

Себряковский филиал
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»
отделение среднего профессионального образования

Рассмотрено на заседании
предметной(цикловой) комиссии
Протокол №_____
Председатель _____ Н.Ю. Сидорова
«___»_____2014 г.

Утверждаю:
Заведующая учебной частью
_____ Е.А. Кизилова
«___»_____2014 г.

Проектирование установки для ТВО бетонных и железобетонных изделий

Методические указания для выполнения курсовой работы по
МДК 02.01 «Тепловые процессы при производстве неметаллических строительных изделий и конструкций»
для студентов 3 курса специальности 270809 «Производство неметаллических строительных изделий и конструкций»

Михайловка, 2014

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К РАБОТЕ

Для полноценной разработки курсовой работы необходимо изучение специальной литературы и знакомство с работой соответствующих установок на предприятиях. Принятые конструкции и тепловые режимы работы проектируемых установок должны опираться на технологические карты данного производства и допустимые параметры тепловой обработки строительных материалов и изделий.

Студент несет полную ответственность за правильность расчетов и оформление работы. Преподаватель-руководитель проекта обеспечивает систематические консультации, направляет работу студента, дает рекомендации основным разделам разрабатываемой темы с указанием, какие литературные источники должны быть изучены. Полностью оформленную работу студент сдает преподавателю-руководителю для проверки, а затем в назначенное время защищает его. Оценка работы производится с учетом уровня защиты, качества выполнения и степени самостоятельности работы студента.

Содержание и объем курсовой работы

Курсовая работа состоит из пояснительной записки и графической части.

Пояснительная записка должна включать:

- 1) титульный лист;
- 2) задание на проектирование;
- 3) содержание;
- 4) введение;
- 5) описание и конструкции и работы установки;
- 6) режим ТВО изделий;
- 7) технологический расчет;
- 8) теплотехнический расчет;
- 9) подбор вспомогательного оборудования;
- 10) безопасная эксплуатация установки
- 11) список используемой литературы.

Основное содержание пояснительной записки определяется заданием на курсовую работу. Общий объем пояснительной записки 15–30 страниц.

Во введении пояснительной записки рассматривается народно-хозяйственное значение рассматриваемой установки и преимущество ее применения над остальными используемыми установками в данной технологии производства по материалам статей, обзоров и т. п.

В описании конструкции и работы установки необходимо отразить конструкционные особенности и основные элементы проектируемого оборудования, дать краткие сведения о способах загрузки установки сырьем или полуфабрикатами, подачи и отбора теплоносителя, принципе действия установки, осветить вопросы пуска и остановки оборудования и поддержания заданного теплового режима в агрегате [1].

Режим ТВО изделий должен рассматривать основные аспекты по подбору температурного режима пропаривания и его применения.

В технологической части с учетом коэффициентов работы оборудования определяется годовая, суточная и годовая производительность установки. Рассчитывается время пребывания и скорость движения изделий в агрегате. На основании производительности, среднепрогрессивного объема продукции определяются размеры, конструкция и необходимое количество установок.

В теплотехнической части работы рассчитывают статьи прихода и расхода тепла, составляют уравнение теплового баланса и определяют потребность теплоносителя. Теплотехнический расчет может производиться как на одну установку, так и на группу установок.

Подбор вспомогательного оборудования рассматривает расчет и выбор транспортирующих средств теплоносителя (трубопроводы, насосы, эжекторы, вентиляторы и др.) и генераторов теплоты.

В разделе безопасной эксплуатации отражают основные условия по безопасному обслуживанию установки и профилактические меры разрешающие этот вопрос.

Список использованной литературы включает те источники, на которые есть ссылка в пояснительной записке.

Графическая часть работы должна включать общий вид, продольный и поперечный разрезы тепловой установки, отдельные детали и узлы, представленные на формате А1.

Оформление курсовой работы

Пояснительная записка должна:

- 1) оформляться черными чернилами или пастой, почерком, близким к чертежному, или стандартным шрифтом Times New Roman на листах формата А4 (на одной стороне листа) [2];
- 2) иметь буквенные обозначения, индексы и размерности каждого параметра в соответствии с Международной системой единиц (СИ);
- 3) иметь нумерацию страниц, иллюстраций, таблиц, разделов, подразделов, пунктов, подпунктов;
- 4) иметь ссылки на литературу, расчетные формулы и таблицы;

В расчетной части пояснительной записки в табличной форме приводят сводную таблицу теплового баланса. После расчетных формул должен быть подробно описан расчет, а затем дан результат расчета.

Графическая часть выполняется на листе формата А1 чертежной бумаги в соответствии с действующими стандартами ЕСКД и СПДС (ГОСТ 2.109 – 73(2001) [3], ГОСТ 21.501 – 93 [4]). Листы графической части проекта должны иметь угловой штамп с указанием наименований проекта, изображений, помещенных на данном листе и других основных надписей, соответствующих ГОСТ 2.104 – 2006 [5].

РЕЖИМ ТВО ИЗДЕЛИЙ

Режимом тепловлажностной обработки изделий называется изменение всех основных физических величин описывающих процесс тепловлажностной обработки с течением времени.

Режим тепловой обработки следует назначать путем установления оптимальной длительности температурно-влажностных параметров отдельных его периодов (СНиП 3.09.01–85[6]): предварительного выдерживания, подъема температуры, изотермического прогрева (в том числе термосного выдерживания) и остывания с использованием систем автоматического управления параметрами. Структура режима выражается как сумма времени отдельных ее периодов в часах.

Длительность предварительного выдерживания назначают исходя из условий производства. При применении малонапорных и индукционных камер, кассетных установок, предварительно разогретых смесей и при приготовлении изделий из жестких бетонных смесей допускается тепловая обработка без предварительного выдерживания.

Скорость нагрева бетона на поверхности во избежание излишних дефектов изделия не должна превышать $20\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{ч}$. Максимально допустимая температура бетона к концу периода нагрева не должна превышать $80\text{--}85\text{ }^{\circ}\text{C}$ [7]. Изотермический прогрев осуществляется путем подвода тепловой энергии в количестве, компенсирующем затраты на нагрев ограждений камеры и потери через них. Выгрузка изделий из камер и форм осуществляется при достижении перепада между поверхностью изделия и окружающей среды $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Пропаривание изделий в камерах периодического действия. При тепловой обработке бетона в камерах периодического действия (ямных камерах) прогрев изделий осуществляется при непосредственном контакте их с теплоносителем или кондуктивным способом. В качестве теплоносителей в этих камерах могут применяться водяной насыщенный пар, паро-воздушная смесь, продукты сгорания природного газа. Режимы тепловой обработки изделий в камерах периодического действия приведены в табл.1, прил.

