МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ЮЖНО-КАЗАХСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им.М.АУЕЗОВА

Кафедра: «Технологии силикатов и синтеза минералов»

Айтуреев М.Ж.

Шымкент, 2011

УДК 666.04 : 691.002.5
ББК 38.3

Составитель: Айтуреев М.Ж. Установки для тепловлажностной обработки бетонных и железобетонных изделий. Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Процессы и аппараты – 2». –Шымкент: ЮКГУ им. М.Ауезова, 2011, 120с.

Методические указания составлены в соответствии с требованиями учебного плана и программой дисциплины «Процессы и аппараты – 2» и включает все необходимые сведения по выполнению курсового проекта.

Методические указания предназначены для студентов специальности для студентов специальности 5В073000 – «Производство строительных материалов, изделий и конструкций».

В методических указаниях излагаются методика выполнения курсового проекта по дисциплине «Процессы и аппараты – 2». Приводятся сведения по выбору рационального режима тепловой обработки изделий на основе тяжелых и легких бетонов в различных тепловлажностных установках. Приводятся методики расчета основных размеров установок, теплового баланса, гидравлического расчета системы подачи пара и определения удельного расхода теплоносителя и необходимого давления в начале системы.

Рецензенттер: Худякова Т.М. – д.т.н., профессор кафедры ТСиСМ
Сузев Н.А. – к.т.н., профессор кафедры ТСМИиК
Имангулов Р.И. – к.т.н., директор ТОО «СТиМ»

Рассмотрено и рекомендовано к печати заседанием кафедры «Технологии силикатов и синтеза минералов» (протокол №5 от 22.12.2011г.) и методической комиссией Химико-технологического факультета (протокол №5 от 16.01.2012г).

Рекомендовано к изданию Учебно-методическим советом ЮКГУ им. М.Ауезова, протокол №___ от «__»_____201_г.

© Южно-Казахстанский государственный университет им. М.Ауезова, 201_г.

Ответственный за выпуск Айтуреев М.Ж.

Содержание

1 Предисловие..... 4
2 Методика выполнения курсового проекта..... 5
3 Структура курсового проекта..... 6
4 Содержание пояснительной записки..... 7
4.1 Титульный лист..... 7
4.2 Задание к курсовому проекту..... 7
4.3 Аннотация..... 7
4.4 Содержание..... 8
4.5 Нормативные ссылки..... 8
4.6 Определения..... 8
4.7 Обозначения и сокращения..... 8
4.8 Введение..... 8
4.9 Основная часть..... 9
4.9.1 Литературный обзор и патентный поиск..... 9
4.9.2 Обоснование выбора способа тепловлажностной обработки и конструкции тепловой установки..... 9
4.9.3 Описание конструкции и работы тепловой установки..... 10
4.9.4 Подбор режима тепловой обработки..... 11
4.9.5 Физико-химические процессы, протекающие в изделий при тепловлажностной обработке..... 14
4.9.6 Расчет основных размеров рабочей камеры..... 14
4.9.7 Расчет количества тепловой установки..... 28
4.9.8 Расчет теплового баланса и определение удельного расхода пара..... 31
4.9.9 Расчет гидравлической системы подачи пара тепловой установки..... 69
4.9.10 Подбор котлоагрегата..... 99
4.9.11 Безопасная эксплуатация, охрана труда и окружающей среды..... 99
4.10 Заключение..... 99
4.11 Список использованных источников..... 99
4.12 Приложения..... 100
4.13 Графическая часть..... 100
5. Оформление курсового проекта..... 100
6. Литература..... 103
7. Приложения……..... 104

1 Предисловие

Курсовой проект по проектированию установки для тепловой обработки бетонных и железобетонных изделий выполняется для формирования навыков по проектированию конструкций тепловых установок студентами специальности 5В073000 – «Производство строительных материалов, изделий и конструкций» на основе знаний полученных ими при изучении дисциплины «Процессы и аппараты – 2».

Целью курсового проектирования является комплексное решение вопросов в производстве строительных материалов и изделий, связанных с основными методами конструирования, технологическими, тепловыми и аэродинамическими расчетами, эксплуатацией установок, контролем их работы, определением технико-экономических показателей.

При выполнении курсового проекта студент приобретает практические навыки самостоятельного проектирования тепловой установки, расширяет и углубляет знания, полученные при изучении теоретической части курса.

В процессе проектирования студент должен дополнительно изучить специальную литературу по направлению подготовки специалистов и ознакомиться с работой аналогичных установок на действующих предприятиях по выпуску бетонных и железобетонных изделий. Для полноценного выполнения курсового проекта студенты учатся работать с нормативной и технической документацией, периодической и справочной литературой, типовыми и индивидуальными проектами.

Принятые в процессе проектирования конструктивные решения и режимы тепловой обработки должны основываться на знании студентом основных технологических процессов и допустимых параметров тепловой обработки применительно для заводах строительных материалов, изделий и конструкций.

Включение в проект фактических производственных данных позволяет критически отнестись к существующим на предприятиях тепловым установкам, режимам их работы и внести предложения по улучшению их конструкции или работы, что приближает проект к реальным условиям.

Выполнение курсового проекта – самостоятельная работа студента по данной дисциплине.

Студент является автором проекта и несет полную ответственность за все принятые технические решения, назначенные режимы тепловой обработки и выполненные технологические и теплотехнические расчеты.

2 Методика выполнения курсового проекта

С целью наиболее рационального использования времени, необходимого для выполнения курсового проекта, необходимо сначала представить объем проекта, уяснить требования, предъявляемые к выполнению расчетно-пояснительной записки и графической части, установить порядок работы в соответствии с графиком выполнения задания.

Начальным этапом работы является тщательная подготовка к проектированию, которая заключается в следующем:

– ознакомление по литературным источникам со всеми видами тепловых установок, применяемых для тепловой обработки заданных материалов или изделий;

– выявление требований к тепловой установке, определяемых технологическим процессом;

– ознакомление с работой аналогичной установки, действующей на предприятии;

– изучение конструкции установки по альбомам, атласам, заводским чертежам, рабочим чертежам проектных организаций;

– составление эскиза установки, отдельных узлов и деталей.

При проектировании необходимо учесть, что расчетная часть и чертежи выполняются параллельно в ходе всего проектирования. Сделать полный расчет установки невозможно без чертежа, также нельзя сделать чертеж не имея основных технологических и теплотехнических расчетов. Зависимость одного от другого определяет порядок и последовательность расчета и оформления графической части.

Поскольку основные размеры и выбранный тип конструкции тепловой установки определяют дальнейший ход курсового проектирования, студент обязан показать руководителю на первой консультации выбранный тип установки и рассчитанные ее геометрические размеры.

Вначале проектирования не следует долго задерживаться с расчетами, а нужно стремиться к тому, чтобы скорее начать выполнение чертежа, чтобы большую часть времени уделить разработке конструкции установки – как наиболее трудоемкому этапу работы над проектом.

Теплотехнический расчет установки можно выполнять только при наличии чертежа или эскиза установки, следовательно, в первую очередь необходимо сделать компоновочную и аэродинамическую схему и согласовать ее с руководителем проекта. После этого студент приступает к выполнению расчета, являющегося основой для выполнения графической части проекта.

Конкретные рекомендации по ходу проектирования следует получать у руководителя, аккуратно являясь на консультации как для проверки выполненной части работы, так и для систематической отметки объема выполненных работы в соответствии с графиком курсового проектирования. Проект, принесенный студентом в готовом виде без систематического посещения консультаций, к защите не принимается.

3 Структура курсового проекта

Структура курсового проекта состоит из пояснительной записки объемом 25…35 листов формата А-4 и графической части на 1…2 листах формата А-1.

Графическая часть проекта должна содержать планы и разрезы установки в трех проекциях. Кроме того, могут быть выполнены чертежи отдельных деталей и узлов, схемы системы подвода теплоносителя к агрегату и вывода конденсата, поясняющие конструкцию и принцип работы установки,

Структура пояснительной записки и графической части проекта содержит следующие обязательные разделы с примерным распределением объема листов:

1	Титульный лист		1
2	Задание на проект		1...2
3	Аннотация		1…2
4	Содержание		1…2
5	Нормативтые ссылки		1...2
6	Определения		1…2
7	Обозначения и сокращения		1…2
8	Введение		1…3
9	Основная часть		
	9.1	Литературный обзор и патентный поиск	3…6
	9.2	Обоснование выбора способа тепловлажностной обработки и конструкции установки	2…4
	9.3	Описание конструкции и работы тепловой установки	2…5
	9.4	Подбор режима тепловой обработки	1…3
	9.5	Физико-химические процессы, протекающие в изделий при тепловлажностной обработке	2…4
	9.6	Расчет основных размеров рабочей камеры	2...3
	9.7	Расчет количества тепловой установки	1...3
	9.8	Расчет теплового баланса и определение удельного расхода пара	5…10
	9.9	Расчет гидравлической системы подачи пара тепловой установки	3…8
	9.10	Подбор котлоагрегата	1…2
10	Безопасная эксплуатация, охрана труда и окружающей среды		2…4
11	Заключение		1…2
12	Список использованной литературы		1…2
13	Приложения		1…5
14	Графическая часть		
	14.1	Конструкция тепловой установки в трех проекциях, разрезы, детали, схемы	1…2

4 Содержание пояснительной записки

4.1 Титульный лист

Титульный лист выполняется на формате А4. Заполнение титульного листа производиться в соответствии с Приложением А.

4.2 Задание к курсовому проекту

Задание на курсовой проект по данной дисциплине выдается руководителем курсового проектирования в соответствии с графиком учебного процесса не позднее первой недели с начала занятий. Задание проекта утверждает заведующий соответствующей кафедры.

В задании должны быть указаны: название дисциплины; ф.и.о. студента; его группа; тема проекта с указанием наименование подвергаемого к тепловой обработке материала или изделия и тип тепловой установки; годовая производительность предприятия; дополнительные сведения по ассортименту выпускаемого материала или изделия (вид изделия, размеры, масса и др.).

Тема курсового проекта, как правило, является продолжением и развитием курсового проекта по данной дисциплине, изучаемой на данном этапе обучения. В качестве темы может быть предложено проектирование различных установок для тепловлажностной обработки бетонных и железобетонных изделий; печей для производства цемента, гипса, обжига извести и магнезиальных вяжущих, обжига керамических изделий; сушки строительных материалов и изделий, а также других установок, применяемых в промышленности строительных материалов. Задание на курсовой проект может быть согласовано с будущим дипломным проектированием.

В задании на курсовой проект в виде таблицы приводятся перечень разделов пояснительной записки и их объемы (примерное количество листов), сведения по графической части (размеры чертежный листов и их количество), а также даты поэтапного выполнения каждого раздела. Студент обязан соблюдать график выполнения разделов с соответствующим объемом.

Кроме того, дается перечень основных используемых источников, указываются даты выдачи задания и защиты проекта, инициалы руководителя проекта.

В конце задании вставится подтверждающая отметка (подпись и дата) студентом о получении задании курсового проектирования (Приложение Б).

4.3 Аннотация

В аннотации дается краткий перечень работ, выполненных в ходе проектирования тепловой установки. Приводятся особенности принятой конструкции тепловой установки. Отмечается новизна решения отдельных

узлов или элементов конструкции установки. Приводятся преимущества выбранного метода тепловой обработки для получения указанных в задании проекта изделий с нормируемыми показателями качества.

Заключительная часть аннотации должна содержать следующие сведения:

- по пояснительной записке: объем в страницах, количсетво иллюстраций (чертежей, рисунков, схем), количество используемых источников;
- по графической части: перечень чертежей с указанием их названия.

Аннотация выполняется при завершении работы над проектом и помещается за заданием на курсовой проект.

4.4 Содержание

В содержании проекта приводятся порядковый номер и название всех разделов согласно структуры пояснительной записки (кроме графической части) и нумерация страниц в котором они расположены.

4.5 Нормативные ссылки

В ходе выполнения курсового проекта могут быть использованы различные нормативные документы: технические регламенты; государственные стандарты Республики Казахстан; межгосударственные стандарты; международные стандарты; стандарты, документированные процедуры, методические инструкции ЮКГУ им. М.Ауезова и др.

Перечень нормативных ссылок приводится в порядке их установленных регистрационных номеров.

4.6 Определения

В целях уточнения отдельных терминов, использованных при оформлении пояснительной записки курсового проекта, необходимо привести на них соответствующие определения.

4.7 Обозначения и сокращения

В целях понимания отдельных обозначений и сокращений, приведенных при оформлении пояснительной записки курсового проекта, необходимо привести на них соответствующие формулировки.

4.8 Введение

Во введении приводятся общие сведения о производстве бетонных и железобетонных изделий и строительных конструкций, кратко излагается история ее развития.

Необходимо осветить первостепенные задачи, которые ставятся перед промышленностью строительных материалов на современном этапе развития

производства; решения Главы государства и Правительства РК, принятые важнейшие Государственные программы по вопросам экономики и инновационной индустриализации промышленности, совершенствования и автоматизации технологии производства строительных материалов, изделий и конструкций; последние достижения науки и техники в данной отрасли, пути рационального решение проблем, возникающих конкретно перед теми производствами, которые предусматриваются в проекте.

Необходимо отразить целесообразность и важность тепловлажностной обработки изделий, выпуск которой планируется в проекте.

4.9 Основная часть

4.9.1 Литературный обзор и патентный поиск

Данный раздел проекта должен содержать обзор (аналитические исследования) по изданным литературным источникам и разработанным патентным объектам в области технологии производства строительных материалов, изделий и конструкции, в частности, новых интенсивных способов тепловой обработки, конструктивных элементов тепловых установок и др.

Литературный обзор и патентный поиск по теме проекта проводятся для освоение современных технических новинок, принятых в последние годы в промышленности строительных материалов, в целях предотвращение дублирования предыдущих работ по проектированию аналогичных тепловых агрегатов и создания нового объекта в качестве проектируемой тепловой установки с улучшенными технологическими и теплотехническими показателями в отличие от существующих.

При проведении литературного обзора и патентного поиска необходимо пользоваться следующими источниками информации: республиканские и зарубежные научные журналы, реферативные журналы, бюллетени патентов, предпатентов и инновационных патентов РК и зарубежных стран, веб-сайты сети интернета и др.

По результатам проведенных аналитических исследований составляется краткий вывод о принятых технических новинок.

4.9.2 Обоснование выбора способа тепловлажностной обработки и конструкции установки

В обосновании способа тепловой обработки изделий необходимо доказать целесообразность одного из современных способов для тепловлажностной обработки изделий, выпуск которой планируется в проекте (пропаривание в пара-воздушной среде, в среде чистого насыщенного пара, прогревом через стенку форм, пропаривание в атмосферных или повышенных давлениях,

электропрогрев и др.). Целесообразность выбранного способа доказывается экономическими предпосылками, конструктивными обобенностями теплового агрегата, условиями эксплуатации, возможностью строительства и демонтажа тепловой установки и другими предпосылками.

В обосновании выбора тепловой установки приводятся краткие сведения о существующих тепловых установках, предназначенных для такого же технологического процесса. Сопоставляя принятый в курсовом проекте тепловой агрегат с существующими на предприятиях, отмечают его положительные качества и недостатки, при этом доказывают достоинства принятого теплового агрегата по сравнению с действующими в конкретных заводских условиях.

