. Тепловой баланс установок непрерывного действия

Тепловой баланс установок непрерывного действия составляется в отдельности для каждой зоны (подъема температуры и изотермической выдержки), при этом расчет производится на усредненную часовую производительность установки. Уравнение баланса имеет вид

$$Q + N_r \cdot Q_{экс} = \beta [N_r(Q_б + Q_{ф/в} + Q_{исп}) + Q_{ном} + Q_k], \text{ кДж/ч}, \quad (54)$$

где $Q = g_r \cdot i_n$ – часовой расход теплоты, требуемый на тепловую обработку изделий, кДж/ч;

g_r – часовой расход теплоносителя, кг/ч;

$\beta, Q_б, Q_{ф/в}, Q_{исп}, Q_{экс}$ – то же, что и для установок периодического действия, определяются по формулам (27), (29), (39), (45... 49);

N_r – часовая производительность установки, м³/ч или м³/ч; определяется по формуле (12);

$Q_{ном}$ – потери теплоты ограждающими конструкциями установки, кДж/ч.

$$Q_{ном} = \sum K_i \cdot F_i \cdot (t_{ср} - t_0) \cdot 3,6, \text{ кДж/ч}. \quad (55)$$

По формуле (55) определяются потери теплоты в окружающую среду надземными частями ограждающих конструкций.

Потери теплоты в грунт рассчитываются по формуле

$$Q_{ном} = \sum \frac{1}{R_{0i}} \cdot F_i \cdot (t_{ср} - t_0) \cdot 3,6, \text{ кДж/ч}, \quad (56)$$

где R_{0i} определяется по зонам, как и в 3.5.1.

Потери теплоты с отработанным теплоносителем определяются по формуле

$$Q_k = g_r \cdot c_k \cdot t_k, \text{ кДж/ч}, \quad (57)$$

где c_k – теплоемкость теплоносителя;

t_k – температура отработанного теплоносителя, °С.

При работе установки непрерывного действия ограждения находятся в стационарных тепловых условиях, следовательно, статью расхода теплоты на нагрев ограждений из уравнения теплового баланса исключают. Однако при остановке конвейера в выходные дни происходит понижение температуры ограждений на Δt °С, требующее определенного количества теплоты на разогрев вхолостую до начала работы смены

$$Q_{оэп} = c_{оэп} \cdot G_{оэп} \cdot \Delta t, \text{ кДж}, \quad (58)$$

где $G_{оэп}$ – масса ограждающих конструкций, кг;

$c_{оэп}$ – теплоемкость материала установки, кДж/кг.

Расчет средних конечных температур материала ограждений и количества теплоты на нагрев их (в том числе многослойных конструкций) производится по формулам (30), (31).

При определении удельного расхода теплоты (теплоносителя) эту статью теплового баланса необходимо относить к недельной производительности.

3.5.4. Определение часового и удельного расходов теплоносителя и теплоты

Суммируя и приравнивая статьи прихода и расхода, решая полученные уравнения теплового баланса относительно неизвестной величины, определяют необходимое количество теплоты или теплоносителя за расчетный период.

Для установок периодического действия:

- 1) расход пара за цикл тепловой обработки рассчитывается по выражению

$$G_n = \frac{\Sigma Q_I + \Sigma Q_{II}}{i_n - i_k}, \text{ кг}, \quad (59)$$

где $\Sigma Q_I, \Sigma Q_{II}$ – суммарные расходы теплоты с учетом коэффициента неучтенных потерь за периоды подъема температуры и изо-термической выдержки соответственно, кДж;

2) часовой расход теплоносителя для периодов подъема температуры и изотермической выдержки определяется по формулам

$$g_r^I = \frac{G_n^I}{\tau_I}, \text{ кг/ч,} \quad (60)$$

$$g_r^{II} = \frac{G_n^{II}}{\tau_{II}}, \text{ кг/ч,} \quad (61)$$

где τ_I, τ_{II} – продолжительность каждого периода, ч;