Пропаривание изделий в камерах непрерывного действия. При тепловой обработке бетона в камерах непрерывного действия (туннельных и вертикальных камерах) прогрев изделий осуществляется с применением «глухого» пара (регистров). Для повышения влажности среды следует предусматривать дополнительную подачу «острого» пара через перфорированные трубы. В горизонтальных камерах регистры устанавливаются на полу и под потолком. В вертикальных камерах регистры устанавливаются вдоль боковых стен по ее высоте. В качестве теплоносителя используется насыщенный водяной пар с давлением $0,5\text{--}0,6\text{ МПа}$. Режимы тепловой обработки изделий в камерах непрерывного действия приведены в табл.2, прил.

Пропаривание изделий в термоформах и кассетах. При тепловой обработке железобетонных изделий в термоформах и кассетных установках прогрев бетона осуществляется контактно-кондуктивным способом путем подачи теп-

лоносителя (пара, горячей воды, высококипящей жидкости и др.) в тепловые отсеки (в бортах и поддоне формы, в стендах, в кассетных установках) или размещения в этих отсеках электронагревателей.

Конструктивное исполнение отсеков при использовании любых теплоносителей и электронагревателей должно обеспечивать однородность температурного поля на поверхности теплового отсека, непосредственно контактирующего с бетоном изделий, в процессе всей тепловой обработки. Допустимый перепад температур не должен превышать 10 °С. С этой целью рекомендуется применять эжекторную систему пароснабжения с давлением пара 0,3–0,4 МПа.

Для ускорения прогрева изделий целесообразно бетонную смесь укладывать в предварительно подогретые формы, а также применять предварительно разогретые до 50 °С бетонные смеси.

При расположении паровых отсеков через два рабочих отсека режимы тепловой обработки в термоформах и кассетных установках ориентировочно принимаются по табл.3, прил. При подогреве изделий с двух сторон через один рабочий отсек общий цикл тепловой обработки уменьшается на 1ч за счет сокращения изотермического выдерживания с подачей пара в отсеки.

С целью увеличения оборачиваемости термоформ и кассетных машин рекомендуется производить двухстадийную тепловую обработку изделий: первую стадию до приобретения бетоном распалубочной прочности (составляющей примерно 50% от проектной), и вторую — при последующем твердении в соответствующих температурно-влажностных условиях (камеры дозревания без подачи пара, в цехе или на складе при положительных температурах) до достижения отпускной прочности.

Режимы двухстадийной тепловой обработки изделий, изготавливаемых по стендовой и кассетной технологии приведены в табл.4, прил.

Тепловая обработка изделий из легких бетонов. Для конструкционно-теплоизоляционных легких бетонов, применяемых при изготовлении ограждающих конструкций зданий, режим тепловой обработки должен обеспечивать минимально возможную отпускную влажность бетона (15–13%).

Для обеспечения минимальной отпускной влажности тепловую обработку изделий проводят в условиях, способствующих испарению влаги из изделий. Такой прогрев может осуществляться в камерах ямного, туннельного, и щелевого типа, оборудованных ТЭНами, калориферами, регистрами, инфракрасными и излучателями и пр. Максимальная температура среды в камерах может быть повышена до 150 °С. С целью обеспечения заданной влажности изделий камеры рекомендуется оборудовать системой вентиляции.

Режимы тепловой обработки изделий из легкого бетона назначают на основе лабораторных исследований, ориентировочно можно использовать режимы, приведенные в табл.5, прил.

Пропаривание изделий в автоклавах. Тепловой обработке в автоклавах (запариванию) подвергаются смеси на вяжущих материалах, применяемых для ячеистых и плотных силикатных бетонов. Величина давления насыщенного пара поступающего в автоклав составляет 8–12 атм, что соответствует темпера-

туре равной 175–193 °С. Это позволяет увеличить полноту гидратационных процессов, обеспечить более устойчивый фазовый состав гидросиликатов кальция и сократить длительность изотермического прогрева.

Тепловые режимы обработки изделий в автоклавах приведены в табл.6, прил.

Процесс воздействия создаваемой среды на помещенный в установку бетон представляют в виде зависимости температуры поверхности материала от времени (см. рис.1)

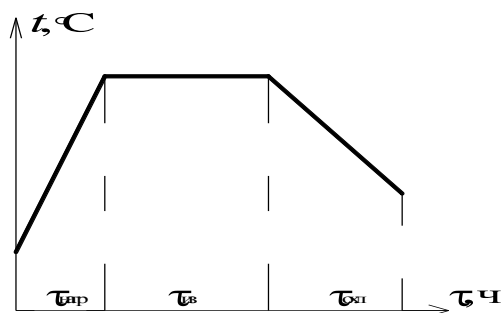


Рис.1. Режим тепловлажностной обработки изделий: $\tau_{\text{нагр}}$ — время нагрева (подъема температуры) изделия, $\tau_{\text{из}}$ — время изотермической выдержки изделия, $\tau_{\text{охл}}$ — время охлаждения изделия

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Технологический расчет устанавливает габариты тепловых установок, потребность в их количестве и определяет производительность установок, обусловленные данной технологией.

Расчет размеров установки

Камеры ямного типа

Ямные камеры имеют прямоугольную форму и изготавливаются из тяжелого бетона или кирпича с толщиной стенок от 0,2 до 0,45 м. Камеры изолируются с внутренней стороны теплоизоляцией состоящей из минераловатных плит толщиной 60 мм, воздушной прослойкой шириной 35 мм и стального листа толщиной 3 мм. Днище камеры состоит из пустотного настила толщиной 220 мм, песчаной подготовки толщиной 80 мм и слоя керамзитового гравия толщиной 200 мм. Камеры заглубляют в землю таким образом, чтобы их стенки возвышались над уровнем пола всего на 50–80 см.

Габаритные размеры камеры устанавливают в зависимости от размеров изделий.

В производимых расчетах суммарная высота изделия, формы и прокладки, мм

$$h = \delta_{\text{и}} + \delta_{\text{ф}} + \delta_{\text{п}},$$

где $\delta_{\text{и}}$ — толщина изделия, мм; $\delta_{\text{ф}} = 20$ мм — толщина дна формы, $\delta_{\text{п}} = 300$ мм — свободное пространство между изделиями по вертикали с учетом прокладок и кронштейнов.

Количество изделий в штабеле, располагаемых по высоте камеры, шт

$$n = \frac{H'}{h},$$

где H' — приблизительная высота камеры, принимается равной от 2 до 4 м.