На основе критического анализа выбирается наиболее рациональный способов тепловой обработки и эффективный тип установки с учетом нормативных теплотехнических и технико-экономических показателей (расход теплоносителя, степени механизации и автоматизации, возможности регулирования и контроля режима тепловой обработки, санитарно-гигиенических условий работы и др.).

4.9.3 Описание конструкции и работы тепловой установки

В данном разделе приводится описание проектируемой тепловой установки с конкретным указанием технических и теплотехнических параметров и ее геометрических размеров. Отражаются новые конструктивные решения, принятые в проекте по результатам литературного обзора и патентного поиска, приводится их обоснованность. Даются сведения о способах загрузки и выгрузки установки.

Подробно рассматриваются вопросы запуска установки в работу и поддержания заданного теплового режима с указанием рабочих мест для обслуживания установки. Указываются принятые способы подачи и отбора теплоносителя.

Особое внимание при описании следует обратить на степень комплексной механизации и автоматизации наиболее трудоемких процессов загрузки, при необходимости – передвижения и выгрузки материала или изделий в рабочей камере установки.

Описание установки лучше производить после выполнения предварительной компоновки графической части проекта с указанием ссылок на чертежи, на которых все основные узлы должны быть достаточно полно представлены путем выполнения соответствующих сечений, разрезов, деталировки.

Приводятся описание характеристики технологических и тепловых зон установок, особенности теплообмена в рабочей камере тепловой установки, дается подробная характеристика конструкционных и теплоизоляционных элементов.

4.9.4 Подбор режима тепловой обработки

Под режимом тепловой обработки подразумевается савокупность теплотехнических параметров (температура теплоносителя, длительность времени тепловлажностной обработки, температура и время нагрева изделий и другие), обеспечивающих оптимальные условия тепловлажностной обработки бетонных и железобетонных изделий.

Режим тепловой обработки в соответствии с режимом работы установки включает несколько периодов.

Длительность каждого периода зависит от теплопроводности, плотности и эффективности заполнения бетонной смеси, вида заполнителя, требуемой прочности готовой продукции, толщины и размеров изделия, вида вяжущего вещества, способа нагрева, исходного состава изделий, конструкции установки и др.

Тепловлажностная обработка целесообразна для изделий на основе портландцемента и шлакопортландцемента. Пуццолановые портландцементы при тепловлажностной обработке применяют только для изделий специального назначения, обладающие повышенной водо- и солестойкостью.

Если для приготовления бетонной смеси в качестве вяжущего материала применяется портландцемент марки М400 или пуццолановый шлакопортландцемент и другие цементы низких марок, то температура изотермической выдержки принимается 90-100 ^{o}C в открытых формах и 100-110 ^{o}C в закрытых формах.

Если в качестве вяжущего используется портландцемент марки выше М400, то температура изотермической выдержки принимается в пределах 80-90 ^{o}C.

Тепловлажностная обработка изделий из пластифицированных и гидрофобных цементов допускается при назначении специальных режимов с длительным предварительным выдерживанием или медленной скоростью подъема температураы. Изделия на основе глиноземистых цементов тепловлажностной обработке не подвергаются, их прогревают при температурах в интервале 40-60 ^{o}C.

Бетоны с меньшим водоцементным отношением прогреваются при более высоких температурах. Это позволяет сокращать время тепловой обработке и экономит тепловую энергию. При этом бетоны с меньшим водоцементным отношением более жестки и труднее формуются. Поэтому выбор бетонной смеси будет определять режим тепловой обработки.

Оптимальная длительность каждого периода режима тепловой обработки принимается из литературных источников; данных рекомендуемых научно-исследовательскими и проектными организациями; конкретных параметров, принятых на действующих заводах по производству бетонных и железобетонных изделий (Приложения В, Г, Д, Е, Ж, З, И, К, Л, М, Н).

Методика выбора рационального режима тепловой обработки в зависимости от режима работы тепловой установки приведены ниже.

Установки непрырывного действия

Общее время режима тепловлажностной обработки установок непрерывного действия включает следующие периоды:

- подогрев изделий до необходимой температуры;
- изотермическая выдержка при максимальной температуре;
- охлаждение изделий.

Режим тепловой обработки тепловых установок непрерывного действия определяется по формуле:

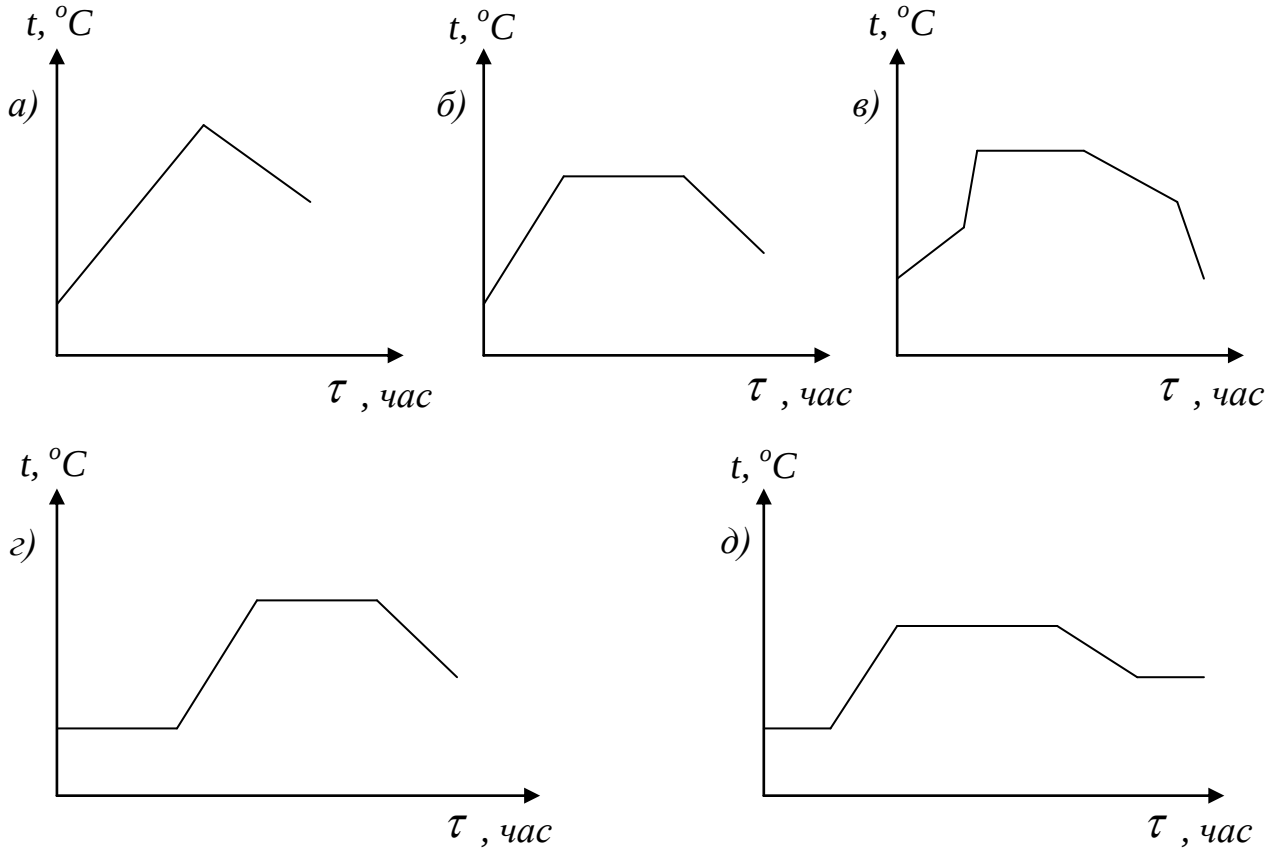
$$\tau_{т.о.} = \tau_{под} + \tau_{из} + \tau_{охл}, \ час$$

где: $\tau_{под}$ – время подогрева, *час*

$\tau_{из}$ – время изотермической выдержки, *час*

$\tau_{охл}$ – время охлаждения, *час*

Принятый режим тепловой обработки оформляется в виде графика с указанием всех периодов в соответствии с рисунком 1.



а) без изотермической выдержки;
б) с изотермической выдержки;
в) с переменной скоростью подогрева и охлаждения;
г) с предварительной выдержкой в камере;
д) с ступенчатым подогревом и охлаждением.

Рисунок 1. График режима тепловой обработки.

Установки периодического действия

Режим тепловой обработки для установок периодического действия состоит из рабочего цикла, повторяющиеся в определенный период.

Под рабочим циклом понимают время от начала подготовки рабочей камеры для загрузки отформованных изделий до окончание выгрузки готовой продукции. Продолжительность рабочего цикла позволяет по заданной производительности определить основных размеров рабочей камеры.

Полный один рабочий цикл включает следующие периоды:

- загрузка изделий в камеру;
- выдержка перед тепловой обработки;
- подогрев от начальной до заденной температуры нагрева;
- изотермическая выдержка при заданной температуре;
- охлаждение изделий;
- разгрузка изделий из рабочей камеры.

Принятый режим тепловой обработки оформляется в виде графика с указанием всех периодов в соответствии с рисунком 1.

Длительность периодов тепловой обработки, т.е. полный один рабочий цикл ($\tau_ц$) принимается в зависимости от способа загрузки изделий в камеру и особенности принципа работы тепловой установки.

Ямная пропарочная камера

$$\tau_ц = \tau_{заг} + \tau_{под} + \tau_{из} + \tau_{охл} + \tau_{выг},\ час$$

где: $\tau_{заг}$ – время загрузки изделий в рабочую камеру, (1,0 ÷ 2,0) *час*

$\tau_{под}$ – время подогрева, *час*

$\tau_{из}$ – время изотермической выдержки, *час*

$\tau_{охл}$ – время охлаждения, *час*

$\tau_{выг}$ – время выгрузки изделий из рабочей камеры, (1,0 ÷ 2,0) *час*

Туннельная пропарочная камера

$$\tau_ц = \tau_{заг} + \tau_{под} + \tau_{из} + \tau_{охл} + \tau_{выг},\ час$$

где: $\tau_{заг}$ – время загрузки изделий в рабочую камеру, (0,3 ÷ 0,5) *час*

$\tau_{выг}$ – время выгрузки изделий из рабочей камеры, (0,3 ÷ 0,5) *час*

Кассетная установка

$$\tau_ц = \tau_{тех} + \tau_{под} + \tau_{из} + \tau_{охл} + \tau_{всп},\ час$$

где: $\tau_{тех}$ – продолжительность сборки установки, арматуры, формования, распалубки, чистки и смазки, (3,0 ÷ 5,0) *час*

$\tau_{всп}$ – время вспомогательных операций, (0,5 ÷ 1,0) *час*

Термоформа

$$\tau_ц = \tau_{тех} + \tau_{под} + \tau_{из} + \tau_{охл}, \ час$$

где: $\tau_{тех}$ – продолжительность сборки установки, формования, распалубки, чистки и смазки, (1,0 ÷ 2,5) *час*

Автоклав

$$\tau_ц = \tau_{под} + \tau_{из} + \tau_{охл} + \tau_{тех}, \ час$$

где: $\tau_{тех}$ – время вспомогательных операций, *час*

– время открытия и закрытия крышек (для цилиндрических и туннельных автоклавов 0,3÷0,4; для ямных автоклавов 0,8÷1,0);

– время загрузки и выгрузки изделий (для цилиндрических 0,5; для туннельных 1,3; для ямных автоклавов 2,0÷4,0);

– время остывания после выпуска пара 0,5;

4.9.5 Физико-химические процессы, протекающие в изделий при тепловлажностной обработке

Содержание данного раздела должно характеризовать физико-химические процессы, происходящие в материале при тепловом воздействии по заданному режиму. Необходимо показать влияние температурных и временных факторов на кинетику процессов, происходящих в материале. Показывается, за счет чего достигается ускорение физико-химических реакций, приводящих к изменению структурных характеристик материала, и как следствие, к изменению физических, химических и механических показателей качества изделий. Устанавливаются возможные пути интенсификации протекающих процессов. Описание данной составляющей курсового проекта должно базироваться на изучении и познании научных работ и производственного опыта, приведенного в научных изданиях.

4.9.6 Расчет основных размеров рабочей

Установки непрырывного действия

Размеры рабочих камер тепловых установок непрерывного действия зависит от их производительности, режима тепловой обработки и габаритных размеров изделий.

Проектная часовая производительность установки по готовой продукции определяется по формуле:

$$D_{час} = \frac{V_{пр}}{24 \cdot V_{изд} \cdot \tau_{год} \cdot \eta_{исп} \cdot \eta_{зап}}, \ штук/час$$

где: $V_{пр}$ – проектная производительность установки, *м³/год*

$V_{изд}$ – объем бетона в одном изделий, *м³*

$\tau_{год}$ – годовой фонд времени установки, (262 *суток*)

$\eta_{исп}$ – коэффициент использования установки, $\eta_{исп} = \dfrac{\tau_{год} - \tau_{рем}}{\tau_{год}}$

$\tau_{рем}$ – время на плановые ремонты установки, (13 *суток*)

$\eta_{зап}$ – коэффициент использования рабочего пространства. Рассчитывается по объему изделий, размещаемых в 1 *м³* рабочей камеры, величина коэффициента использования рабочей камеры принимается в пределах 0,2÷0,4

.

Туннельная пропарочная камера

Общая длина рабочей камеры туннельной установки в соответствии с заданной производительностью определяется по формуле:

$$L_{кам} = \frac{1{,}05 \cdot D_{час} \cdot \tau_{т.о.} \cdot \ell_{ф}}{n} + 2 \cdot \ell_{зап} \ , \ м$$

где: $\ell_{ф}$ – длина формы с изделием, *м*

$\ell_{ф} = \ell_{изд} + (0{,}2 \div 0{,}3)$, *м*

$\ell_{изд}$ – длина одного изделия, *м*

n – количество ярусов по высоте установки, для щелевых туннельных камер $n = 1$, для многоярусных установок $n = 2 \div 6$

$\ell_{зап}$ – расстояние между формами и торцевыми завесами установки (0,2 ÷ 0,5*м*);

Длина туннельной установки должна соответствовать длины типовой туннельной камеры, т.е. $L_{кам} \le L_{тип}$.

Если рассчитанная длина превосходить длины типовой туннельной камеры ($L_{кам} = 70 \div 130 м$), тогда, либо увеличивается число ярусов в многоярусной туннельной установке, либо принимается необходимое количество установок.

Необходимое количество установок рассчитывается по формуле:

$$T_{уст} = \frac{L_{кам}}{L_{тип}} \ , \ штук$$

Количество установок округляется до целого числа в сторону увеличения.

После вычисления необходимого количество установок, проектная часовая производительность одной установки по готовой продукции рассчитывается по формуле:

$$D_{уст} = \frac{D_{час}}{T_{уст}} \ , \quad штук/час$$

Повторно рассчитывается необходимая длина рабочей камеры туннельной установки для принятой к проектированию часовой производительности:

$$L_{кам} = \frac{1{,}05 \cdot D_{уст} \cdot \tau_{т.о.} \cdot \ell_{ф}}{n} + 2 \cdot \ell_{зап} \ , \ м$$

После определения необходимой длины рабочей камеры тепловой установки рассчитывается длина каждой зоны.