G_n^I, G_n^{II} – расходы теплоносителя за периоды подъема температуры и изотермической выдержки соответственно, кг;

3) удельный расход теплоносителя на 1 м^3 бетона рассчитывается по выражению

$$g_{y\delta} = \frac{G_n}{\sum V_{\sigma}}, \text{ кг/м}^3, \quad (62)$$

где $\sum V_{\sigma}$ – суммарный объем бетона, одновременно загружаемого в установку, м^3 ;

4) удельный расход теплоты на 1 м^3 бетона

$$q_{y\delta} = g_{y\delta} \cdot i_n, \text{ кДж/м}^3. \quad (63)$$

Для установок непрерывного действия часовой расход теплоносителя определяется непосредственно из уравнения теплового баланса для каждой из зон по формулам

$$g_r^I = \frac{\sum Q_I}{i_n - i_k}, \text{ кг/ч;} \quad (64)$$

$$g_r^{II} = \frac{\sum Q_{II}}{i_n - i_k}, \text{ кг/ч,} \quad (65)$$

где $\sum Q_I, \sum Q_{II}$ – суммарные часовые расходы теплоты с учетом коэффициента неучтенных потерь для зоны подъема температуры и зоны изотермической выдержки.

Удельный расход теплоносителя на 1 м^3 бетона рассчитывается по формуле

$$g_{y\delta} = \frac{g_r^I + g_r^{II}}{N_r} + \frac{Q_{\text{отп}}}{N_n (i_n - i_k)}, \text{ кг/м}^3, \quad (66)$$

где N_r – часовая производительность УНД по бетону, $\text{м}^3/\text{ч}$;

N_n – недельная производительность установки, м^3 ;

$Q_{огр}$ – расход теплоты на разогрев ограждающих конструкций, кДж.

Удельный расход теплоты на 1 м^3 бетона определяется по формуле (63).

При использовании в качестве теплоносителя водяного пара его энтальпия i_n определяется по рабочему давлению пара, поступающего в установку, в соответствии с ее техническими характеристиками по формуле

$$i_n = i' + rx, \text{ кДж/кг}, \quad (67)$$

где i' – энтальпия воды на линии насыщения, кДж/кг;

r – теплота фазового перехода, кДж/кг;

x – степень сухости водяного пара.

Значения термодинамических параметров воды и водяного пара приведены в табл.7.

Таблица 7

*Термодинамические параметры водяного пара и воды
(аргумент – температура) [14]*

Температура, °С	Абсолютное давление, МПа	Энтальпия воды, кДж/кг	Энтальпия сухого насыщенного пара, кДж/кг	Теплота фазо- вого перехода, кДж/кг
10	0,0012	41,99	2519,4	2477,4
20	0,0023	83,86	2537,7	2453,8
30	0,0042	125,63	2555,9	2430,2
40	0,0074	167,45	2574,0	2406,5
50	0,0123	209,26	2591,8	2382,5
55	0,0157	230,17	2600,7	2370,5
60	0,0199	251,09	2609,5	2358,4
65	0,0250	272,02	2618,2	2346,2
70	0,031	292,97	2626,8	2333,8
75	0,039	313,94	2635,3	2321,4
80	0,047	334,92	2643,8	2308,9
85	0,058	355,92	2652,1	2296,2
90	0,070	376,94	2660,3	2283,4
100	0,101	419,06	2676,3	2257,2
110	0,143	461,32	2691,8	2230,5
120	0,198	503,70	2706,3	2202,9
130	0,270	546,3	2720,7	2174,4
140	0,361	589,1	2734,0	2144,9
150	0,476	632,2	2746,3	2114,1
160	0,618	675,5	2757,7	2082,2
170	0,792	719,1	2768,0	2048,9
180	1,002	763,1	2777,1	2014,0
190	1,255	807,5	2784,9	1977,4
200	1,555	852,4	2791,4	1939,0

В задании к курсовому проекту указывается давление пара, поступающего на распределительную гребенку цеха (участка), которое, как правило, выше рабочего давления. Разница давлений расходуется на преодоление сопротивлений в трубопроводах и при необходимости снижается с помощью регуляторов давления перед установками.