Линейные размеры камеры, мм, определяются по формулам:

высота $H = h_{\text{д}} + h_{\text{к}} + b + 2\delta_{\text{п}} + 2\delta_{\text{с}};$

ширина $B = b_{\text{п}} + 2\delta_{\text{с}};$

длина $L = l + 2\delta_{\text{с}};$

где ; $h_{\text{д}}$ — расстояние от дна камеры до низа формы, $h_{\text{д}} = 150\text{--}200$ мм; $h_{\text{к}}$ — расстояние от крышки до верхней поверхности изделия, $h_{\text{к}} = 50\text{--}100$ мм; b — толщина изделия, мм; $b_{\text{п}}$ — ширина полки формы, $b_{\text{п}} = 70\text{--}100$ мм; $b_{\text{с}}$ — расстояние от поверхности формы до внутренней поверхности стенки камеры, $b_{\text{с}} = 350\text{--}400$ мм; l — длина изделия, мм.

Количество изделий k , одновременно обрабатываемых в одной камере, шт.

$$k = n \cdot m,$$

где n — количество изделий в штабеле, шт; m — количество камер в блоке, шт.

Коэффициент заполнения камеры изделиями

$$\alpha = \frac{V_6}{V_k},$$

где $V_6 = V_{\text{и}} k$ — объем бетона всех изделий, м^3 ; $V_{\text{и}}$ — объем одного изделия, м^3 ; $V_k = LBF$ — объем камеры, м^3 .

Свободный объем камеры, м^3 ,

$$V_{\text{св}} = V_k - V_6.$$

Вертикальные камеры

Вертикальные камеры изготавливают так же, как и ямные. Наибольшее отличие их состоит в том, что они являются камерами непрерывного действия и представляют собой прямоугольные башни, установленные на уровне пола.

Ёмкость камеры k принимается равной числу кратному 2 или 4 (количество стоп перемещаемых форм-вагонеток), но не превышаемому 48 шт. Для расчета емкости камеры задаются ритмом формования изделий $m = 0,3-0,4$ ч и определяют количество форм-вагонеток, шт., одновременно перемещающихся по технологическим зонам

$$n_{\text{ф}} = \frac{\tau}{m},$$

где τ — суммарное время тепловой обработки изделий, ч.

Таким образом, емкость камеры будет $k = n_{\text{ф}}$ или $k = 2n_{\text{ф}}$ при двух параллельных потоках.

В одной стопе должно находиться от 12 до 16 форм.

Внутренние размеры камеры рассчитывают в зависимости от габаритов перемещаемых в них форм-вагонеток, которые принимают по табл.7, прил.

Рабочая высота камеры, мм

$$H_{\text{р}} = n_{\text{ст}} h_{\text{ф}} + h_{\text{пр}} + h_{\text{м}} + h_{\text{т}},$$

где $n_{\text{ст}}$ — количество стоп обрабатываемых изделий, шт.; $h_{\text{ф}}$ — высота формы-вагонетки, мм; $h_{\text{пр}} = 500-600$ мм — свободный промежуток между поворотными подъемными штангами, перемещающими формы-вагонетки; $h_{\text{м}} = 1800-2000$ мм — высота машинного отделения, включая передаточную тележку; $h_{\text{т}} = 250-300$ мм — высота толкателя.

Длина камеры, мм

$$L_{\text{р}} = l_{\text{ф}} + b_{\text{пр}} + h_{\text{т}},$$

где $l_{\text{ф}}$ — длина формы-вагонетки, мм; $b_{\text{пр}} = 200-400$ мм — свободный промежуток между штабелями и между формой-вагонеткой и стенкой камеры.

Ширина камеры, мм

$$B_{\text{р}} = b_{\text{ф}} + 2h_{\text{т}},$$

где $b_{\text{ф}}$ — ширина формы-вагонетки, мм.

Рабочую высоту камеры разбивают на технологические зоны: зону изотермической выдержки и зону нагрева и охлаждения.

Высота зоны изотермической выдержки, мм

$$H_{из} = H \frac{\tau_{из}}{\tau},$$

где τ — суммарное время тепловой обработки изделий, ч.

Высота зоны нагрева и охлаждения, мм

$$H_{из} = H \frac{\tau_{из}}{\tau},$$

Горизонтальные камеры

Горизонтальные камеры в зависимости от того, каким образом идет передвижение изделий, делятся на туннельные (изделия передвигаются на вагонетках) и щелевые (изделия передвигаются по конвейеру). Щелевые камеры могут выполняться одно- и многоярусными. Горизонтальные камеры могут быть напольными и полностью заглубленными в землю. Материал для изготовления горизонтальных камер выбирают такой же как для остальных камер.

Длина туннельной камеры определяется производительностью обслуживаемых ею формовочных конвейеров и продолжительностью цикла тепловой обработки, а длина зон камеры — длительностью каждой стадии обогрева. Примерная длина горизонтальных камер составляет 70–120 м.

Для расчета длины камеры, исходя из размеров изделия, принимают форму-вагонетку по табл.7, прил.

Находят количество укладываемых в форму изделий $n_{из}$, шт.

Задаются ритмом формования изделий $m = 0,3–0,4$ ч. Тогда количество форм-вагонеток, шт., одновременно находящихся в камерах будет

$$n_{ф} = \frac{\tau}{m},$$

где τ — суммарное время тепловой обработки изделий, ч.

Общая длина туннельных камер, мм

$$\Sigma L = n_{ф} \cdot l_{ф},$$

где $l_{ф}$ — длина формы-вагонетки, мм.

Далее определяют длину одной камеры L и ее емкость k .

Камеру разбивают на зоны нагрева, изотермической выдержки и охлаждения изделия.

Длину зоны нагрева, мм, рассчитывают:

$$L_{нагр} = L \frac{\tau_{на}}{\tau},$$

где $\tau_{нагр}$ — время нагрева изделия, ч.

Длина зоны изотермической выдержки, мм

$$L_{из} = L \frac{\tau_{из}}{\tau},$$

где $\tau_{из}$ — время изотермической выдержки изделия, ч.

Длина зоны охлаждения, мм

$$L_{ох} = L - L_{нагр} - L_{из}.$$

Ширина камеры, мм

$$B = b_{ф} + 2h_{из},$$

где $b_{\text{ф}}$ — ширина формы-вагонетки, мм; $b_{\text{пр}} = 300\text{--}400$ мм — свободный промежуток между формой-вагонеткой и стенками камеры.

Высота камеры, мм

$$H_{\text{к}} = h_{\text{ф}} + h_{\text{к}} + h_{\text{п}},$$

где $h_{\text{ф}}$ — высота формы-вагонетки, мм; $h_{\text{к}} = 150\text{--}200$ мм — расстояние от перекрытия до верхней поверхности изделия; $h_{\text{п}} = 300$ мм — расстояние от пола камеры до низа формы-вагонетки, включающее высоту рельсов и консолей.