Длина зоны подогрева рассчитывается по формуле:

$$L_{под} = \frac{1{,}05 \cdot D_{уст} \cdot \tau_{под} \cdot \ell_{ф}}{n} + \ell_{зап} \ , \ м$$

где: $\tau_{под}$ – время подогрева, *час*

Длина зоны изотермической выдержки подогрева рассчитывается по формуле:

$$L_{из} = \frac{1{,}05 \cdot D_{уст} \cdot \tau_{из} \cdot \ell_{ф}}{n} \ , \ м$$

где: $\tau_{из}$ – время изотермической выдержки, *час*

Длина зоны охлаждения рассчитывается по формуле:

$$L_{охл} = \frac{1{,}05 \cdot D_{уст} \cdot \tau_{охл} \cdot \ell_{ф}}{n} + \ell_{зап} \ , \ м$$

где: $\tau_{охл}$ – время охлаждения, *час*

Суммарная длина зон подогрева, изотермической выдержки и охлаждения должна быть равной общей длине туннельной установки.

$$L_{кам} = L_{под} + L_{из} + L_{охл}$$

Ширина камеры рассчитывается по формуле:

$$B_{кам} = в_{ф} + 2 \cdot в_{зап} \ , \ м$$

где: $в_{ф}$ – ширина вагонетки (формы) с изделием,

$$в_{ф} = в_{изд} + (0{,}2 \div 0{,}3) \ , м$$

$в_{изд}$ – ширина изделия (вагонетки), *м*

$в_{зап}$ – расстояние между вагонеткой и боковой стенки камеры, (0,15 ÷ 0,25*м*)

Высота камеры рассчитывается по формуле:

$$H_{кам} = (h_{ваг} + h_{ф}) \cdot n + h_1 + h_2 + h_3 \cdot (n-1) \ , \ м$$

где: $h_{ваг}$ – высота вагонетки, (0,25 ÷ 0,32*м*)

$h_{ф}$ – высота формы с изделием,

$h_{ф} = h_{изд} + (0{,}2 \div 0{,}3)$, *м*

$h_{изд}$ – высота одного изделия, *м*

n – количество ярусов по высоте камеры, *штук*

h_1 – расстояние от пола до головки рельса, (0,1 ÷ 0,3*м*)

h_2 – расстояние от формы до свода установки, (0,15÷ 0,2*м*)

h_3 – расстояние между верхом изделия и головкой рельса выше расположенного яруса, (0,15 ÷ 0,25*м*)

Вертикальная пропарочная камера

Общая высота рабочей камеры установки по заданной производительности определяется по формуле:

$$H_{кам} = \frac{D_{час} \cdot \tau_{т.о.} \cdot (h_{ф} + h_{кон})}{n_{дл} \cdot n_{шр}} + h_{пол} + h_{св} - h_{кон} \ , \ м$$

где: $\tau_{т.о.}$ – суммарное время тепловлажностной обработки, *час*

(в силу конструктивных особенностей вертикальных камер, время подогрева принимается равной с временем охлаждения или наоборот $\tau_{под} = \tau_{охл}$, причем ориентиром является значение того периода, временной интервал которого больше).

$h_{ф}$ – высота формы с изделием, *м*

$h_{ф} = h_{изд} + (0{,}2 \div 0{,}3)$, *м*

$h_{кон}$ – высота консоли поворотных устройств, (0,2*м*)

$n_{дл}$ – количество вертикальных рядов по длине камеры, (1÷2) *штук*

$n_{шр}$ – количество вертикальных рядов по ширине камеры, (1÷2) *штук*

$h_{пол}$ – расстояние от формы до пола камеры, (0,2*м*)

$h_{св}$ – расстояние от формы до свода камеры, (1,8*м*)

Рациональная высота рабочей камеры одной установки принимается в соответствии с высотой типовой вертикальной пропарочной камеры, т.е. $H_{кам} \le H_{тип} \le 10м$.

Если рассчитанная величина больше высоты типовой вертикальной пропарочной камеры, тогда увеличивается, либо количество рядов по ширине и длине, либо количество необходимых вертикальных камер.

Необходимое количество установок рассчитывается по формуле:

$$T_{уст} = \frac{H_{кам}}{H_{тип}} \ , \ дана$$

где: $H_{тип}$ – высота типовой вертикальной пропарочной камеры, *м*

Количество установок округляется до целого числа в сторону увеличения.

После вычисления необходимого количество установок, проектная часовая производительность одной установки по готовой продукции рассчитывается по формуле:

$$D_{уст} = \frac{D_{час}}{T_{уст}} \ , \ штук/час$$

Повторно рассчитывается необходимая высота рабочей камеры для принятой к проектированию часовой производительности:

$$H_{кам} = \frac{D_{уст} \cdot \tau_{т.о.} \cdot (h_{ф} + h_{кон})}{n_{дл} \cdot n_{шр}} + h_{пол} + h_{св} - h_{кон} \ , \ м$$

После определения необходимой высоты рабочей камеры тепловой установки рассчитывается высота каждой зоны.

Вытота зон подогрева и охлаждения рассчитывается по формуле:

$$H_{под} = H_{олх} = \frac{D_{уст} \cdot (\tau_{под} + \tau_{охл}) \cdot (h_{ф} + h_{кон})}{n_{дл} \cdot n_{шр}} + h_{пол} \ , \ м$$

Вытота зоны изотермической выдержки рассчитывается по формуле:

$$H_{из} = \frac{D_{уст} \cdot \tau_{из} \cdot (h_{ф} + h_{кон})}{n_{дл} \cdot n_{шр}} + h_{св} - h_{кон} \ , \ м$$

Общая высота вертикальной пропарочной камеры должна быть равно сумме высот зон подогрева и изотермической выдержки. $H_{кам} = H_{под} + H_{из}$

Длина рабочей камеры определяется по формуле:

$$L_{кам} = n_{дл} \cdot \ell_{ф} + 2 \cdot \ell_{зап} + (n_{дл} - 1) \cdot \ell_{п.с.} \ , \ м$$

где: $\ell_{ф}$ – длина формы с изделием, *м*

$$\ell_{ф} = \ell_{изд} + (0{,}2 \div 0{,}3) \ , м$$

$\ell_{изд}$ – длина одного изделия, *м*

$\ell_{зап}$ – расстояние между формами и торцевыми стенками (0,5 ÷ 0,6*м*);

$\ell_{п.с.}$ – расстояние между подъемными и спускными вертикальными рядами (0,5 ÷ 0,6*м*);

Ширина рабочей камеры определяется по формуле:

$$B_{кам} = n_{шр} \cdot в_{ф} + 2 \cdot в_{зап} + (n_{шр} - 1) \cdot в_{в.р.} \ , \ м$$

где: $в_{ф}$ – ширина формы с изделием, *м*

$$в_{ф} = в_{изд} + (0{,}2 \div 0{,}3) \ , м$$

$в_{изд}$ – ширина одного изделия, *м*

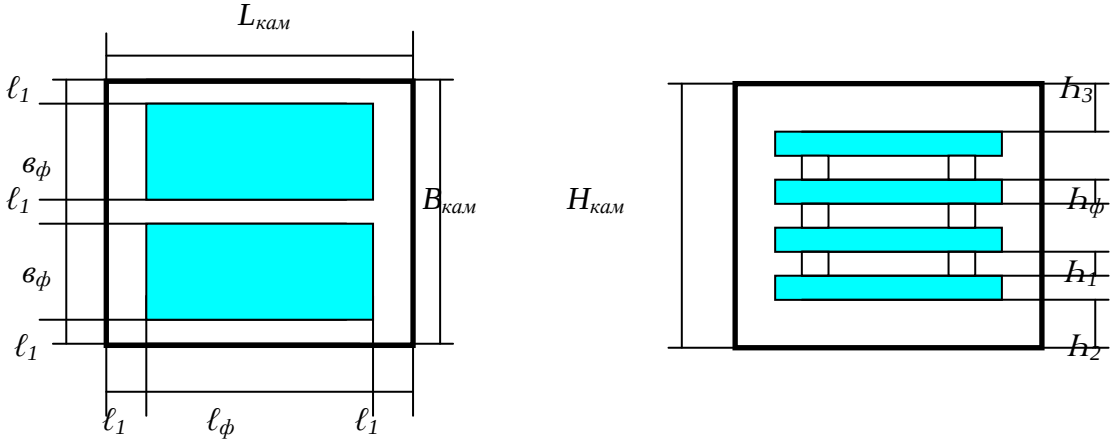
$в_{зап}$ – расстояние между формами и боковыми стенками камеры (0,5÷0,6*м*);

$в_{в.р.}$ – расстояние между вертикальными рядами по ширине камеры (0,5 ÷ 0,6*м*);

Установки периодического действия

Ямная пропарочная камера

Для расчета основных габаритных размеров рабочей камеры установки предварительно вычерчивает эскиз укладки обрабатываемых изделий согласно рисунка 2.



$L_{кам}$ – длина рабочей камеры, *м*; $B_{кам}$ – ширина рабочей камеры, *м*; $H_{кам}$ – высота рабочей камеры, *м*; $в_ф$ – ширина формы с изделием, *м*; $\ell_ф$ – длина формы с изделием, *м*; ℓ_1 – расстояние между формой и стенки камеры и между штабелями форм (0,1*м*); $h_ф$ – высота формы с изделием, *м*; h_1 – расстояние между формами с изделиями по высоте (0,03*м*); h_2 – расстояние между формой и дном камеры (0,15*м*); h_3 – расстояние между верхним изделием и крышей камеры (0,05*м*), *м*.

Рисунок 2. Схема укладки изделий в ямной пропарочной камере

Размеры камеры зависят от производительности установки, номенклатуры изделий, размера форм и различных технологических зазоров (между изделиями, на прокладки, захваты, траверсы и др.)

Длина камеры определяется по формуле:

$$L_{кам} = \ell_{ф} \cdot n_1 + (n_1 + 1) \cdot \ell_1 \ , \ м$$

где: $\ell_{ф}$ – длина форм с изделием, *м*

$$\ell_{ф} = \ell_{изд} + (0{,}2 \div 0{,}3) \ , м$$

$\ell_{изд}$ – длина одного изделия, *м*

n_1 – количество форм по длине камеры, подбирается из расчета длины типовой ямной пропарочной камеры (7,0 ÷ 13*м*), *штук*

Ширина рабочей камеры определяется по формуле:

$$B_{кам} = в_{ф} \cdot n_2 + (n_2 + 1) \cdot \ell_1 \ , \ м$$

где: $в_{ф}$ – ширина формы с изделием, *м*

$$в_{ф} = в_{изд} + (0{,}2 \div 0{,}3) \ , м$$

$в_{изд}$ – ширина одного изделия, *м*

n_2 – количество форм по ширине камеры, подбирается из расчета ширины типовой ямной пропарочной камеры (1,5 ÷ 4*м*), *штук*

Высота рабочей камеры определяется по формуле:

$$H_{кам} = (h_{ф} + h_1) \cdot n_3 + h_2 + h_3 \ , \ м$$

где: $h_{ф}$ – высота формы с изделием, *м*

$$h_{ф} = h_{изд} + (0{,}2 \div 0{,}3) \ , м$$

$h_{изд}$ – высота одного изделия, *м*

n_3 – количество форм по высоте камеры, подбирается из расчета высоты типовой ямной пропарочной камеры (≤ 4м), *штук*

Объем рабочей камеры рассчитывается по формуле:

$$V_{кам} = L_{кам} \cdot B_{кам} \cdot H_{кам} \ , \quad м^3$$

Количество изделий в ямной пропарочной камере определяется по формуле:

$$D_{кам} = n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \ , \quad штук$$

Туннельная пропарочная камера

Размеры тунельной камеры зависят от ассортимента изделий, производительности, габаритов вагонетки и технологических зазоров (на прокладки, зазоры между вагонеткой и стенами туннеля).

Габариты вагонеток, на которых пропариваются мелкоразмерные бетонные и железобетонные изделия, определяют исходя из способа размещения изделий на вагонетки.

Длина вагонетки определяется по формуле:

$$\ell_{ваг} = \ell_{ф} \cdot n_1 + (n_1 + 1) \cdot \ell_1 \ , \ м$$

где: $\ell_{ф}$ – длина формы с изделием,

$$\ell_{ф} = \ell_{изд} + (0{,}15 \div 0{,}2) \ , м$$

$\ell_{изд}$ – длина одного изделия, *м*

n_1 – количество форм по длине вагонетки, выбирается с учетом нормативной длины вагонетки ($\ell_{ваг} \le 7м$), *штук*

Ширина вагонетки определяется по формуле:

$$в_{ваг} = в_{ф} \cdot n_2 + (n_2 + 1) \cdot \ell_1 \ , \ м$$

где: $в_{ф}$ – ширина формы с изделием, *м*

$$в_{ф} = в_{изд} + (0{,}15 \div 0{,}2) \ , м$$

$в_{изд}$ – ширина одного изделия, *м*

n_2 – количество форм по ширине вагонетки, выбирается с учетом нормативной ширины вагонетки ($\ell_{ваг} \le 1{,}2м$), *штук*

Длина туннельной камеры определяется по формуле:

$$L_{кам} = \ell_{ваг} \cdot n_{ваг} + 2 \cdot \ell_2 \ , \ м$$

где: $n_{ваг}$ – количество вагонеток по длине камеры, выбирается с учетом нормативной длины туннельной камеры (10 ÷ 30*м*), *штук*

ℓ_2 – расстояние между вагонеткой и дверью туннеля равно, (0,15 ÷ 0,25*м*)

Ширина туннельной камеры определяется по формуле:

$$B_{кам} = в_{ваг} \cdot n_{рел} + (n_{рел} + 1) \cdot \ell_3 \ , \ м$$

где: $n_{рел}$ – количество рельсовых путей в камере (1 ÷ 2), *штук*

ℓ_3 – расстояние между вагонеткой и стеной туннеля и между вагонетками по ширине камеры, (0,15 ÷ 0,25*м*)

Высота камеры при пропаривании железобетонных изделий определяется по формуле:

$$H_{кам} = h_{ваг} + h_{ф} \cdot n_3 + (n_3 + 1) + h_1 \ , \ м$$

где: $h_{ф}$ – высота формы с изделием, *м*

$$h_{ф} = h_{изд} + 0{,}025, \ м$$

$h_{изд}$ – высота одного изделия, *м*

n_3 – количество изделий по высоте камеры, подбирается с учетом нормативной высоты туннельной камеры (1,6 ÷ 2,0*м*), *штук*

h_1 – расстояние между формами по высоте камеры, 0,03*м*

Высота камеры при пропаривании шлакоблоков определяется по формуле:

$$H_{кам} = h_{ваг} + 0{,}1 \ , \ м$$

Объем туннельной камеры определяется по формуле:

$$V_{кам} = L_{кам} \cdot B_{кам} \cdot H_{кам} , \ \ м^3$$

Количество изделий в туннельной камере для пропаривания железобетонных изделий определяется по формуле:

$$D_{кам} = n_{ваг} \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 , \quad штук$$

Количество шлакоблоков, пропариваемых в туннельной камере определяется по формуле:

$$D_{кам} = D_{ваг} \cdot n_{ваг} \cdot n_{рел} , \quad штук$$

где: $D_{ваг}$ – грузоподъемность вагонетки в штуках, *штук*

(0,51 $м^3$ шлакоблоков или 32 *штук* шлакоблока)

Кассетная установка

Технические характеристики для определения основных размеров кассетной установки приведены в таблице 1.