3.6. Расчет трубопроводов

Расчет трубопроводов производят по максимальным часовым расходам теплоносителя (пара). Предварительно вычерчивается схема трубопроводов и определяются нагрузки, т.е. расходы теплоносителя на расчетных участках. За расчетный принимается участок трубопровода, на котором расход теплоносителя постоянный.

Для определения расчетных нагрузок на отдельных участках сети теплоснабжения комплекса установок строится циклограмма работы всех установок с указанием длительности операций: загрузки, предварительной выдержки, подъема температуры, изотермической выдержки и т.д. Располагая величинами часовых расходов теплоносителя при подъеме температуры (g_r^I) и изотермической выдержки (g_r^{II}), определяют максимально возможный часовой расход теплоносителя всеми установками. С учетом совместной работы установок производится распределение нагрузок на участки магистрального трубопровода. Ответвления к отдельным установкам рассчитываются на максимальный часовой расход установки, обычно g_r^I .

Диаметр трубопроводов определяют из уравнения расхода по массе

$$g_r = 3600 \cdot f \cdot v \cdot \rho = 3600(\pi \cdot d^2 / 4) \cdot v \cdot \rho, \text{ м}^3, \quad (68)$$

где f – площадь поперечного сечения трубопровода, м^2 ;
 v – скорость жидкости, м/с ; для пара в магистральных трубопроводах – 30...35 м/с , в ответвлениях и установках – 20...30 м/с ; для жидкости при движении самотеком – 0,1...0,5 м/с ;
 ρ – средняя плотность теплоносителя на участке, кг/м^3 ; принимается по величине заданного давления теплоносителя на вводе в цех или пролет P_1 и давления перед узлом регулирования P_2 .

$$P_{cp} = \frac{P_1 + P_2}{2} \quad (69)$$

Диаметр трубопровода рассчитывается по формуле

$$d = \sqrt{\frac{4g_r}{3600 \cdot v \cdot \rho \cdot \pi}}, \text{ м}. \quad (70)$$

К установке принимаются стандартные диаметры труб, серийно выпускаемые промышленностью (табл. 8).

Таблица 8

Трубы стальные бесшовные горячекатанные (ГОСТ 8732-78)

Наружный диаметр, мм	d_y	Толщина стенки, мм
45	40	3,5; 4; 4,5
50	50	3,5; 4; 4,5; 5; 5,5
54	50	3,5...6
57	50	3,5...6
60; 63,5	60	3,5...6
73; 76; 83	70	3,5...6
89; 96; 102	80	3,5...6
108; 114; 121	100	4...6
133	125	4...6
159	150	5...5,5
203; 219	200	8...18

При прогреве камер «глухим» паром рассчитывают поверхность теплоотдачи регистров [1]

$$F_{\text{рег}} = Q / [3,6K_{\text{рег}}(t_n - t_i)], \text{ м}^2, \quad (71)$$

где Q – необходимое количество теплоты, кДж/ч;

$K_{\text{рег}}$ – коэффициент теплопередачи через металлическую стенку, Вт/(м²·°С), равный 16,7;

t_n – температура поверхности регистра, зависящая от давления пара, °С;

t_i – температура среды в камере в соответствующий период тепловой обработки, °С.

Зная необходимую площадь теплоотдающей поверхности регистров, а также поверхность теплоотдачи 1 м трубы выбранного диаметра регистра, определяют общую длину труб, а затем количество регистров.

Регистры изготавливают из труб диаметром 76 или 100 мм.

3.7. Пути снижения энергозатрат при тепловой обработке

Определение путей повышения экономической эффективности тепловых установок следует начинать с тщательного изучения технологии процесса, условий тепло- и массообмена между твердеющей системой и теплоносителем, теплового баланса агрегата.

Анализ теплового баланса позволит выявить наиболее энергоемкие статьи и принять меры по их уменьшению, а также установить наличие вторичных энергоресурсов.