Пакетировщики термоформ

Пакетировщик представляет собой установку, предназначенную для сбора термоформ в пакеты и их тепловой обработки. Количество термоформ собранных в один пакет колеблется от 6 до 8 шт.

Длина L и ширина B пакета соответствует размерам термоформ, которые в свою очередь зависят от размеров изделия с учетом ширины бортов формы $b_{\text{б}} = 70\text{--}100$ мм.

Высота пакета, м, рассчитывается:

$$H_{\text{п}} = k \cdot \delta_{\text{и}} + \delta_{\text{п}} + \delta_{\text{ф}},$$

где k — количество термоформ, шт.; $\delta_{\text{и}}$ — толщина изделия, мм; $\delta_{\text{п}} = 200$ мм — глубина паровой полости; $\delta_{\text{ф}} = 50$ мм — толщина паровой полости.

Кассетная установка

Габаритные размеры кассетной установки принимают в зависимости от размеров изделий по табл.9, прил.

Длина собранных кассет L , мм, должна соответствовать длине изделий, высота собранных кассет H , мм — ширине изделий, с учетом ширины бортов 70–100 мм. Ширина, мм, сборки кассет определяется

$$B_{\text{сб}} = k \cdot \delta_{\text{и}} + n_{\text{п.о}} \cdot \delta_{\text{п.о}} + \delta_{\text{из}},$$

где $\delta_{\text{и}}$ — толщина изделия, мм; k — количество изделий в кассете, шт.; $\delta_{\text{п.о}} = 200$ мм — ширина парового отсека; $n_{\text{п.о}}$ — количество паровых рубашек, шт.; $\delta_{\text{из}} = 200$ мм — толщина тепловой изоляции.

Автоклав

Габаритные размеры автоклава принимают по табл.10, прил. в зависимости от заданного давления. Размеры автоклавной вагонетки принимают в зависимости от размеров изделий по табл.9, прил. Количество изделий $n_{\text{и}}$, шт., укладываемых на одну вагонетку находят исходя из размеров вагонетки. При автоклавной обработке силикатного кирпича его укладку принимают по табл.11, прил.

Количество вагонеток, шт., находящихся в автоклаве

$$n_{\text{в}} = L_{\text{а}} / l_{\text{в}},$$

где $L_{\text{а}}$ — длина автоклава, м; $l_{\text{в}}$ — длина автоклавной вагонетки, м.

Емкость автоклава $k = n_{\text{и}} \cdot n_{\text{в}}$

Объем, занимаемый всеми изделиями, м³

$$V_0 = V_{\text{и}} \cdot k$$

где $V_{\text{и}}$ — объем одного изделия, м³.

Объем, занимаемый всеми вагонетками

$$V_{\text{в}} = V_{\text{в}}' \cdot n_{\text{в}},$$

где $V_{\text{в}}' = l_{\text{в}} \cdot b_{\text{в}} \cdot h_{\text{в}}$ — объем одной вагонетки, м³; $l_{\text{в}}$ — длина вагонетки, м; $b_{\text{в}}$ — ширина вагонетки, м; $h_{\text{в}}$ — высота вагонетки.

Внутренний объем автоклава, м³

$$V_{\text{а}} = \frac{\pi D_{\text{а}}^3}{4} \cdot L_{\text{а}},$$

где $D_{\text{а}}$ — внутренний диаметр автоклава, м.

Свободный объем автоклава, м³

$$V_{\text{св}} = V_{\text{а}} - V_{\text{в}}$$

Коэффициент заполнения автоклава

$$\alpha = \frac{V_0}{V_{\text{св}}}.$$

Расчет производительности установок и их потребное количество

Определяют фонд рабочего времени $T_{\text{год}}$, ч.

Для установок периодического действия задаются количеством рабочих дней в году $n_{\text{дн}}$ (в среднем эта величина составляет 300 дней), количеством рабочих смен $n_{\text{см}}$ и количеством рабочих часов в смену $\tau_{\text{см}}$.

$$T_{\text{год}} = n_{\text{дн}} \cdot n_{\text{см}} \cdot \tau_{\text{см}},$$

Для установок непрерывного действия задаются количеством рабочих дней в году $n_{\text{дн}}$.

$$T_{\text{год}} = n_{\text{дн}} \cdot 24.$$

Количество часов работы оборудования, ч, будет

$$T_{\text{ч}} = T_{\text{год}} \cdot K_{\text{об}},$$

где $K_{\text{об}} = 0,85-0,95$ — коэффициент использования оборудования.

Часовая производительность завода:

$$\text{объемная, м}^3/\text{ч, } G_{\text{ч}} = \frac{G}{T_{\text{ч}}},$$

где G — годовая производительность завода, м³/год;

$$\text{штучная, шт./ч } G_{\text{ч}}' = \frac{G_{\text{ч}}}{V_{\text{и}}},$$

где $V_{\text{и}}$ — объем бетона одного изделия;

$$\text{массовая } G_{\text{ч}}'' = G_{\text{ч}} \cdot \gamma,$$

где γ — удельный вес бетона, кг/м³.

Потребное число установок для обеспечения заданной производительности:

$$n_{\text{у}} = \frac{G_{\text{ч}}' \cdot \tau}{k}.$$

Тогда производительность одной установки:

штучная, шт./ч, $g'_1 = k/\tau$,
 объемная, м³/ч, $g_1 = g'_1 \cdot V_i$,
 массовая, кг/ч, $g''_1 = g_1 \cdot \gamma$.

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Определение расходов тепла

Установки периодического действия

Общий расход тепловой энергии Q_p , кДж/ч при разогреве бетона изделий до t_k определяется по формуле:

$$Q_p = Q_b + Q_v + Q_m + Q_n + Q_{св} + Q_{ут}$$

где K — коэффициент, учитывающий потери тепла с конденсатом и с утечками пара через неплотности, при разогреве бетона паром до 80 °С $K = 1,065$, до 180 °С (автоклавная обработка) $K = 1,15$, при использовании других видов теплоносителей $K = 1$; Q_b — расход теплоты на разогрев бетона изделий, кДж/ч; Q_v — расход теплоты на нагрев и испарение влаги бетона, кДж/ч; Q_m — расход теплоты на нагрев металла форм и арматуры изделий, кДж/ч; Q_n — расход теплоты на разогрев элементов ограждений, включая потери теплоты за время разогрева, кДж/ч; $Q_{св}$ — расход теплоты с паром, находящемся в свободном объеме, кДж/ч.