Длина кассетной установки определяется по формуле:

$$L = D_{кам} \cdot \delta_{изд} + \delta_{р.с.} \cdot n_{р.с.} + \delta_{п.р.} \cdot n_{п.р.} + 2 \cdot \delta_{изол} \ , \ м$$

где: $D_{кам}$ – количество изделий, прогреваемых в установке, *штук*

$\delta_{изд}$ – толщина изделия, *м*

$n_{р.с.}$ – количество разделительных стенок, *штук*

$\delta_{р.с.}$ – толщина разделительной стенки, 0,025*м*

$n_{п.р.}$ – количество паровых рубашек, *штук*

$\delta_{п.р.}$ – толщина паровой рубашки, 0,15*м*
$\delta_{изол}$ – толщина теплоизоляционной стенки, *м*

Ширина кассетной установки определяется по формуле:

$$B = \ell_{изд} + 2 \cdot \delta_{р.с.},\ м$$

где: $\ell_{изд}$ – длина одного изделия, *м*

Высота кассетной установки определется по формуле:

$$H = в_{изд} + 2 \cdot \delta_{р.с.},\ м$$

где: $в_{изд}$ – ширина одного изделия, *м*

Таблица 1
Технические характеристики кассетных установок

Показатели	Типы кассетных установок						
	УПП-1	УПП-2	ВКМ1-В1	ВКМ1-В2	УПП-4	УПП-3	КМ1-П1М
Тип изделий	Панели внутренних стен				Лестнич-ные марши	Панели перекрытий	
Количество одновременно изготовленных изделий, *штук*	6	6	8	8	6	8	7
Количество паровых рубашек, *штук*	7	7	9	9	7	9	8
Количество гидравлических домкратов, *штук*	4	4	4	4	2	4	4
Усилие домкратов, *тонна сил*	28	28	30	30	14	28	30
Масса установки, *тонна*	60	60	63	53	40	80	60
Размеры установки, мм							
длина	6090	6090	7650	7650	5220	7090	7650
ширина	6000	6000	7250	7250	3000	5550	7250
высота	3195	3195	3800	3800	1650	3195	3800
Мощность электродвигателей, *квт*	9	9	9	9	4,5	9	9

Термоформа

Длина термоформы определяется по формуле:

$$L = \ell_{изд} + (0{,}2 \div 0{,}3) \ , \ м$$

где: $\ell_{изд}$ – длина изделия, *м*

Ширина термоформы определяется по формуле:

$$B = в_{изд} + (0{,}2 \div 0{,}3) \ , \ м$$

где: $в_{изд}$ – ширина изделия, *м*

Высота пакета термоформ определяется по формуле:

$$H = \delta_{изд} \cdot n_{изд} + \delta_{п.р.} \cdot (n_{изд} + 1) \ , \ м$$

где: $\delta_{изд}$ – толщина одного изделия, *м*

$n_{изд}$ – количество изделий по высоте пакета термоформ, подбирается с учетом нормативной высоты термоформ (2,5м), *штук*

$\delta_{п.р.}$ – высота паровой рубашки, 0,15*м*

Автоклав

Цилиндрический и туннельный автоклав

Для определения основных размеров цилиндрического и туннельного автоклава предварительно следует начертить эскиз рациональной укладки изделий на вагонетки с учетом формы сечения рабочей камеры (круглый или прямоугольный). Эскиз изображается в трех проекциях. По эскизу определяют количество изделий, размещаемых на одной вагонетке. Затем определяют количество вагонеток, размещаемых в рабочей камере автоклава. Размеры автоклавных вагонеток подбирается по таблице 2.

При запаривании силикатного кирпича, силикатных и шлаковых блоков, мелкого сортимента бетонных и железобетонных изделий число вагонеток определяется по формуле:

$$n_{ваг} = \frac{V_{уст} \cdot \rho_{изд}}{m_{ваг}} \ , \ дана$$

где: $\rho_{изд}$ – плотность изделия, *кг/м*^{3}

$$\rho_{изд} = \frac{G_{изд}}{V_{изд}} \ , \ кг/м^3$$

$G_{изд}$ – масса одного изделия, *кг*

$V_{изд}$ – объем бетона одного изделия, *м*^{3}

$m_{ваг}$ – грузоподъемность одной вагонетки, *кг*

Число вагонеток округляется до целого числа в сторону увеличения.

Таблица 2

Техническая характеристика автоклавных вагонеток

Показатели	Типы вагонеток					
	Л-687/02	Л-341	ТА-25	ТА-40	ТА-50	ТА-80
Грузоподъемность, *тонна*	6	10	25	40	50	80
Палезные размеры платформы, *мм*						
Длина	3600	6200	6300	6300	6700	6700
Ширина	1600	1600	2000	2000	2700	2700
Ширина колеи	750	750	900	900	1524	1524
Число осей, *штук*	2	2	2	2	4	4
Диаметр колеса, *мм*	-	-	250	250	250	250
Габаритные размеры, мм						
длина	3690	6330	6400	6400	6800	6800
ширина	1600	1600	2000	2000	2700	2700
высота	250	250	320	320	320	320
Масса, *кг*	750	1260	1600	2000	3000	3600

При запаривании крупногабаритных бетонных и железобетонных изделий следует начертить эскиз садки. По эскизу определяют количество изделий, размещаемых на одной вагонетке и рассчитывают ее грузоподъемность по формуле:

$$m_{ваг} = n_{изд} \cdot (G_{изд} + m_{ф}) \text{ , } кг$$

где: $n_{изд}$ – количество изделий, размещаемых на одной вагонетке, *штук*

$m_{ф}$ – масса одной формы, *кг*

$$m_{ф} = G_{изд} \cdot (0{,}25 \div 1{,}0) \text{ , } кг$$

Рассчитанная грузоподъемность вагонетки должна быть равной или меньшей, чем значение, приведенной в таблице 2.

Количество вагонеток в рабочей камере автоклава определяется по формуле:

$$n_{ваг} = \frac{V_{уст} \cdot \rho_{изд}}{m_{ваг}} \text{ , } штук \qquad \text{или} \qquad n_{ваг} = \frac{D_{кон} \cdot G_{изд}}{m_{ваг}} \text{ , } штук$$

Общая длина рабочей камеры автоклава определяется по формуле:

$$L_{кам} = n_{ваг} \cdot \ell_{ваг} + (0{,}2 \div 0{,}4) \text{ , } м$$

где: $\ell_{ваг}$ – длина одной вагонетки, *м* (принимается по таблице 2)

Длина автоклава не должна превышать длину типовых автоклавов, т.е. $L_{авт} \le L_{тип}$. Размеры туннельных автоклавов прямоугольного сечения составляет $L_{тип}$=25÷30*м*. Типовые размеры цилиндрического автоклавов (длина и диаметр рабочей камеры) приведены в таблице 3.

Если рассчитанная длина автолкава превышает длину типовых автоклавов, следует рассчитать количество необходимых автоклавов.

Количество необходимых автоклавов определяется по формуле:

$$T_{уст} = \frac{L_{кам}}{L_{тип}} \ , \ штук$$

где: $L_{тип}$ – длина типовых автоклавов, *м*

Количество автоклава округляется до целого числа в сторону увеличения.

Рассчитывается количество изделий, запариваемых в одном автоклаве по формуле:

$$D_{кам} = n_{ваг} \cdot n_{изд} \ , \ \ штук/цикл$$

Ширина автоклава прямоугольного сечения определяется по формуле:

$$B_{кам} = в_{ваг} + (0{,}1 \div 0{,}15) \ , \ м$$

где: $в_{ваг}$ – ширина вагонетки, *м* (принимается по таблице 2)

Высота автоклава прямоугольного сечения определяется по формуле:

$$H_{кам} = h_1 + h_{ваг} + (h_ф + h_2) \cdot n + h_3 \ , \ м$$

где: h_1 – расстояние от пода до головки рельса, (0,1 ÷ 0,2*м*)

$h_{ваг}$ – высота вагонетки, *м* (принимается по таблице 2)

$h_ф$ – высота формы с изделием, $h_ф = h_{изд} + 0{,}025$, *м*

$h_{изд}$ – высота одного изделия, *м*

n – количество форм на вагонетке по высоте, *штук*

h_2 – расстояние между формами по высоте, (0,03*м*)

h_3 – расстояние между верхним изделием и автоклавом, (0,05*м*)

Объем камеры туннельного автоклава с прямоугольным сечением рассчитывается по формуле:

$$V_{кам} = L_{кам} \cdot B_{кам} \cdot H_{кам} \ , \ \ м^3$$

Объем камеры цилиндрического автоклава с круглым сечением рассчитывается по формуле:

$$V_{кам} = \frac{\pi \cdot D_{авт}^2}{4} \cdot L_{кам}, \quad м^3$$

где: $D_{авт}$ – диаметр автоклава, *м* (принимается по таблице 3)

Таблица 3

Техническая характеристика цилиндрических автоклавов

Показатели	Модели автоклавов						
	118941	СМ-1268	СМ-1264	СМ-1263	СМ-1924	СМ-1039	АВ30/8а
Тип автоклава	проходной	тупиковый	проходной	проходной	проходной	тупиковый	проходной
Внутренний диаметр, *мм*	2000	2000	2000	2600	3600	3600	3600
Длина корпуса, *мм*	17180	17000	19000	19300	21000	27000	21000
Рабочее давление, *МПа*	0,9	1,2	1,2	1,2	1,1	1,2	1,3
Ширина колей вагонетки, *мм*	750	750	750	900	1524	1524	1524
Габаритные размеры, *мм*							
длина	18760	19205	20845	21460	23556	29420	23240
ширина	2735	2547	2547	5015	5379	4250	4800
высота	3700	3830	3830	3150	6197	5902	5000
Масса, *кг*	19000	17670	22000	50450	118700	113800	118500
Установочная мощность, *кВт*	-	-	-	7,0	4,5	10,5	10,0

Прямоугольный автоклав ямного типа

Основные габариты автоклава ямного типа определяют вычерчиванием эскиза укладки изделий в рабочую камеру (рисунок 2). Размеры автоклава зависят от номенклатуры изделий, производительности установки, размера форм и технологических зазоров (между изделиями, на прокладки, захваты, траверсы и др.).

Длину рабочей камеры определяется по формуле:

$$L_{кам} = \ell_{ф} \cdot n_1 + (n_1 + 1) \cdot \ell_1, \quad м$$

где: $\ell_{ф}$ – длина формы с изделием, *м*

$$\ell_{ф} = \ell_{изд} + (0{,}2 \div 0{,}3), \; м$$

$\ell_{изд}$ – длина одного изделия, *м*

n_1 – количество форм по длине камеры, подбирается с учетом нормативной длины ямного автоклава (5,0 ÷ 7,0*м*), *штук*

ℓ_1 – расстояние между формой и стенкой автолклава и между штабелями форм (0,1*м*)

Ширина камеры определяется по формуле:

$$B_{кам} = в_{ф} \cdot n_2 + (n_2 + 1) \cdot \ell_1 \ , \ м$$

где: $в_{ф}$ – ширина формы с изделием, *м*

$$в_{ф} = в_{изд} + (0{,}2 \div 0{,}3) \ , \ м$$

$в_{изд}$ – ширина одного изделия, *м*

n_2 – количество форм по ширине камеры, подбирается с учетом нормативной длины ямного автоклава (5,0 ÷ 7,0*м*), *штук*

Высота камеры определяется по формуле:

$$H_{кам} = (h_{ф} + h_1) \cdot n_3 + h_2 + h_3 \ , \ м$$

где: $h_{ф}$ – высота формы с изделием, *м*

$$h_{ф} = h_{изд} + 0{,}024, \ м$$

$h_{изд}$ – высота одного изделия, *м*

n_3 – количество форм по высоте камеры, подбирается с учетом нормативной длины ямного автоклава (≤5м), *штук*

h_1 – расстояние между формами с изделиями по высоте камеры (0,03*м*);

h_2 – расстояние между формой и дном камеры (0,15*м*);

h_3 – расстояние между верхним изделием и крышкой автоклава, (0,05*м*)

Объем камеры ямного автоклава рассчитывается по формуле:

$$V_{кам} = L_{кам} \cdot B_{кам} \cdot H_{кам} , \quad м^3$$

Количество изделий в автоклаве рассчитывается по формуле:

$$D_{кам} = n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 , \quad дана$$

4.9.7 Расчет количества тепловой установки

<u>Установки непрырывного действия</u>

<u>Туннельная пропарочная камера</u>

Необходимое количество установок рассчитывается по формуле:

$$T_{уст} = \frac{L_{кам}}{L_{тип}} \ , \ штук$$

где: $L_{тип}$ – длина типовой туннельной пропарочной камеры, (70 ÷ 130) *м*

Количество установок округляется до целого числа в сторону увеличения.

Вертикальная пропарочная камера

Необходимое количество установок рассчитывается по формуле:

$$T_{уст} = \frac{H_{кам}}{H_{тип}} \ , \ дана$$

где: $H_{тип}$ – высота типовой вертикальной пропарочной камеры, (≤10) *м*

Количество установок округляется до целого числа в сторону увеличения.

Установки периодического действия

Количество рабочих циклов установок периодического действия в сутки:

$$П_{ц} = \frac{24}{\tau_{ц}} \ , штук/сутки$$

где: ($\tau_{ц}$) – время одного рабочего цикла установки, *час*

Проектная суточная производительность установки в кубометрах рассчитывается по формуле:

$$V_{сут} = \frac{V_{пр}}{365 - \tau_{рем} - \tau_{вых}} \ , \ м^3/сутки$$

где: $V_{пр}$ – проектная годовая производительность установки, $м^3/год$

$\tau_{рем}$ – время, планируемое на ремонт установки, принимается в пределах (7 ÷ 20) *сутки*

$\tau_{вых}$ – выходные и праздничные дни в году, *сутки*

Проектная суточная производительность установки в штуках рассчитывается по формуле:

$$D_{сут} = \frac{V_{сут}}{V_{изд}} \ , \ штук/сутки$$

где: $V_{изд}$ – объем бетона в одном изделии, $м^3$

Производительность установки за один цикл рассчитывается по формуле:

$$V_{уст} = \frac{V_{сут}}{П_{ц}} \ , \ м^3/цикл \quad \text{или} \quad D_{уст} = \frac{D_{сут}}{П_{ц}} \ , \ штук/цикл$$

Необходимое количество установок рассчитывается по формуле:

$$T_{уст} = \frac{D_{уст}}{D_{кам} \cdot \eta_{кам}} \text{ , дана}$$

где: ($\eta_{кам}$) – коэффициент использования установки, принимается для ямной камеры – 0,87; для туннельной камеры – 0,95; для кассетной установки и термоформ – 0,9.