Одним из основных путей экономии тепловой энергии является уменьшение расхода теплоты на нагрев ограждающих конструкций и снижение потерь теплоты в окружающую среду. Поэтому для устра-

нения непроизводительных расходов энергии необходимо стремиться повысить общее сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций установок и снизить их тепловую емкость.

На величину удельного расхода теплоты значительно влияет коэффициент заполнения установок, поэтому способ загрузки изделий и раскладка их в камере должны способствовать максимальному заполнению объема при условии обеспечения качественного теплообмена между поверхностями обрабатываемого материала.

Немаловажным является повышение интенсивности и равномерности теплообмена в установках за счет создания циркуляции теплоносителя.

Одним из важных приемов экономии тепловой энергии является создание технологии ускоренного твердения железобетонных изделий с использованием вторичных теплоносителей, солнечной энергии и т.п.

При разработке энергоэкономичных тепловых установок студенту необходимо воспользоваться новейшими достижениями в этой области, почерпнув информацию из журналов, реферативных сборников и т.д.

Литература

1. Кокшарев В.Н., Кучеренко А.А. Тепловые установки. – Киев: Вища школа, 1990.
2. Вознесенский А.А. Тепловые установки в производстве строительных материалов и изделий. – М.: Стройиздат, 1964.
3. Марьямов Н.Б. Тепловая обработка на заводах сборного железобетона. – М.: Стройиздат, 1970.
4. Перегудов В.В., Роговой М.И. Тепловые процессы и установки в технологии строительных изделий и деталей. – М.: Стройиздат, 1983.
5. Бойко В.Е., Тихомиров Е.В. Тепловая обработка в производстве сборного железобетона. – Киев: Будівельник, 1987.
6. Временная инструкция по применению тепловой обработки керамзитобетонных панелей наружных стен жилых и общественных зданий в электроиндукционных камерах с теплоизлучающими поверхностями. – Мн.: Выш. школа, 1976.
7. Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий сборного железобетона (ОНТП-07-85) Минстройматериалов. – М.: Стройиздат, 1986.
8. Пособие по тепловой обработке сборных железобетонных конструкций и изделий (к СНИП 3.09.01–85). – ВНИИжелезобетона. – М.: Стройиздат, 1989.
9. Рекомендации по тепловой обработке тяжелого бетона с учетом активности цемента при пропаривании. – М.: Госстрой СССР, 1984.
10. Производство сборных железобетонных изделий: Справочник/ Под ред. К.В.Михайлова. – М.: Стройиздат, 1989.
11. СНБ 2.04.01–97. Строительная теплотехника. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 1998.
12. Рекомендации по сокращению теплопотребления на заводах сборного железобетона Минтрансстроя. – М.: Стройиздат, 1976.
13. Рекомендации по снижению расхода тепловой энергии в камерах для тепловлажностной обработки железобетонных изделий. – М.: Стройиздат, 1984.
14. Ривкин С.Л., Александров А.А. Термодинамические свойства воды и водяного пара: Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1984.

Содержание

Введение	3
1. Задание.....	4
2. Состав курсового проекта.....	4
3. Содержание расчетно-пояснительной записки.....	5
3.1. Характеристика материалов, габаритные размеры изделий, форм	5
3.2. Краткое описание технологического процесса изготовления изделий ..	5
3.3. Выбор и обоснование режима тепловой обработки, расчет прогрева изделий.....	5
3.4. Конструктивный расчет установки и определение требуемого количества тепловых агрегатов	10
3.4.1. Установки периодического действия (УПД)	10
3.4.2. Установки непрерывного действия (УНД).....	11
3.5. Теплотехнический расчет установки.....	13
3.5.1. Тепловой баланс пропарочной камеры	14
3.5.2. Тепловой баланс термоформ и кассетных установок.....	23
3.5.3. Тепловой баланс установок непрерывного действия	24
3.5.4. Определение часового и удельного расходов теплоносителя и теплоты	25
3.6. Расчет трубопроводов.....	28
3.7. Пути снижения энергозатрат при тепловой обработке.....	29
Литература.....	31