Расход теплоты на разогрев бетона изделий, кДж/ч, рассчитывают по формуле

$$Q_b = V_b \cdot k \cdot \gamma \cdot (t_k - t_n) / \tau_{нагр}$$

где $V_b = V_i \cdot k$ — объем бетона всех изделий, м³; V_i — объем одного изделия, м³; k — емкость установки, шт.; γ — удельный вес бетона, кг/м³; $c_b = 0,84$ кДж/(кг·°С) — теплоемкость бетона; t_k — конечная температура разогрева бетона, °С; t_n — начальная температура бетона перед тепловой обработкой, принимается в зависимости от технологии $t_k = 15-30$ °С; $\tau_{нагр}$ — время нагрева бетона изделий, ч.

Расход теплоты на нагрев и испарение влаги бетона, кДж/ч, находят

$$Q_v = V_b \cdot w \cdot (c_v + r) \cdot \Delta w$$

где $w = 0,06-0,08$ — влажность заполнителя бетона; $c_v = 4,19$ кДж/(кг·°С) — теплоемкость влаги; Δw — изменение влажности изделий в процессе тепловой обработки, при избыточном давлении в тепловых установках Δw примерно составляет 0,05, при атмосферном давлении $\Delta w = 0$; r — скрытая теплота парообразования, принимается в зависимости от абсолютного давления в установке по табл.12, прил., кДж/кг.

Расход теплоты на нагрев металла вагонеток, форм и арматуры изделий, кДж/ч, определяют по формуле:

$$G_{\text{в}} = g_{\text{в}} \cdot n_{\text{в}}$$

где $G_{\text{в}} = g_{\text{в}} \cdot n_{\text{в}}$ — масса все вагонеток, находящихся в автоклаве, кг; $g_{\text{в}}$ — масса одной вагонетки, принимается по ее характеристике, кг; $n_{\text{в}}$ — количество вагонеток, находящихся в автоклаве, шт.; $G_{\text{ф}} = g_{\text{ф}} \cdot n_{\text{ф}}$ — масса всех форм находящихся в установке, кг (при расчете кассетной установке $G_{\text{ф}}$ принимается равной массе кассеты); $g_{\text{ф}}$ — масса одной формы, кг (принимают в расчете, что масса формы на 1 м³ изделия составляет: для панелей и плит покрытий, колонн, прогонов — 1100 кг; панелей наружных стен — 800 кг; лестничных маршей и площадок — 2000 кг; блоков стен, подвалов и фундаментов — 500 кг; ребристых панелей покрытий — 2400 кг; вентиляционных блоков и шахт лифтов — 3000 кг; при обработке изделий в термоформах масса формы увеличивается в 2,7 раза); $n_{\text{ф}}$ — количество форм находящихся в установке, шт.; $G_{\text{а}} = g_{\text{а}} \cdot k$ — масса арматуры всех изделий, находящихся в установке, кг; $g_{\text{а}}$ — масса арматуры одного изделия, кг; k — емкость установки, шт.; $G_{\text{пак}} = g_{\text{п}} \cdot m$ — масса металла стоек пакетирующих в ямных камерах, кг; $g_{\text{п}} = 1860$ кг — масса соек пакетирующего в одной камере; m — количество ямных камер в блоке, шт.; $c_{\text{м}} = 0,48$ кДж/(кг·°C) — теплоемкость металла.

Расход теплоты на разогрев элементов ограждений, включая потери теплоты за время разогрева, кДж/ч, рассчитывают:

для кассетных установок и термоформ определяют только потери теплоты

$$Q_{\text{отд}} = \alpha_{\text{сум}} \cdot F_{\text{огр}} \cdot (t_{\text{ст}} - t_{\text{о.с}})$$

где $\alpha_{\text{сум}}$ — суммарный коэффициент теплоотдачи, для металлических поверхностей с температурой 40 °C $\alpha_{\text{сум}} = 10,69$ Вт/(м²·°C); $F_{\text{огр}}$ — площадь поверхности ограждения, м²; $t_{\text{ст}} = 40$ °C — температура внешней поверхности ограждения, принимается согласно требованию техники безопасности; $t_{\text{о.с}}$ — температура окружающей среды (температура в цехе), °C;

для автоклавов

$$G_{\text{а}} = \alpha_{\text{сум}} \cdot F_{\text{а}} \cdot (t_{\text{ст}} - t_{\text{о.с}})$$

где $G_{\text{а}}$ — масса автоклава, кг, принимается по характеристике; $\alpha_{\text{сум}}$ — суммарный коэффициент теплоотдачи, для металлических поверхностей с температурой 80 °C $\alpha_{\text{сум}} = 12,32$ Вт/(м²·°C); $F_{\text{а}} = \pi D L_{\text{а}}$ — площадь поверхности автоклава, м²; $t_{\text{ст}} = 80$ °C — температура внешней поверхности ограждения; $t_{\text{о.с}}$ — температура окружающей среды (температура в цехе), °C;

для ямных пропарочных камер

$$Q_{\text{отд}} = q_1 F_1 + q_2 F_2 + q_3 F_3 + q_4 F_4$$

где $q_1 - q_5$ — удельные потери тепловой энергии, приходящиеся на 1 м² поверхности отдельных ограждений, определяются по табл.15, прил., кДж/м²; F_1 — площадь поверхности наружных стен блока камер выше нулевой отметки пола, м²; F_2 — площадь поверхности наружных стен блока камер ниже нулевой отметки пола, м²; F_3 — площадь поверхности перегородок, м²; F_4 — площадь по-

верхности днища, м^2 ; F_5 — площадь поверхности крышки, м^2 ; k_q — коэффициент компонентов удельных тепловых потерь, принимают по табл.13, прил., в зависимости от сопротивления теплопередачи R_0 ограждающих конструкций.

Термическое сопротивление теплопередачи R_0 , $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})/\text{Вт}$, рассчитывают по формуле:

$$R_0 = \frac{\delta_6}{\lambda_6} + \frac{\delta_{\text{из}}}{\lambda_{\text{из}}} + R_{\text{пр}},$$

где δ_6 и $\delta_{\text{из}}$ — соответственно толщина слоя бетона стенки и тепловой изоляции, м, принимают исходя из конструкции камеры; λ_6 и $\lambda_{\text{из}}$ — соответственно коэффициенты теплопроводности бетона стенки и тепловой изоляции, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{С})$, принимают по прил.3 СНИП II-3-79 [8]; $R_{\text{пр}}$ — сопротивление теплопередачи воздушной прослойки, $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})/\text{Вт}$, находят по табл. 14, прил., в зависимости от толщины воздушной прослойки.