Расчет коэффициента заполнения ($K_{зап}$) и коэффициента загрузки ($K_{заг}$) рассчитывается по формуле:

$$K_{зап} = \frac{V_{форм} \cdot D_{кам}}{V_{кам}}; \qquad K_{заг} = \frac{V_{форм}}{V_{кам}}$$

где: $V_{форм}$ – объем форм по габаритным размерам, $м^3$

$$V_{форм} = \ell_{ф} \cdot в_{ф} \cdot h_{ф}, м^3$$

$\ell_{ф}$ – длина формы с изделием, *м*

$$\ell_{ф} = \ell_{изд} + (0{,}2 \div 0{,}3), м$$

$\ell_{изд}$ – длина одного изделия, *м*

$в_{ф}$ – ширина формы с изделием, *м*

$$в_{ф} = в_{изд} + (0{,}2 \div 0{,}3)\ м$$

$в_{изд}$ – ширина одного изделия, *м*

$h_{ф}$ – высота формы с изделием, *м*

$$h_{ф} = h_{изд} + (0{,}2 \div 0{,}3)\ м$$

$h_{изд}$ – высота одного изделия, *м*

$V_{кам}$ – объем рабочей камеры установки, $м^3$

$$V_{кам} = L_{кам} \cdot B_{кам} \cdot H_{кам}, м^3$$

По результатам расчетов и по таблице 4 проверяется правильность размещения изделий в рабочей камере. При значительном отклонения данных расчета с табличными следует изменить размещения изделий в камере.

Таблица 4

Коэффициенты заполнения и загрузки рабочей камеры установок

Виды изделий	$K_{заг}$	$K_{зап}$
Фундаментные блоки	0,42	0,39
Прогоны	0,78	0,27
Настилы пустотные	0,86	0,35
Мелкие изделия	-	0,1

Правильность размещения изделий в рабочей камере цилиндрического автоклава должная соответствовать с данными таблицы 5.

Таблица 5

Коэффициенты заполнения рабочей камеры цилиндрического автоклава

Диаметр автоклава, *м*	Мелкоразмерные изделия	Крупноразмерные изделия	
		В кассетных формах	В горизонтальных формах
2,0	0,21	0,35-0,4	0,25-0,28
2,6	0,25-0,26	0,30-0,4	0,3
3,6	0,31	0,3	0,3

4.9.8 Расчет теплового баланса и определение удельного расхода пара

Расчет теплового баланса предназначен для определения расхода тепловой энергии, затрачиваемый на тепловую обработку изделий. На основе закона сохранения энергии уравнения теплового баланса решается путем приравнения приходной и расходной частей. Уравнение теплового баланса в общем виде:

$$Q_{прих} = Q_{расх}$$

где: $Q_{прих}$ – суммарная величина тепловой энергии (подаваемых в рабочую камеру) в приходной части теплового баланса, *кДж (кВт)*

$Q_{расх}$ – суммарная величина тепловой энергии (расходуемых при тепловой обработке) в расходной части теплового баланса, *кДж (кВт)*

При расчете установок периодического действия тепловой баланс составляют отдельно на каждый период (подогрева и изотермической выдержки). При этом, общий расход пара в тепловой установке рассчитывается суммированием расходов пара, определенных в каждом периоде.

При расчете установок непрерывного действия в зависимости от конструкции установки, тепловой баланс составляют, либо в целом на установку (вертикальные камеры), либо отдельно для технологических зон подогрева, изотермической выдержки и охлаждения (туннельные камеры).

По результатам расчета теплового баланса определяется количество пара (*кг*), расходуемый на единицу готовой продукции (*$м^3$, кг, штук*) или в единицу времени (*час, сутки, период*).

Установки периодического действия

Ямная пропарочная камера

Период подогрева

Приход тепла

Тепло экзотермии цемента

$$Q_{экз.под} = 0{,}0023 \cdot Q_{э.28} \cdot G_{цем} \cdot t_{ср} \cdot \tau_{под} \cdot \left(\frac{В}{Ц}\right)^{0{,}44}, \ кДж/период$$

где: $Q_{э.28}$ – тепло экзотермических реакции цемента, выделенное за 28 суток твердения, *кДж/кг* (принимается из таблицы 6)

$G_{цем}$ – масса цемента в изделиях, загруженных в камеру, *кг*

$$G_{цем} = Ц \cdot V_{изд} \cdot D_{кам}, \ кг$$

$Ц$ – масса цемента, вводимая 1 $м^3$ бетона, *кг*

$V_{изд}$ – объем одного изделия, $м^3$

$D_{кам}$ – количество изделий, загруженных в камеру, *штук*

$t_{ср}$ – средняя температура в камере за период подогрева, ^oC

$$t_{ср} = \frac{t_{из} + t_{в}}{2}, \ ^oC$$

$t_{из}$ – температура изотермической выдержки, ^oC

$t_{воз}$ – температура окружающего воздуха, ^oC

$\tau_{под}$ – время периода подогрева, *час*

$\left(\frac{В}{Ц}\right)$ – водоцементное отношение, вычисляется по формуле (Приложение О)

Таблица 6

Тепло экзотермических реакции цемента

Марка цемента	200	300	400	500
$Q_{э.28}$, *кДж/кг*	250	335	420	500

Тепло насыщенного пара в период подогрева

$$Q_{пар.под} = G_{пар.под} \cdot I_{пар}, \ кДж/период$$

где: $G_{пар.под}$ – масса пара, подаваемая в камеру за период подогрева, *кг* (неизвестная величина, определяется в результате решения уравнение теплового баланса)

$I_{пар}$ – энтальпия пара, подаваемого в камеру при температуре 100 ^oC, *кДж/кг* (Приложение П)

Общий приход тепла за период подогрева

$$Q_{прих.под} = Q_{экз.под} + Q_{пар.под},\ кДж/период$$

Расход тепла

Тепло на подогрев изделий

$$Q_{изд.под} = G_{сух.изд} \cdot C_{изд} \cdot \left(t_{изд.ср.} - t_{воз}\right),\ кДж/период$$

где: $G_{сух.изд}$ – масса сухой части бетона, *кг*

$$G_{сух.изд} = (1{,}01 \cdot \rho_{изд} - A - B) \cdot V_{изд} \cdot D_{кам},\ кг$$

A – масса арматуры в 1 $м^3$ бетона, *кг*

B – масса воды 1 $м^3$ бетоне, $B = Ц \cdot \left(\frac{B}{Ц}\right),\ кг$

$\rho_{изд}$ – плотность изделий, $кг/м^3$

$C_{изд}$ – теплоемкость бетона, $кДж/(кг \cdot {}^oC)$ (Приложение С)

$t_{изд.ср}$ – средняя температура изделия к концу периода подогрева,

$$t_{изд.ср} = (0{,}85 \div 0{,}95) \cdot t_{из},\ {}^oC$$

Тепло на испарение части воды затворения

$$Q_{исп.вод.под} = G_{исп.вод.} \cdot I_{пар},\ кДж/период$$

где: $G_{исп.вод.}$ – масса испарившейся воды, *кг*

для легких бетонов $G_{исп.вод.} = (0{,}08 \div 0{,}12) \cdot B,\ кг$

для плотных бетонов $G_{исп.вод.} = 0{,}01 \cdot C,\ кг$

$I_{пар}$ – энтальпия пара при средней температуре рабочей камеры тепловой установки ($t_{ср}$), *кДж/кг* (Приложение П)

Тепло воды, оставшейся в изделиях к концу периода подогрева

$$Q_{вод.изд.под} = G_{вод.изд.} \cdot C_{вод} \cdot \left(t_{изд.ср.} - t_{воз}\right),\ кДж/период$$

где: $G_{вод.изд.}$ – масса воды, оставшейся в изделиях к концу периода подогрева, *кг*

$$G_{вод.изд.} = (B - G_{исп.вод.}) \cdot V_{изд} \cdot D_{кам},\ кг$$

$C_{вод}$ – теплоемкость воды, оставшейся в бетоне, $кДж/(кг \cdot {}^oC)$ (Приложение Р)

Тепло арматуры к концу периода подогрева

$$Q_{арм.под} = G_{арм} \cdot C_{арм} \cdot \left(t_{изд.ср.} - t_{воз}\right),\ кДж/период$$

где: $G_{арм}$ – масса арматуры в изделиях, *кг*

$$G_{арм} = A \cdot V_{изд} \cdot D_{кам},\ кг$$

$C_{арм}$ – теплоемкость арматуры, $кДж/(кг \cdot {}^oC)$ (Приложение С)

Тепло форм к концу периода подогрева

$$Q_{форм.под.} = G_{форм} \cdot C_{форм} \cdot \left(t_{изд.ср.} - t_{воз}\right),\ кДж/период$$

где: $G_{форм}$ – масса форм в камере, $G_{форм} = 0{,}25 \cdot G_{сух.изд}$, *кг*

$C_{форм}$ – теплоемкость форм, *кДж/(кг·°С)* (Приложение С)

Тепло материала элементов ограждения к концу периода подогрева (определяется для стен, пола и крышки)

$$Q_{стен.под.} = 7{,}2 \cdot \lambda \cdot F \cdot \left(t'_{ср} - t_{воз}\right) \cdot \sqrt{\frac{\tau_{под}}{a \cdot \pi}},\ кДж/период$$

где: λ – коэффициент теплопроводности элементов ограждения, *Вт/(м·°С)* (Приложение С)

F – общая площадь поверхности элементов ограждения, *м²*

$$F = 2 \cdot L_{кам} \cdot H_{кам} + 2 \cdot B_{кам} \cdot H_{кам} + 2 \cdot L_{кам} \cdot B_{кам},\ м^2$$

$t'_{ср}$ – средняя температура элементов ограждения к концу периода подогрева, $t'_{ср} = (0{,}85 \div 0{,}95) \cdot t_{ср}$, ^oC

a – коэффициент температуропроводности элементов ограждения, *м²/час* (Приложение С)

Потери тепла в окружающую среду через ограждения камеры в период подогрева

$$Q_{окр.ср.под.} = q_{наз} + q_{под} + q_{кр} + q_{пол},\ кДж/период$$

где: $q_{наз}$ – потери тепла через наземной части стен камеры,

$$q_{наз} = 3{,}6 \cdot \tau_{под} \cdot K_{наз} \cdot \left(t'_{ср} - t_{воз}\right) \cdot F_{жог},\ кДж$$

$K_{наз}$ – коэффициент теплопередачи наземной части камеры,

$$K_{наз} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}},\ Вт/(м^2 \cdot {}^oC)$$

δ – толщина слоя ограждения, *м*

α_1 – коэффициент теплоотдачи от пара ограждению камеры, $\alpha_1 = (21 \div 64)$, *Вт/(м²·°С)*

α_2 – коэффициент теплоотдачи наружными стенками камеры в окружающую среду, $\alpha_2 = (5 \div 10)$, *Вт/(м²·°С)*

$F_{наз}$ – площадь наземной части стен камеры,

$$F_{наз} = 2 \cdot (L_{кам} \cdot h_{кам}) + 2 \cdot (B_{кам} \cdot h_{кам}),\ м^2$$

$h_{кам}$ – высота наземной части стен камеры, $h_{кам} = (0{,}4 \div 0{,}6)$, *м*

$q_{под}$ – потери тепла через подземной части стен камеры,

$$q_{под} = 3{,}6 \cdot \tau_{под} \cdot K_{под} \cdot \left(t'_{ср} - t_{воз}\right) \cdot F_{под},\ кДж$$

$K_{под}$ – коэффициент теплопередачи подземной части камеры,

$$K_{под} = 0{,}5 \cdot K_{наз},\ Вт/(м^2 \cdot {}^oC)$$

$F_{под}$ – площадь подземной части стен камеры,

$$F_{под} = 2 \cdot (H_{кам} - h_{кам}) \cdot L_{кам} + 2 \cdot (H_{кам} - h_{кам}) \cdot B_{кам},\ м^2$$

$q_{кр}$ – потери тепла через крышки камеры,

$$q_{кр} = 3{,}6 \cdot \tau_{под} \cdot K_{кр} \cdot \left(t'_{ср} - t_{воз}\right) \cdot F_{кр},\ кДж$$

$K_{кр}$ –потери тепла через крышки камеры, $Вт/(м^2 \cdot {}^oC)$

$$K_{кр} = (1{,}2 \div 1{,}5) \cdot K_{наз},\ Вт/(м^2 \cdot {}^oC)$$

$F_{кр}$ – площадь крышки камеры, $F_{кр} = L_{кам} \cdot B_{кам},\ м^2$

$q_{пол}$ – потери тепла через пол камеры, $q_{пол} = 0{,}5 \cdot q_{кр},\ кДж$

Тепло, уносимое конденсатом пара к концу периода подогрева

$$Q_{конд.под.} = I_{конд} \cdot G_{конд} = I_{вод} \cdot \left(G_{пар.под} - G_{своб} - G_{обр}\right),\ кДж/период$$

где: $I_{вод}$ – теплосодержание конденсата при $t = 100\ {}^oC$, *кДж/кг* (Приложение П)

$G_{своб}$ – масса пара, занимающая свободный объем камеры,

$$G_{своб} = \rho_{пар} \cdot (V_{кам} - V_{кам.изд}),\ кг$$

$\rho_{пар}$ – объемная масса пара при $t = 100\ {}^oC$, $кг/м^3$ (Приложение П)

$V_{кам}$ – внутренний объем рабочей камеры, $V_{кам} = L_{кам} \cdot B_{кам} \cdot H_{кам},\ м^3$

$V_{кам.изд}$ – объем форм с бетоном, загружаемых в камеру, $м^3$

$$V_{кам.изд} = D_{кам} \cdot \ell_{ф} \cdot в_{ф} \cdot h_{ф},\ м^3$$

$G_{обр}$ – расход пара в атмосферу через обратную трубу, $G_{обр} = 0{,}1 \cdot G_{пар.под}$, *кг* (только для безнапорных камер)

$G_{конд}$ – масса конденсата, образовавщиеся в камере, *кг/саты*

Суммарный расход тепла за период подогрева с учетом неучтенных потер тепла (10%)

$$Q_{расх.под.} = 1{,}1 \cdot \left(\begin{matrix} Q_{изд.под} + Q_{исп.вод.под} + Q_{вод.изд.под} + Q_{арм.под} + Q_{форм.под} \\ + Q_{стен.под} + Q_{окр.ср.под} + Q_{конд.под} \end{matrix} \right),$$

кДж/период

Решением уравнения теплового баланса, приравнивая приходной и расходной части определяется количество пара, затрачиваемое за период подогрева $G_{пар.под}$.

$$Q_{прих.под} = Q_{расх.под}$$

<u>*Период изотермической выдержки*</u>

Приход тепла

Тепло экзотермии цемента

$$Q_{экз.из} = 0{,}0023 \cdot Q_{э.28} \cdot G_{цем} \cdot t_{из} \cdot \tau_{из} \cdot \left(\frac{В}{Ц}\right)^{0{,}44},\ кДж/период$$

Тепло подогретых изделий (определенной в период подогрева)

$$Q_{изд.под} = G_{сух.изд} \cdot C_{изд} \cdot \left(t_{изд.ср.} - t_{воз}\right),\ кДж/период$$

Тепло воды, оставшейся в изделиях к концу периода подогрева (определенной в период подогрева)

$$Q_{вод.изд.под} = G_{вод.изд.} \cdot C_{вод} \cdot \left(t_{изд.ср.} - t_{воз}\right),\ кДж/период$$

Тепло арматуры к концу периода подогрева (определенной в период подогрева)

$$Q_{арм.под} = G_{арм} \cdot C_{арм} \cdot \left(t_{изд.ср.} - t_{воз}\right),\ кДж/период$$

Тепло форм к концу периода подогрева (определенной в период подогрева)

$$Q_{форм.под.} = G_{форм} \cdot C_{форм} \cdot \left(t_{изд.ср.} - t_{воз}\right),\ кДж/период$$