Расход теплоты с паром, находящемся в свободном объеме установки, $\text{кДж}/\text{ч}$, определяют:

$$Q_{\text{в}} V_{\text{св}} i_{\text{п.а}} \rho_{\text{п.а}},$$

где $V_{\text{св}}$ — свободный объем установки, м^3 ; $i_{\text{п.а}}$ — энтальпия пара при атмосферном давлении, $\text{кДж}/\text{кг}$, принимают по табл. 12, прил.; $\rho_{\text{п.а}}$ — плотность пара при атмосферном давлении, $\text{кг}/\text{м}^3$, находят по табл. 12, прил.

Установки непрерывного действия

В установках непрерывного действия общий расход тепловой энергии, $\text{кДж}/\text{ч}$, при разогреве бетона изделий до t_k определяется по формуле:

$$Q_{\text{б}} + Q_{\text{в}} + Q_{\text{м}} + Q_{\text{п}} + Q_{\text{т}},$$

где K — коэффициент, учитывающий потери тепла с конденсатом и с утечками пара через неплотности, при разогреве бетона паром до 80°С $K = 1,065$, при использовании других видов теплоносителей $K = 1$; $Q_{\text{б}}$ — расход теплоты на разогрев бетона изделий, $\text{кДж}/\text{ч}$; $Q_{\text{в}}$ — расход теплоты на нагрев влаги бетона, $\text{кДж}/\text{ч}$; $Q_{\text{м}}$ — расход теплоты на нагрев металла форм и арматуры изделий, $\text{кДж}/\text{ч}$; $Q_{\text{п}}$ — потери теплоты за время разогрева, $\text{кДж}/\text{ч}$.

Расход теплоты на разогрев бетона изделий, $\text{кДж}/\text{ч}$

$$Q_{\text{б}} = g_{\text{ч}} c_{\text{б}} (t_k - t_{\text{н}}),$$

где $g_{\text{ч}}$ — массовая производительность установки, $\text{кг}/\text{ч}$; $c_{\text{б}} = 0,84 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{С})$ — теплоемкость бетона; t_k — конечная температура разогрева бетона, $^\circ\text{С}$; $t_{\text{н}}$ — начальная температура бетона перед тепловой обработкой, принимается в зависимости от технологии $t_k = 15\text{--}30^\circ\text{С}$.

Расход теплоты на нагрев и испарение влаги бетона (испарение характерно только для камер обогреваемых регистрами или ТЭНами), $\text{кДж}/\text{ч}$

$$Q_{\text{в}} = w c_{\text{в}} \Delta w,$$

где $w = 0,06\text{--}0,08$ — влажность заполнителя бетона; $c_{\text{в}} = 4,19 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{С})$ — теплоемкость влаги; Δw — изменение влажности изделий в процессе тепловой обработки, в горизонтальных тепловых установках при обогреве изделий реги-

страми или ТЭНами Δw примерно составляет 0,03, в остальных случаях $\Delta w = 0$; r — скрытая теплота парообразования, принимается в зависимости от абсолютного давления в установке по табл.12, прил., кДж/кг.

Расход теплоты на нагрев металла форм и арматуры изделий, кДж/ч

$$Q_{\text{мет}} = (g_{\text{ф}} n_{\text{ф}} + g_{\text{а}} g'_{\text{ч}}) c_{\text{м}} \tau,$$

где $g_{\text{в}}$ — масса форм-вагонеток, кг, принимается по их характеристике; $n_{\text{ф}}$ — количество форм-вагонеток, находящихся в камере, шт.; τ — полное время тепловой обработки, ч; $g_{\text{а}}$ — масса арматуры в одном изделии, кг; $g'_{\text{ч}}$ — штучная производительность установки, шт./ч; $c_{\text{м}} = 0,48$ кДж/(кг·°C) — теплоемкость металла.

Потери теплоты за время разогрева, кДж/ч

$$Q_{\text{пот}} = \alpha_{\text{сум}} F (t_{\text{ст}} - t_{\text{о.с}}),$$

где $\alpha_{\text{сум}}$ — суммарный коэффициент теплоотдачи, для бетонных поверхностей сен камер с температурой 40 °C $\alpha_{\text{сум}} = 11,16$ Вт/(м²·°C); F — площадь поверхности ограждения, м²; $t_{\text{ст}} = 40$ °C — температура внешней поверхности ограждения, принимается согласно требованию техники безопасности; $t_{\text{о.с}}$ — температура окружающей среды (температура в цехе), °C.

Определение расхода теплоносителя в установке

Для определения расходов теплоносителей составляют уравнение теплового баланса $Q_{\text{прих}} = Q_{\text{расх}}$ (равенство сумм прихода и расхода теплоты), базой которого является количество теплоты, израсходованное на 1 час работы установки (для установок периодического действия — в период разогрева бетона).

При использовании в качестве теплоносителя насыщенного водяного пара при атмосферном давлении уравнение теплового баланса имеет вид:

$$D(i_{\text{ж}} + r) = Q_{\text{п}} - Q_{\text{э.р}},$$

где D — расход пара, определяемая величина, кг/ч; $i_{\text{ж}}$ — энтальпия жидкости при атмосферном давлении, кДж/кг, принимают по табл.12, прил.; r — скрытая теплота парообразования, кДж/кг, принимают по табл.12, прил.; x — степень сухости пара ($x=0,95-0,98$), $Q_{\text{п}}$ — общий расход тепловой энергии, кДж/ч; $Q_{\text{э.р}}$ — тепловыделение бетона при экзотермических реакциях, кДж/ч.

При использовании насыщенного водяного пара избыточного давления уравнение теплового баланса будет:

$$D(i_{\text{п}} - i_{\text{ж}}) = Q_{\text{п}} - Q_{\text{э.р}},$$

где $i_{\text{п}}$ — энтальпия пара, кДж/кг, принимают по табл.12, прил. при абсолютном давлении в установке.

При применении горячих газов (воздух и продукты горения)

$$V_{\text{г}} c_{\text{г}} = Q_{\text{п}} - Q_{\text{э.р}},$$

где $V_{\text{г}}$ — расход горячих газов, определяемая величина, м³/ч; $c_{\text{г}} = 1,37$ кДж/(м³·°C) — теплоемкость газов при температуре $t_{\text{г}} = 140$ °C.

При теплоносителе — горячей воде

$$G_{\text{воды}} = \frac{P}{c_{\text{в}}(t_{\text{г}} - t_{\text{в}})},$$

где $G_{\text{воды}}$ — расход горячей воды, определяемая величина, кг/ч; $c_{\text{в}} = 4,19$ кДж/(кг·°С) — теплоемкость воды при температуре $t_{\text{г}} = 120$ °С.

При использовании электроэнергии в качестве теплоносителя уравнение теплового баланса примет вид:

$$P = \frac{Q_{\text{н}}}{K_1 \tau_{\text{нагр}}},$$

где P — мощность электронагревателей, определяемая величина, кВт; $K_1 = 1,2$ — коэффициент запаса.

Тепловыделение при экзотермических реакциях $Q_{\text{э.р}}$, кДж/ч, в процессе разогрева бетона находят по формуле:

$$Q_{\text{э.р}} = Q_{28} \cdot V_{\text{Ц}} \cdot g_{\text{ч}} \cdot \tau_{\text{нагр}},$$

где Q_{28} — тепловыделение цемента при 28-суточном твердении, определяют в зависимости от марки цемента по табл.16, прил.; В/Ц — водоцементное отношение, для различных бетонов находят в пределе 0,3–0,5; $t_{\text{ср}} = (t_{\text{к}} + t_{\text{н}})/2$ — средняя температура бетона за время твердения, °С; $\tau_{\text{нагр}}$ — время нагрева бетона, ч; $g_{\text{ч}}$ — объемная производительность установки, м³/ч; $G_{\text{ц}}$ — расход цемента на 1 м³ бетона, кг.

Путем решения приведенных выше уравнений теплового баланса находят неизвестные расходы теплоносителей D , $V_{\text{г}}$, $G_{\text{воды}}$ или P в период разогрева бетона.

Для проверки полученных результатов составляют таблицу (табл.1) теплового баланса на 1 час работы установки (для установок периодического действия — в период разогрева бетона).

Таблица 1

Сводная таблица баланса тепла

Наименование статей баланса	Количество теплоты	
	КДж/ч	%
<i>Приходные статьи теплоты</i>		
Приход тепла с теплоносителем		
Приход тепла от экзотермических реакций		
Всего:		
<i>Расходные статьи теплоты</i>		
Расход теплоты на разогрев бетона изделий		
Расход теплоты на нагрев и испарение влаги бетона		
Расход теплоты на нагрев металла вагонеток, форм и арматуры изделий		
Расход теплоты на разогрев элементов ограждений, включая потери теплоты за время разогрева		
Расход теплоты с паром, находящемся в свободном объеме установки		
Всего:		

В период изотермической выдержки теплоноситель подается для поддержания термосного режима. Количество теплоносителя израсходованного в этот период находят:

при теплоносителе — насыщенный водяной пар атмосферного давления

$$D_{из} = \frac{Q_{из}}{r}, \text{ кг/ч};$$

при теплоносителе — насыщенный водяной пар избыточного давления

$$D_{из} = \frac{Q_{из}}{r_i}, \text{ кг/ч};$$

при теплоносителе — горячие газы

$$V_{из} = \frac{Q_{из}}{q}, \text{ м}^3/\text{ч};$$

при теплоносителе — горячая вода

$$G_{из} = \frac{Q_{из}}{q_v}, \text{ кг/ч};$$

при использовании электроэнергии, ее расход в период изотермической выдержки отсутствует.

Удельные расходы теплоносителей:

$$\text{пара } d_{нагр} = \frac{D_{нагр}}{G_1}, \quad d_{из} = \frac{D_{из}}{G_1}, \text{ кг/м}^3;$$

$$\text{горячих газов } v_{г}^{нагр} = \frac{V_{г}^{нагр}}{G_1}, \quad v_{г}^{из} = \frac{V_{г}^{из}}{G_1}, \text{ м}^3/\text{м}^3;$$

$$\text{горячей воды } g_{воды}^{нагр} = \frac{G_{воды}^{нагр}}{G_1}, \quad g_{воды}^{из} = \frac{G_{воды}^{из}}{G_1}, \text{ кг/м}^3;$$

$$\text{электроэнергии } A = \frac{P}{G_1}, \text{ кВт-ч/м}^3,$$

где $d_{нагр}$, $v_{г}^{нагр}$, $g_{воды}^{нагр}$, A — удельные расходы теплоносителей в период нагрева изделия; $d_{из}$, $v_{г}^{из}$, $g_{воды}^{из}$ — удельные расходы теплоносителей в период изотермической выдержки.

Удельные расходы теплоносителей должны соответствовать нормативным значениям, используемым в промышленности (табл.17, прил.).

Для расчета годового потребления теплоносителя в установках периодического действия сначала рассчитывают количество теплоносителя, затраченного в одном цикле работы установки:

$$\text{пара } D_{ц} = \frac{D_{нагр}}{n}, \text{ кг/цикл};$$

$$\text{горячих газов } V_{г}^{нагр} = \frac{V_{г}^{нагр}}{n}, \text{ м}^3/\text{цикл};$$

$$\text{горячей воды } G_{воды}^{нагр} = \frac{G_{воды}^{нагр}}{n}, \text{ кг/цикл};$$

$$\text{электроэнергии } P_{ц} = \frac{P_{нагр}}{n}, \text{ кВт-ч/цикл},$$

где $D_{ц}$, $V_{г}^{ц}$, $G_{воды}^{ц}$, $P_{ц}$ — количество теплоносителя, затраченного в одном цикле работы установки; $D_{нагр}$, $V_{г}^{нагр}$, $G_{воды}^{нагр}$, $P_{нагр}$ — количество теплоносителя

ля, затраченного в период нагрева; $\tau_{\text{нагр}}$ — время разогрева бетона, ч; $D_{\text{из}}$, $V_{\text{Г}}^{\text{из}}$, $G_{\text{воды}}^{\text{из}}$ — количество теплоносителя, затраченного в период изотермической выдержки; $\tau_{\text{из}}$ — время изотермической выдержки, ч.

Тогда годовое потребление теплоносителя будет:

$$\begin{aligned} \text{пара} & \quad P_{\text{год}} = D_{\text{ц}} \cdot n, \text{ кг/год}; \\ \text{горячих газов} & \quad V_{\text{год}}^{\text{ог}} = V_{\text{Г}}^{\text{ог}} \cdot n, \text{ м}^3/\text{год}; \\ \text{горячей воды} & \quad G_{\text{год}}^{\text{ог}} = G_{\text{Г}}^{\text{ог}} \cdot n, \text{ кг/год}; \\ \text{электроэнергии} & \quad P_{\text{год}} = P_{\text{ц}} \cdot n, \text{ кВт-ч/год}, \end{aligned}$$

где $n_{\text{ц}} = \frac{T_{\text{ч}}}{\tau}$ — количество рабочих циклов, совершаемых установкой в год; $T_{\text{ч}}$ — фонд рабочего времени в году, ч; τ — полное время тепловой обработки изделий, ч.