Тепло материала элементов ограждения к концу периода подогрева (определенной в период подогрева)

$$Q_{стен.под.} = 7{,}2 \cdot \lambda \cdot F \cdot \left(t'_{ср} - t_{воз}\right) \cdot \sqrt{\frac{\tau_{под}}{a \cdot \pi}},\ кДж/период$$

Тепло насыщенного пара, поступающего в камеру в период изотермической выдержки

$$Q_{пар.из} = G_{пар.из} \cdot I_{пар},\ кДж/период$$

где: $G_{пар.из}$ – масса пара, подаваемая в камеру за период изотермической выдержки подогрева, *кг* (неизвестная величина, определяется в результате решения уравнение теплового баланса)

Суммарный приход тепла в период изотермичсекой выдержки

$$Q_{прих.из} = Q_{эц.из} + Q_{из.под} + Q_{вод.изд.под} + Q_{арм.под} + Q_{форм.под} + Q_{стен.под} + Q_{пар.из},\ кДж/период$$

Расход тепла

Тепло на подогрев изделий до температуры изотермической выдержки

$$Q_{изд.из} = G_{сух.изд} \cdot C_{изд} \cdot t_{из},\ кДж/период$$

Тепло на подогрев воды, оставшейся в изделиях до температуры изотермической выдержки

$$Q_{вод.изд.из} = G_{вод.изд} \cdot C_{вод} \cdot t_{из}\ ,\ кДж/период$$

Тепло на подогрев арматуры до температуры изотермической выдержки

$$Q_{арм.из} = G_{арм} \cdot C_{арм} \cdot t_{из}\ ,\ кДж/период$$

Тепло на подогрев форм до температуры изотермической выдержки

$$Q_{форм.из} = G_{форм} \cdot C_{форм} \cdot t_{из}\ ,\ кДж/период$$

Тепло на подогрев материала элементов ограждения (определяется для стен, пола и крышки) до температуры изотермической выдержки

$$Q_{стен.из} = 7{,}2 \cdot \lambda \cdot F \cdot \left(t_{из} - t_{воз}\right) \cdot \sqrt{\frac{\tau_{из}}{a \cdot \pi}}\ ,\ кДж/период$$

Потери тепла в окружающую среду через ограждения камеры в период изотермической выдержки

$$Q_{окр.ср..из} = q_{наз} + q_{под} + q_{кр} + q_{пол}\ ,\ кДж/период$$

где: $q_{наз} = 3{,}6 \cdot \tau_{из} \cdot K_{наз} \cdot \left(t_{из} - t_{воз}\right) \cdot F_{наз}\ ,$ кДж

$q_{под} = 3{,}6 \cdot \tau_{из} \cdot K_{под} \cdot \left(t_{из} - t_{воз}\right) \cdot F_{под}\ ,$ кДж

$q_{кр} = 3{,}6 \cdot \tau_{из} \cdot K_{кр} \cdot \left(t_{из} - t_{воз}\right) \cdot F_{кр}\ ,$ кДж

$q_{пол} = 0{,}5 \cdot q_{кр}\ ,$ кДж

Тепло, уносимое конденсатом пара к концу периода изотермической выдержки

$$Q_{конд.из} = I_{конд} \cdot G_{конд} = I_{вод} \cdot \left(G_{пар.из} - G_{своб} - G_{обр}\right),\ кДж/период$$

Суммарный расход тепла за период изотермической выдержки с учетом неучтенных потер тепла (10%)

$$Q_{расх.из} = 1{,}1 \cdot \left(\begin{matrix} Q_{изд.из} + Q_{вод.изд.из} + Q_{арм.из} + Q_{форм.из} + Q_{стен.из} + \\ + Q_{окр.ср..из} + Q_{конд.из} \end{matrix} \right),\ кДж/период$$

Решением уравнения теплового баланса, приравнивая приходной и расходной части определяется количество пара, затрачиваемое за период изотермической выдержки $G_{пар.из}$.

$$Q_{прих.из} = Q_{расх.из}$$

Удельный расход пара, затрачиваемый за один полный цикл работы тепловой установки определятся по следующей формуле:

$$G_{уд.пар} = \frac{G_{пар.под} + G_{пар.из}}{D_{кам} \cdot V_{изд}} \quad , \qquad кг/м^3 \ бетон$$

Туннельная пропарочная камера

Тепловой баланс туннельной пропарочной камеры выполняется по той же методике, что и для ямных пропарочных камер напорного типа. Особенности расчета приведены ниже.

Период подогрева

Расход тепла

Тепло материала элементов ограждения туннельной камеры к концу периода подогрева (определяется для стен, пола и свода)

$$Q_{стен.под} = 7{,}2 \cdot \lambda \cdot F \cdot \left(t'_{ср} - t_{воз}\right) \cdot \sqrt{\frac{\tau_{под}}{a \cdot \pi}} \ , \ кДж/период$$

где: λ – коэффициент теплопроводности элементов, *Вт/(м·°С)* (Приложение С)

F – общая площадь поверхности элементов ограждения, $м^2$

$$F = 2 \cdot L_{кам} \cdot H_{кам} + 2 \cdot L_{кам} \cdot B_{кам} \ , \ м^2$$

Потери тепла в окружающую среду через ограждения камеры в период подогрева

$$Q_{окр.ср.под} = q_{стен} + q_{свод} + q_{пол} \ , кДж/период$$

где: $q_{стен}$ – потери тепла через стен камеры,

$$q_{стен} = 3{,}6 \cdot \tau_{под} \cdot K_{стен} \cdot \left(t'_{ср} - t_{воз}\right) \cdot F_{стен} \ , \ кДж$$

$K_{стен}$ – коэффициент теплопередачи стен камеры, $Вт/(м^2 \cdot °С)$

$$K_{стен} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}},\ Вт/(м^2 \cdot {}^oC)$$

$F_{стен}$ – площадь стен камеры, $F_{стен} = 2 \cdot L_{кам} \cdot H_{кам}$, $м^2$

$q_{свод}$ – потери тепла через свод камеры,

$$q_{свод} = 3{,}6 \cdot \tau_{под} \cdot K_{свод} \cdot \left(t'_{ср} - t_{воз}\right) \cdot F_{свод},\ кДж$$

$K_{свод}$ – коэффициент теплопередачи свода камеры, $Вт/(м^2 \cdot {}^oC)$

$$K_{свод} = (1{,}2 \div 1{,}5) \cdot K_{стен},\ Вт/(м^2 \cdot {}^oC)$$

$F_{свод}$ – площадь свода камеры, $F_{свод} = L_{кам} \cdot B_{кам}$, $м^2$

$q_{пол}$ – потери тепла через под камеры,

$$q_{пол} = 0{,}5 \cdot q_{свод},\ кДж$$

Тепло вагонеток к концу периода подогрева

$$Q_{ваг.под} = G_{ваг} \cdot C_{ваг} \cdot \left(t_{изд.ср} - t_{воз}\right),\ кДж/период$$

где: $G_{ваг}$ – масса вагонеток, находящиеся в камере, *кг*

$$G_{ваг} = m_{ваг} \cdot n_{ваг},\ кг$$

$m_{ваг}$ – масса одной вагонетки, (750÷3000)*кг*

$n_{ваг}$ – количество вагонеток в рабочей, *дана*

$C_{ваг}$ – теплоемкость вагонетки, $кДж/(кг \cdot {}^oC)$ (Приложение С)

Период изотермической выдержки

Приход тепла

Тепло вагонеток к концу периода подогрева (определенной в период подогрева)

$$Q_{ваг.под} = G_{ваг} \cdot C_{ваг} \cdot \left(t_{изд.ср} - t_{воз}\right),\ кДж/период$$

Расход тепла

Тепло на вагонеток до температуры изотермической выдержки

$$Q_{ваг.из} = G_{ваг} \cdot C_{ваг} \cdot t_{из},\ кДж/период$$

Тепло материала элементов ограждения туннельной камеры до температуры изотермической выдержки

$$Q_{стен.из} = 7{,}2 \cdot \lambda \cdot F \cdot \left(t_{из} - t_{воз}\right) \cdot \sqrt{\frac{\tau_{из}}{a \cdot \pi}},\ кДж/период$$

Потери тепла в окружающую среду через ограждения камеры в период изотермической выдержки

$$Q_{окр.ср.из} = q_{стен} + q_{свод} + q_{пол}\text{, кДж/саты}$$

где: $q_{стен} = 3{,}6 \cdot \tau_{из} \cdot K_{стен} \cdot \left(t_{из} - t_{воз}\right) \cdot F_{стен}$, кДж

$q_{свод} = 3{,}6 \cdot \tau_{из} \cdot K_{свод} \cdot \left(t_{из} - t_{воз}\right) \cdot F_{свод}$, кДж

$q_{пол} = 0{,}5 \cdot q_{свод}$, кДж

Кассетная установка

Тепловой баланс кассетной установки выполняется по той же методике, что и для ямных пропарочных камер напорного типа. Особенности расчета приведены ниже.

Период подогрева

Расход тепла

Тепло материала элементов ограждения кассетной установки к концу периода подогрева.

$$Q_{стен.под} = 7{,}2 \cdot \lambda \cdot F \cdot \left(t'_{ср} - t_{воз}\right) \cdot \sqrt{\frac{\tau_{под}}{a \cdot \pi}}\text{, кДж/период}$$

где: λ – коэффициент теплопередачи теплоизоляционных элементов, $Вт/м \cdot {}^{o}C$

F – площадь поверхности теплоизоляционных элементов, $м^2$

$$F = 2 \cdot B \cdot H\text{, } м^2$$

Потери тепла в окружающую среду через теплоизоляционных элементов, верхней и нижней части установки в период

$$Q_{окр.ср.под} = q_{изол} + q_{верх} + q_{ниж}\text{, кДж/период}$$

где: $q_{изол}$ – потери тепла через теплоизоляционных элементов,

$$q_{изол} = 3{,}6 \cdot \tau_{под} \cdot K_{изол} \cdot \left(t'_{ср} - t_{воз}\right) \cdot F_{изол}\text{, кДж}$$

$K_{изол}$ – коэффициент теплопередачи теплоизоляционных элементов установки, $K_{изол} = \dfrac{1}{\sum \dfrac{\delta}{\lambda} + \dfrac{1}{\alpha_2}}$, $Вт/(м^2 \cdot {}^{o}C)$

$F_{изол}$ – площадь поверхности теплоизоляционных элементов,

$$F_{изол} = 2 \cdot B \cdot H\text{, } м^2$$

$q_{верх}$ – потери тепла через верхней части установки,

$$q_{верх} = 3{,}6 \cdot \tau_{под} \cdot K_{верх} \cdot \left(t'_{ср} - t_{воз}\right) \cdot F_{верх},\ кДж$$

$K_{верх}$ – коэффициент теплопередачи верхней части установки, $Вт/(м^2 \cdot {}^oC)$

$$K_{верх} = (1{,}0 \div 1{,}2) \cdot K_{изол},\ Вт/(м^2 \cdot {}^oC)$$

$F_{верх}$ – площадь поверхности верхней части установки, $F_{верх} = L \cdot B,\ м^2$

$q_{ниж}$ – потери тепла через нижней части установки,

$$q_{ниж} = 0{,}5 \cdot q_{верх},\ кДж$$

Тепло, уносимое конденсатом пара в период подогреве

$$Q_{конд.под} = I_{конд} \cdot G_{конд} = I_{вод} \cdot \left(G_{пар.под} - G_{п.р.}\right),\ кДж/период$$

где: $G_{п.р.}$ – масса пара, занимающая объем всех паровых рубашек,

$$G_{п.р.} = \rho_{бу} \cdot n_{п.р.} \cdot V_{п.р.},\ кг$$

$V_{п.р.}$ – объем одной паровой рубашки, $V_{п.р.} = \delta_{п.р.} \cdot B \cdot H,\ м^3$

Период изотермической выдержки

Расход тепла

Тепло на подогрев материала элементов ограждения кассетной установки до температуры изотермической выдержки

$$Q_{стен.из} = 7{,}2 \cdot \lambda \cdot F \cdot \left(t'_{ср} - t_{воз}\right) \cdot \sqrt{\frac{\tau_{из}}{a \cdot \pi}},\ кДж/период$$

Потери тепла в окружающую среду через теплоизоляционных элементов, верхней и нижней части установки в период изотермической выдержки

$$Q_{окр.ср.из} = q_{изол} + q_{верх} + q_{ниж},\ кДж/период$$

где: $q_{изол}$ – потери тепла через теплоизоляционных элементов,

$$q_{изол} = 3{,}6 \cdot \tau_{из} \cdot K_{изол} \cdot \left(t'_{ср} - t_{воз}\right) \cdot F_{изол},\ кДж$$

$K_{изол}$ – коэффициент теплопередачи теплоизоляционных элементов установки, $K_{изол} = \dfrac{1}{\sum \dfrac{\delta}{\lambda} + \dfrac{1}{\alpha_2}},\ Вт/(м^2 \cdot {}^oC)$

$F_{изол}$ – площадь поверхности теплоизоляционных элементов,

$$F_{изол} = 2 \cdot B \cdot H,\ м^2$$

$q_{верх}$ – потери тепла через верхней части установки,

$$q_{верх} = 3{,}6 \cdot \tau_{из} \cdot K_{верх} \cdot \left(t'_{ср} - t_{воз}\right) \cdot F_{верх},\ кДж$$

$K_{верх}$ – коэффициент теплопередачи верхней части установки, $Вт/(м^2 \cdot {}^oC)$

$$K_{верх} = (1{,}0 \div 1{,}2) \cdot K_{изол},\ Вт/(м^2 \cdot {}^oC)$$

$F_{верх}$ – площадь поверхности верхней части установки, $F_{верх} = L \cdot B$, $м^2$

$q_{ниж}$ – потери тепла через нижней части установки,

$$q_{ниж} = 0{,}5 \cdot q_{верх},\ кДж$$

Тепло, уносимое конденсатом пара в период изотермической выдержки

$$Q_{конд.из} = I_{конд} \cdot G_{конд} = I_{вод} \cdot \left(G_{пар.из} - G_{п.р.}\right),\ кДж/период$$

Термоформа

Тепловой баланс термоформы рассчитывается по той же методике, что и для кассетных установок.