Годовое потребление теплоносителя для установок непрерывного действия находят:

$$\begin{aligned} \text{пара} & \quad P_{\text{год}} = \frac{D_{\text{ц}} \cdot G}{G_{\text{год}}^{\text{ог}}}, \text{ кг/год}; \\ \text{горячих газов} & \quad V_{\text{год}}^{\text{ог}} = \frac{V_{\text{Г}}^{\text{ог}} \cdot G}{G_{\text{год}}^{\text{ог}}}, \text{ м}^3/\text{год}; \\ \text{горячей воды} & \quad G_{\text{год}}^{\text{ог}} = \frac{G_{\text{Г}}^{\text{ог}} \cdot G}{G_{\text{год}}^{\text{ог}}}, \text{ кг/год}; \\ \text{электроэнергии} & \quad P_{\text{год}} = A_{\text{ц}} \cdot G, \text{ кВт-ч/год}, \end{aligned}$$

где G — годовая производительность завода, м³/год.

ПОДБОР ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Расчет пароразводки

Одним из условий нормальной эксплуатации пропарочных установок является равномерное распределение в них паровой среды. Расчет пароразводки сводится к установлению для данного аппарата дальнобойности струй пара, выходящих из перфорированных труб, и к расчету площади и числа пароподводящих отверстий, запроектированных в соответствии с заданным расходом пара.

При истечении пара в установку с давлением близким к атмосферному массовый расход пара через 1 мм² отверстия перфорированной трубы будет зависеть от давления пара p_1 в подводящем паропроводе и может быть найден по табл.18, прил. При истечении пара в среду с давлением выше атмосферного массовый расход пара через 1 мм² отверстия перфорированной трубы можно определить по формуле:

$$G_{\text{п}} = \mu \cdot F \cdot \sqrt{2 \cdot p_1 \cdot \rho_{\text{п}}},$$

где $\rho_{\text{п}}$ — плотность пара при давлении p_1 , кг/м³.

Минимальное сечение всех сопел, мм²

$$F = \frac{P}{g_{\text{пал}}},$$

Число отверстий $n = \Sigma f / f_1$, где f_1 — площадь сечения одного отверстия, мм² (диаметры отверстий принимают равными от 4 до 30 мм).

Сечение разводящего коллектора для равномерности раздачи пара должно в два раза превышать суммарное сечение отверстий.

Диаметры паропроводов $d_{\text{п}}$, мм, устанавливают исходя из скорости течения в них пара $v_{\text{п}} = 20\text{--}30$ м/с

$$d_{\text{п}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \Sigma Q}{3,6 \cdot v_{\text{п}}}}$$

Расчет трубопроводов для подвода горячих газов и горячей воды

В случае использования в качестве теплоносителя горячих газов, их массовый расход через 1 мм² отверстия будет найден

$$G = 0,349 \cdot p_1 \cdot \sqrt{\rho_{\text{г}}},$$

где $p_1 \geq 1,894$ Па — давление газов перед входом в установку, $\rho_{\text{г}} = 1,3$ кг/м³ — плотность газов.

Минимальное сечение всех сопел, мм²

$$\Sigma F = V \cdot \rho_{\text{г}} / g,$$

Число отверстий $n = \Sigma f / f_1$,

где f_1 — площадь сечения одного отверстия, мм².

Диаметры трубопроводов $d_{\text{г}}$, мм, устанавливают исходя из скорости течения в них газа $v_{\text{г}} = 10\text{--}15$ м/с

$$d_{\text{г}} = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{3,6 \cdot v_{\text{г}}}}$$

Горячая вода в качестве теплоносителя используется в термоформах. Скорость прохождения ее через термоформу $v_{\text{в}} = 5\text{--}10$ м/с. Тогда диаметр подводящих трубопроводов, мм

$$d_{\text{в}} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{3,6 \cdot v_{\text{в}}}}$$

Подбор электрооборудования

В *кассетах* в качестве электродов используют разделительные стенки кассеты. Эти стенки-электроды пофазно присоединены к трехфазной электрической сети промышленной частоты.

Начальное напряжение в цепи электродов, В, будет:

$$U = 1,73 \cdot V_0 / \sqrt{\rho_{\text{бет}} \cdot \delta_{\text{и}}},$$

где P — мощность электронагревателей, кВт; $V_0 = V_{\text{и}} \cdot k$ — объем бетона всех изделий, м³; $V_{\text{и}}$ — объем одного изделия, м³; k — количество изделий в кассете, шт.; $\rho_{\text{бет}} = 5$ Ом·м — начальное электрическое сопротивление бетона; $\delta_{\text{и}}$ — толщина изделия, м.

С возрастанием прочности бетона растет удельное электрическое сопротивление, поэтому для поддержания режима ТВО напряжение постепенно увеличивают до $U_k = 150\text{--}220$ В. регулирование напряжения осуществляется при помощи многоступенчатых трансформаторов типа ТМ–75/6 и АТМКС.

Расчетная мощность трансформатора

$$N = \frac{P}{\eta \cos \varphi}$$

где $\eta = 0,85\text{--}0,95$ — КПД трансформатора; $\cos \varphi = 0,9$ — коэффициент мощности трансформатора.

В щелевых камерах прогрев изделий инфракрасным излучением осуществляется при помощи ТЭНов.

Температуру на поверхности нагревательных элементов, °С, рассчитывают

$$t_{\text{нагр}} = \sqrt{\frac{P}{E_{\text{и}} F_{\text{и}}}} + T_{\text{к}}$$

где P — мощность электронагревателей, кВт; $E_{\text{и}} = 4,4$ Вт/(м²·К) — приведенный коэффициент лучеиспускания; $F_{\text{и}}$ — открытая площадь поверхности изделий, м²; $T_{\text{к}}$ — абсолютная конечная температура нагрева изделия, К.

По полученной температуре поверхности нагревателя по табл.19, прил. принимают материал для изготовления греющего элемента.

Определяют активную поверхность нагревателей, см²

$$F_{\text{ак}} = \frac{100 P}{W},$$

где $W = 9,5\text{--}10,5$ Вт/см² — поверхностная мощность нагревателей.

Количество ТЭНов должно соответствовать числу изделий находящихся в зонах подогрева и изотермической выдержки.

Активная поверхность одного нагревательного элемента

$$F_{\text{ак}} = \frac{F_{\text{ак}}}{n_{\text{нагр}}}$$

где $n_{\text{нагр}}$ — число ТЭНов в установке, шт.

По табл.20, прил. подбирают тип электронагревателя.

БЕЗОПАСНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ УСТАНОВКИ

Тепловые установки на заводах строительных материалов и изделий являются агрегатами повышенной опасности, так как их работа связана с выделением теплоты и влаги. Поэтому условия эксплуатации таких установок строго регламентируются соответствующими правилами и инструкциями.