Автоклавная установка

Цилиндрический автоклав

Период подогрева

Приход тепла

Тепло, вносимый с сухой массой изделий

$$Q_{сух.изд.под} = G_{сух.изд} \cdot C_{изд} \cdot t_{изд},\ кДж/период$$

где: $G_{сух.изд}$ – масса сухой части бетона, *кг*

$$G_{сух.изд} = \left((1 + K) \cdot \rho_{изд} - A - B\right) \cdot V_{изд} \cdot D_{кам},\ кг$$

K – коэффициент, учитывающий массу воды, испаряющуюся из $1 м^3$ бетона,
(для тяжелых бетонов – 0,01; для ячеистых бетонов – 0,05;
для бетонов на основе извести – 0,08)

$\rho_{изд}$ – плотность изделий, $кг/м^3$

A – масса арматуры в $1 м^3$ бетона, *кг*

B – масса воды в $1 м^3$ бетона, $B = Ц \cdot \left(\frac{B}{Ц}\right)$, *кг*

$Ц$ – масса цемента в $1 м^3$ бетона, *кг*

$\left(\frac{B}{Ц}\right)$ – водоцементное отношение, рассчитывается формулам (Приложение О)

$V_{изд}$ – объем одного изделий, $м^3$

$D_{кам}$ – количество изделий в автоклаве, *дана*

$C_{изд}$ – теплоемкость бетона, *кДж/(кг·°С)* (Приложение С)

$t_{изд}$ – температура изделий, загружаемых в автоклав, для бетонов на основе извести 30-40 ^{o}C, для бетонов на основе цементов 15-20 ^{o}C

Тепло, вносимое водой затворения

$$Q_{вод.изд.под} = G_{вод.изд} \cdot C_{вод} \cdot t_{изд}, \ кДж/период$$

где: $G_{вод.изд}$ – масса воды затворения в изделиях, *кг*

$$G_{вод.изд} = B \cdot V_{изд} \cdot D_{кам}, \ кг$$

$C_{вод}$ – теплоемкость воды, *кДж/(кг·°С)* (Приложение Р)

Тепло, вносимое арматурой

$$Q_{арм.под} = G_{арм} \cdot C_{арм} \cdot t_{изд}, \ кДж/период$$

где: $G_{арм}$ – масса арматуры в изделиях, *кг*

$$G_{арм} = A \cdot V_{изд} \cdot D_{кам}, \ кг$$

$C_{арм}$ – теплоемкость арматуры, *кДж/(кг·°С)* (Приложение С)

Тепло, вносимое формой

$$Q_{форм.под} = G_{форм} \cdot C_{форм} \cdot t_{изд}, \ кДж/период$$

где: $G_{форм}$ – масса форм, загружаемых с изделиями, *кг*

$$G_{форм} = (0{,}25 \div 1{,}0) \cdot G_{изд} \cdot V_{изд} \cdot D_{кам}, кг$$

$G_{изд}$ – масса одного изделий, *кг*

$C_{форм}$ – теплоемкость форм, *кДж/кг·°С*

Тепло, вносимое вагонетками

$$Q_{ваг.под} = G_{ваг} \cdot C_{ваг} \cdot t_{окр.ср}, \ кДж/период$$

где: $G_{ваг}$ – общая масса вагонеток, загружаемых в автоклав, *кг*

$$G_{ваг} = m_{ваг} \cdot n_{ваг}, \ кг$$

$m_{ваг}$ – масса одной вагонетки, *кг*

$n_{ваг}$ – количество вагонеток, загружаемых в автоклав, *дана*

$C_{ваг}$ – вагонеткаңың жылусыйымдылығы, *кДж/(кг·°С)*

$t_{окр.ср}$ – температура окружающей среды, ^{o}C

Тепло насыщенного водяного пара, подаваемого в автоклав за период подогрева

$$Q_{пар.под} = G_{пар.под} \cdot I_{пар}, \ кДж/период$$

где: $G_{пар.под}$ – масса пара, подаваемого в автоклав за период подогрева, *кг*
(неизвестная величина, определяемая при решении уравнения теплового баланса периода подогрева)

$I_{пар}$ – теплосодержание пара, подоваемого в автоклав, *кДж/кг*

$I_{пар} = 2680 + 120 \cdot \sqrt[4]{P_{р.к.}}$, *кДж/кг* (либо принимается по Приложению Т)

$P_{р.к.}$ – рабочая давление пара в автоклаве, *МПа*

Общий приход тепла за период подогрева

$$Q_{прих.под} = Q_{сух.изд.под} + Q_{вод.изд.под} + Q_{арм.под} + Q_{форм.под} + Q_{ваг.под} + Q_{пар.под}, \quad кДж/период$$

Расход тепла

Тепло сухой части изделий к концу периода подогрева

$$Q^{I}_{сух.изд.под} = G_{сух.изд} \cdot C_{изд} \cdot t^{I}_{из}, \ кДж/период$$

где: $t^{I}_{из}$ – средняя температура изделий к концу периода подогрева,

$$t^{I}_{из} = (0{,}85 \div 0{,}95) \cdot t_{из}, \ ^{o}C$$

$t_{из}$ – температура изотермической выдержки, ^{o}C

Тепло на испарение части воды затворения

$$Q^{I}_{вод.изд.под} = G_{вод.исп} \cdot I_{пар}, \ кДж/период$$

где: $G_{вод.исп}$ – масса испарившейся воды, *кг*

$$G_{вод.исп} = m_{вод} \cdot V_{изд} \cdot D_{кам}, \ кг$$

$m_{вод}$ – масса воды, испарившаяся из 1 $м^3$ бетона, $m_{вод} = K \cdot \rho_{изд}$, *кг*

$I_{пар}$ – теплосодержание пара, подаваемого в рабочую камеру автоклава при $t_{ср.пар}$, *кДж/кг* (Приложение Т)

$t_{ср.пар}$ – средняя температура пара в автоклаве в период подогрева,

$$t_{ср.пар} = \frac{t_{окр.ср} + t_{из}}{2}, \ ^{o}C$$

Тепло на нагрев воды, оставшейся в изделиях к концу периода подогрева

$$Q^{I}_{вод.изд.под} = G_{вод.изд} \cdot C_{вод} \cdot t^{I}_{из}, \ кДж/период$$

где: $G^{I}_{вод.изд}$ – масса воды, оставшейся в изделиях к концу периода подогрева,

$$G^{I}_{вод.изд} = (B - m_{вод}) \cdot V_{изд} \cdot D_{кам}, \ кг$$

$C_{вод}$ – теплоемкость воды при температуре $t^{I}_{из}$, *кДж/(кг·^{o}C)* (Приложение Р)

Тепло на нагрев арматуры в изделиях к концу периода подогрева

$$Q^{I}_{арм.под} = G_{арм} \cdot C_{арм} \cdot t^{I}_{из},\ кДж/период$$

Тепло на нагрев форм к концу периода подогрева

$$Q^{I}_{форм.под} = G_{форм} \cdot C_{форм} \cdot t^{I}_{из},\ кДж/период$$

Тепло на нагрев вагонеток к концу периода подогрева

$$Q^{I}_{ваг.под} = G_{ваг} \cdot C_{ваг} \cdot t^{I}_{из},\ кДж/период$$

Тепло на нагрев материала элементов ограждения к концу периода подогрева (определяется для металлического корпуса, теплоизоляционной стенки и крышки)

$$Q^{I}_{стен.под} = G_{м} \cdot C_{м} \cdot \left(t^{I}_{из} - t_{ав}\right) + G_{изол} \cdot C_{изол} \cdot \left(t_{ав} - t_{н.пов}\right),\ кДж/период$$

где: $G_{м}$ – масса материала металлической части автоклава, *кг*

$$G_{м} = \rho_{ц.м.ст} \cdot F_{ц.м.ст} \cdot \delta_{ц.м.ст} + \rho_{м.кр} \cdot F_{м.кр} \cdot \delta_{м.кр}$$

$\rho_{ц.м.ст}$ – плотность материала стенки цилиндрической металлической части автоклава, *кг/м*^{3} (Приложение С)

$F_{ц.м.ст}$ – площадь стенки поверхности цилиндрической металлической части автоклава, $F_{ц.м.ст} = \pi \cdot D_{авт} \cdot L_{авт}$, *м*^{2}

$\delta_{ц.м.ст}$ – толщина стенки цилиндрической металлической части автоклава, *м*

$$\delta_{ц.м.ст} = \frac{P_{р.к.} \cdot D_{авт}}{(230 \cdot \sigma_{д.н.} - P_{р.к}) \cdot \varphi}$$

$\sigma_{д.н.}$ – допустимое напряжение при растяжении под действием пара, *МПа*

$$\sigma_{д.н.} = \frac{\sigma_{проч}}{\varepsilon_{ц.св}},\ МПа$$

$\sigma_{проч}$ – предел прочности при растяжении, для стали принимается в пределах (3,6÷4,5) *МПа*

$\varepsilon_{ц.св}$ – коэффициент, для сварки цилиндрических элементов принимается в пределах 4,0÷4,25

φ – коэффициент прочности шва, в зависимости от типа сварки принимается в пределах 0,7÷0,95

$\rho_{м.кр}$ – плотность металлической крышки, *кг/м*^{3}

$F_{м.кр}$ – площадь двух крышек автоклава, $F_{м.кр} = 2 \cdot 0{,}4 \cdot \pi \cdot D^2_{авт}$, *м*^{2}

$\delta_{м.кр}$ – толщина крышки автоклава, $\delta_{м.кр} = 1{,}15 \cdot \delta_{ц.м.ст}$, *м*

$C_м$ – теплоемкость металлической части стенки, *кДж/кг·°С* (Приложение С)

$t_{ав}$ – температура стенки металлической части автоклава в период подогрева, $t_{ав} = (100 \div 110)$, ^oC

$G_{изол}$ – масса теплоизоляционного слоя стенки автоклава,

$$G_{изол} = \rho_{изол} \cdot F_{изол} \cdot \delta_{изол}, \ кг$$

$\rho_{изол}$ – плотность теплоизоляционного слоя, *кг/м³* (Приложение С)

$F_{изол}$ – площадь теплоизоляции цилиндрической части автоклава, *м²*

$$F_{изол} = \pi \cdot (D_{авт} + 2 \cdot \delta_{изол}) \cdot L_{авт}, \ м^2$$

$\delta_{изол}$ – толщина теплоизоляционного слоя, (0,1÷0,15) *м*

$C_{изол}$ – теплоемкость теплоизоляционного слоя, *кДж/(кг·°С)* (Приложение С)

$t_{н.пов}$ – температура наружной поверхности теплоизоляционного слоя,

$$t_{н.пов} = (35 \div 40), \ ^oC$$

Потери тепла в окружающую среду через ограждения автоклава в период подогрева

$$Q^I_{окр.ср.под} = 3{,}6 \cdot \alpha_c \cdot \tau_{под} \cdot \left(t_{н.пов} - t_{окр.ср}\right) \cdot F_{сум.пов}, \ кДж/период$$

где: $\alpha_н$ – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности автоклава в окружающую среду, $\alpha_н = 9{,}4 + 0{,}052 \cdot \left(t_{н.пов} - t_{окр.ср}\right)$, *Вт/(м²·°С)* (или принимается по таблице 7)

$F_{сум.пов}$ – общая площадь поверхности автоклава, *м²*

$$F_{сум.пов} = F_{м.кр} + F_{изол}, \ м^2$$

Таблица 7

Значение суммарного коэффициента теплоотдачи для цилиндрических стенок в зависимости от температуры наружной поверхности

$t_{н.пов}$, ^oC	$\alpha_н$, *Вт/(м²·°С)*
10	9,78
25	10,45
40	10,69

Тепло, уносимое конденсатом в период подогрева

$$Q^I_{конд.под} = I_{конд} \cdot G_{конд} = I_{вод} \cdot \left(G_{пар.под} - G_{своб}\right), \ кДж/период$$

где: $I_{вод}$ – энтальпия конденсата при температуре $t^I_{из}$, ^oC, *кДж/кг*

$$I_{вод} = 762 \cdot \sqrt[4]{P_{ж.к.}}, \ кДж/кг$$ (либо принимается по приложению Т)

$G_{своб}$ – масса пара, занимающая свободный объем автоклава,

$$G_{своб} = \rho_{пар} \cdot (V_{кам} - V_{кам.изд} - V_{кам.ваг}), \ кг$$

$\rho_{пар}$ – плотность пара при температуре $t^I_{из}$, *кг/ м³* (Приложение Т)

$V_{кам}$ – полный объем рабочей камеры автоклава, *м³*

$V_{кам.изд}$ – объем всех изделий с формами в рабочей камере автоклава,

$$V_{кам.изд} = V_{изд} \cdot D_{кам} + \frac{G_{форм}}{\rho_{форм}},\ м^3$$

$V_{кам.ваг}$ – объем, занимаемый вагонетками, $V_{кам.ваг} = \frac{G_{ваг}}{\rho_{ваг}},\ м^3$

Неучтенные потери тепла в периоде подогрева

$$Q^I_{неуч.под} = (0{,}05 \div 0{,}1) \cdot Q_{прих.под},\ кДж/период$$

Общий расход тепла за период подогрева

$$Q_{расх.под} = Q^I_{сух.изд.под} + Q^I_{вод.исп.под} + Q^I_{вод.изд.под} + Q^I_{арм.под} + Q^I_{форм.под} + Q^I_{ваг.под} + Q^I_{стен.под} + Q^I_{окр.ср.под} + Q^I_{конд.под} + Q^I_{неуч.под},\ кДж/период$$

Решением уравнения теплового баланса, приравнивая приходной и расходной части определяется количество пара, затрачиваемое за период подогрева $G_{пар.под}$.

$$Q_{прих.под} = Q_{расх.под}$$

Удельный расход пара, затрачиваемый на $1м^3$ бетона за период подогрева определятся по следующей формуле:

$$G_{уд.под} = \frac{G_{пар.под}}{V_{кам} \cdot D_{кам}},\quad кг/м^3$$

Период изотермической выдержки

Приход тепла

Тепло подогретых сухой части изделий в начале периода изотермической выдержки (определенной в период подогрева)

$$Q_{сух.изд.из} = Q^I_{сух.изд.под},\ кДж/период$$

Тепло воды, оставшейся в изделиях в начале периода изотермической выдержки (определенной в период подогрева)

$$Q_{вод.изд.из} = Q^I_{вод.изд.под},\ кДж/период$$

Тепло арматуры в изделиях в начале периода изотермической выдержки (определенной в период подогрева)

$$Q_{арм.из} = Q^{I}_{арм.под},\ кДж/период$$

Тепло форм в начале периода изотермической выдержки (определенной в период подогрева)

$$Q_{форм.из} = Q^{I}_{форм.под},\ кДж/период$$

Тепло вагонеток в начале периода изотермической выдержки (определенной в период подогрева)

$$Q_{ваг.из} = Q^{I}_{ваг.под},\ кДж/период$$

Тепло материала элементов ограждения в начале периода изотермической выдержки (определенной в период подогрева)

$$Q_{стен.из} = Q^{I}_{стен.под},\ кДж/период$$

Тепло насыщенного водяного пара, подаваемого в автоклав в период изотермической выдержки

$$Q_{пар.из} = G_{пар.из} \cdot I_{пар},\ кДж/период$$

где: $G_{пар.из}$ – масса пара, подаваемого в автоклав за период изотермической выдержки, *кг* (неизвестная величина, определяемая при решении уравнения теплового баланса периода изотермической выдержки)

Общий приход тепла за период изотермической выдержки

$$Q_{прих.из} = Q_{сух.изд.из} + Q_{вод.изд.из} + Q_{арм.из} + Q_{форм.из} + Q_{ваг.из} + Q_{стен.из} + Q_{пар.из},\ кДж/период$$

Расход тепла

Тепло подогретых сухой части изделий к концу периода изотермической выдержки

$$Q^{I}_{сух.изд.из} = G_{сух.изд} \cdot C_{изд} \cdot t_{из},\ кДж/период$$

Тепло воды, оставшейся в изделиях к концу периода изотермической выдержки

$$Q^{I}_{вод.изд.из} = G_{вод.изд} \cdot C_{вод} \cdot t_{из}\,,\ кДж/период$$

Тепло арматуры в изделиях к концу периода изотермической выдержки

$$Q^{I}_{арм.из} = G_{арм} \cdot C_{арм} \cdot t_{из}\,,\ кДж/период$$

Тепло на нагрев материала элементов ограждения автоклава к концу периода изотермической выдержки

$$Q^{I}_{стен.из} = G_{м} \cdot C_{м} \cdot \left(t_{из} - t_{ав}\right) + G_{изол} \cdot C_{изол} \cdot \left(t_{ав} - t_{н.пов}\right),\ кДж/период$$

Потери тепла в окружающую среду через ограждения автоклава в период изотермической выдержки

$$Q^{I}_{окр.ср.из.} = 3{,}6 \cdot \alpha_{н} \cdot \tau_{из} \cdot \left(t_{н.пов} - t_{окр.ср}\right) \cdot F_{сум.пов}\,,\ кДж/период$$

Потери тепла с конденсатом пара за период изотермической выдержки

$$Q^{I}_{конд.из} = I_{конд} \cdot G_{конд} = I_{су} \cdot \left(G_{пар.из} - G_{своб}\right),\ кДж/период$$

Неучтенные потери тепла в периоде изотермической выдержки

$$Q^{I}_{неуч.из} = (0{,}02 \div 0{,}05) \cdot Q_{прих.из}\,,\ кДж/период$$

Общий расход тепла за период изотермической выдержки

$$Q_{расх.из} = Q^{I}_{сух.изд.из} + Q^{I}_{вод.изд.из} + Q^{I}_{арм.из} + Q^{I}_{стен.из} + Q^{I}_{окр.ср.из} + Q^{I}_{конд.из} + Q^{I}_{неуч.из}\,,\ кДж/период$$

Решением уравнения теплового баланса, приравнивая приходной и расходной части определяется количество пара, затрачиваемое за изотермической выдержки $G_{пар.из}$.

$$Q_{прих.из} = Q_{расх.из}$$

Удельный расход пара, затрачиваемый на $1м^3$ бетона за период изотермической выдержки определятся по следующей формуле:

$$G_{уд.из} = \frac{G_{пар.из}}{V_{кам} \cdot D_{кам}} \ , \ \ кг/м^3$$

Удельный расход пара, затрачиваемый за один полный цикл работы автоклава определятся по следующей формуле:

$$G_{уд.авт} = G_{уд.под} + G_{уд.из} \ , \ кг/м^3 \ бетона$$

<u>Горизонтальный автоклав прямоугольного сечения</u>

Тепловой баланс горизонтального автоклава прямоугольного сечения выполняется по той же методике, что и для автоклава цилиндрического типа. Особенности приведены ниже.

<u>Период подогрева</u>

Общий приход тепла за период подогрева

$$Q_{прих.под} = Q_{сух.изд.под} + Q_{вод.изд.под} + Q_{арм.под} + Q_{форм.изд} + \\ + Q_{ваг.под} + Q_{пар.под} \ , \quad кДж/период$$

Расход тепла

Общий расход тепла за период подогрева

$$Q_{расх.прих} = Q^I_{сух.изд.под} + Q^I_{вод.исп.под} + Q^I_{вод.изд.под} + Q^I_{арм.под} + Q^I_{форм.под} + \\ + Q^I_{ваг.под} + Q^I_{стен.под} + Q^I_{окр.ср.под} + Q^I_{конд.под} + Q^I_{неуч.под} \quad ,кДж/период$$

Тепло на нагрев материала элементов ограждения к концу периода подогрева (определяется для металлического корпуса, бетонной стенки и крышки)

$$Q^I_{стен.под} = G_м \cdot C_м \cdot \left(t^I_{из} - t_{ав}\right) + G_б \cdot C_б \cdot \left(t_{ав} - t_{н.пов}\right), \ кДж/период$$

где: $G_м$ – масса материала металлической части автоклава, *кг*

$$G_м = \rho_{м.ст} \cdot F_{м.ст} \cdot \delta_{м.ст} + \rho_{м.кр} \cdot F_{м.кр} \cdot \delta_{м.кр}$$

$\rho_{м.ст}$ – плотность металлической стенки, $кг/м^3$ (Приложение С)

$F_{м.ст}$ – площадь стенки металлической части, $м^2$

$$F_{м.ст} = 2 \cdot (B_{авт} \cdot L_{авт} + H_{авт} \cdot L_{авт}) \ , \ м^2$$

$\delta_{м.ст}$ – толщина стенки металлической части, 0,005*м*

$\rho_{м.кр}$ – плотность металлической крышки, *кг/м*^{3}
$F_{м.кр}$ – площадь двух крышек автоклава, $F_{м.кр} = 2 \cdot B_{авт} + H_{авт}$, *м*^{2}
$\delta_{м.кр}$ – толщина крышки автоклава, 0,024*м*
$C_м$ – теплоемкость металлической части, *кДж/(кг·*^{o}*C)* (Приложение С)
$t_{ав}$ – температура стенки металлической части автоклава в период подогрева, $t_{ав} = (100 \div 110)$, ^oC
$G_б$ – масса бетонной стенки автоклава, $G_б = \rho_б \cdot F_б \cdot \delta_б$, *кг*
$\rho_б$ – плотность бетонной стенки, *кг/м*^{3} (Приложение С)
$F_б$ – общая площадь поверхности бетонной стенки, *м*^{2}

$$F_б = 2 \cdot (B_{авт} \cdot L_{авт} + H_{авт} \cdot L_{авт}),\ м^2$$

$\delta_б$ – толщина бетонной стенки, 0,23*м*
$C_б$ – теплоемкость бетонной стенки, *кДж/(кг·*^{o}*C)*
$t_{н.пов}$ – температура наружной поверхности автоклава, $t_{н.пов} = (35 \div 40)$, ^oC

Потери тепла в окружающую среду через ограждения автоклава в период подогрева

$$Q^I_{окр.ср.под} = 3{,}6 \cdot \alpha_н \cdot \tau_{под} \cdot \left(t_{н.пов} - t_{окр.ср}\right) \cdot F_{сум.пов},\ кДж/период$$

где: $F_{сум.пов}$ – общая площадь поверхности автоклава, *м*^{2}

$$F_{сум.пов} = F_{м.кр} + F_{м.ст},\ м^2$$

Период изотермической выдержки

Общий приход тепла за период изотермической выдержки

$$Q_{прих.из} = Q_{сух.изд.из} + Q_{вод.изд.из} + Q_{арм.из} + Q_{форм.из} + Q_{заг.из} + Q_{стен.из} + Q_{пар.из},\ кДж/период$$

Расход тепла

Общий расход тепла за период изотермической выдержки

$$Q_{расх.из} = Q^I_{сух.изд.из} + Q^I_{вод.изд.из} + Q^I_{арм.из} + Q^I_{стен.из} + Q^I_{окр.ср.из} + Q^I_{конд.из} + Q^I_{неуч.из},\ кДж/период$$

Тепло на нагрев материала элементов ограждения к концу периода изотермической выдержки (определяется для металлического корпуса, бетонной стенки и крышки)

$$Q^I_{стен.из} = G_м \cdot C_м \cdot \left(t_{из} - t_{ав}\right) + G_б \cdot C_б \cdot \left(t_{ав} - t_{н.пов}\right),\ кДж/период$$

Ямный автоклав прямоугольного сечения

Тепловой баланс ямного автоклава прямоугольного сечения выполняется по той же методике, что и для автоклава цилиндрического типа. Особенности приведены ниже.

Период подогрева

Тік бұрышты шұңқырлы автоклавтарда бұйымдарды камераға кіргізу вагонеткасыз жүргізіледі, яғни:

Общий приход тепла за период подогрева

$$Q_{прих.под} = Q_{прих.изд.қыз} + Q_{вод.изд.қыз} + Q_{арм.под} + Q_{форм.под} + Q_{пар.под}\ ,\ кДж/период$$

Расход тепла

Общий расход тепла за период подогрева

$$Q_{расх.под} = Q^I_{сух.изд.под} + Q^I_{вод.исп.под} + Q^I_{вод.изд.под} + Q^I_{арм.под} + Q^I_{форм.под} + \\ + Q^I_{стен.под} + Q^I_{окр.ср.под} + Q^I_{конд.под} + Q^I_{неуч.под}\ ,\ кДж/период$$

Тепло на нагрев материала элементов ограждения к концу периода подогрева (определяется для металлического корпуса, бетонной стенки и крышки)

$$Q^I_{стен.под} = G_м \cdot C_м \cdot \left(t^I_{из} - t_{ав}\right) + G_б \cdot C_б \cdot \left(t_{ав} - t_{н.пов}\right),\ кДж/период$$

где: $G_м$ – масса материала металлической части автоклава, *кг*

$$G_м = \rho_{м.ст} \cdot F_{м.ст} \cdot \delta_{м.ст} + \rho_{м.кр} \cdot F_{м.кр} \cdot \delta_{м.кр}$$

$\rho_{м.ст}$ – плотность металлической стенки, *кг/м*^{3} (Приложение С)

$F_{м.ст}$ – площадь стенки металлической части, *м*^{2}

$$F_{м.ст} = 2 \cdot (B_{кам} \cdot H_{кам} + H_{кам} \cdot L_{кам}) + B_{кам} \cdot L_{кам}\ ,\ м^2$$

$\delta_{м.ст}$ – толщина стенки металлической части, 0,005*м*

$\rho_{м.кр}$ – плотность металлической крышки, *кг/м*^{3}

$F_{м.кр}$ – площадь крышки автоклава, $F_{м.кр} = B_{кам} + H_{кам}\ ,\ м^2$

$\delta_{м.кр}$ – толщина крышки автоклава, 0,1*м*

$C_м$ – теплоемкость металлической части, *кДж/(кг·*^{o}*С)* (Приложение С)

$t_{ав}$ – температура стенки металлической части автоклава в период подогрева, $t_{ав} = (100 \div 110)\ ,\ ^oC$

$G_б$ – масса бетонной стенки автоклава, $G_б = \rho_б \cdot F_б \cdot \delta_б\ ,\ кг$

$\rho_б$ – плотность бетонной стенки, *кг/м*^{3} (Приложение С)

$F_б$ – общая площадь поверхности бетонной стенки, $м^2$

$$F_б = 2 \cdot (B_{кам} \cdot H_{кам} + H_{кам} \cdot L_{кам}) + B_{кам} \cdot L_{кам},\ м^2$$

$\delta_б$ – толщина бетонной стенки, 1,0*м*

$C_б$ – теплоемкость бетонной стенки, *кДж/(кг·°С)*

$t_{н.пов}$ – температура наружной поверхности автоклава, $t_{н.пов} = (35 \div 40)$, ^oC

Период изотермической выдержки

Общий приход тепла за период изотермической выдержки

$$Q_{прих.из} = Q_{сух.изд.из} + Q_{вод.изд.из} + Q_{арм.из} + Q_{форм.из} + Q_{стен.из} + Q_{пар.из},\ кДж/период$$

Расход тепла

Общий расход тепла за период изотермической выдержки

$$Q_{расх.из} = Q^I_{сух.изд.из} + Q^I_{вод.изд.из} + Q^I_{арм.из} + Q^I_{стен.из} + Q^I_{окр.ср.из} + Q^I_{конд.из} + Q^I_{неуч.из},\ кДж/период$$

Тепло на нагрев материала элементов ограждения к концу периода изотермической выдержки (определяется для металлического корпуса, бетонной стенки и крышки)

$$Q^I_{стен.из} = G_м \cdot C_м \cdot (t_{из} - t_{ав}) + G_б \cdot C_б \cdot (t_{ав} - t_{н.пов}),\ кДж/период$$

Установки непрырывного действия

Туннельная пропарочная камера

Тепловой баланс зоны подогрева

Расход тепла

Расход тепла на нагрев изделий

$$Q_{изд.под} = G_{уст} \cdot C_{изд} \cdot \left(t_{изд.ср} - t_{изд.нач}\right),\ кВт$$

где: $G_{уст}$ – секундная производительность установки,

$$G_{уст} = \frac{D_{уст} \cdot G_{сух.изд}}{3600},\ кг/секунд$$

$D_{уст}$ – часовая производительность одной установки, *штук/час*

$G_{сух.изд}$ – масса сухой части изделий, $G_{сух.изд} = (\rho_{изд} - B) \cdot V_{изд}$, *кг*

B – расход воды для затворения 1 $м^3$ бетонной смеси, 200*кг*

$V_{изд}$ – объем одного изделия, $м^3$

$\rho_{изд}$ – плотность изделий, $\rho_{изд} = \frac{G_{изд}}{V_{изд}}$ $кг/м^3$

$G_{изд}$ – масса одного изделия, *кг*

$C_{изд}$ – теплоемкость изделий, *кДж/(кг·°С)* (Приложение С)

$t_{изд.ср}$ – средняя температура изделий в конце зоны подогрева,

$$t_{изд.ср} = (0{,}8 \div 0{,}95) \cdot t_{из},\ ^oC$$

$t_{из}$ – температура изотермической выдержки, ^oC

$t_{изд.нач}$ – начальная температура изделий, загружаемых в рабочую камеру, ^oC

Расход тепла на нагрев воды затворения изделий

$$Q_{вод.изд.под} = 4{,}19 \cdot G_{вод.изд} \cdot \left(t_{изд.ср} - t_{изд.нач}\right),\ кВт$$

где: $G_{вод.изд}$ – масса воды, расходуемая на затворение бетона, *кг/секунд*

$$G_{вод.изд} = \frac{B \cdot V_{изд} \cdot D_{уст}}{3600},\ кг/секунд$$

Расход тепла на нагрев форм и вагонеток

$$Q_{форм.под} = G_{форм} \cdot C_{форм} \cdot \left(t_{изд.ср} - t_{изд.нач}\right),\ кВт$$

где: $G_{форм}$ – масса форм и вагонеток, *кг/секунд*

$$G_{форм} = (1{,}25 \div 2{,}0) \cdot G_{уст},\ кг/секунд$$

$C_{форм}$ – темлоемкость материала форм и вагонеток, *кДж/(кг·°С)*

Расход тепла на испарение воды из изделий

$$Q_{вод.исп.под} = G_{вод.исп.под} \cdot I_{пар.скр},\ кВт$$

где: $G_{вод.исп.под}$ – масса воды, испаряющаяся из изделий в зоне подогрева, *кг*

для легких бетонов $G_{вод.исп} = (0{,}03 \div 0{,}05) \cdot G_{уст}$, *кг/секунд*

для тяжелых бетонов $G_{вод.исп} = (0{,}01 \div 0{,}02) \cdot G_{уст}$, *кг/секунд*

$I_{пар.скр}$ – скрытая теплота парообразования при $t_{изд.ср}$, *кДж/кг* (Приложение П)

Потери тепла в окружающую среду в зоне подогрева через стенки, свод и под камеры

$$Q_{окр.ср.под} = q_{стен} + q_{свод} + q_{под},\ кВт$$

где: $q_{стен}$ – потери тепла через стенки камеры, *кВт*

$$q_{стен} = 0{,}001 \cdot K_{стен.под} \cdot (t_{п.в.см} - t_{воз}) \cdot F_{стен.под},\ кВт$$

$K_{стен.под}$ – коэффициент теплопередачи стенки камеры,

$$K_{стен.под} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}},\ Вт/(м^2 \cdot {}^oC)$$

δ – толщина слоя стенки, *м*

λ – теплопроводность материала слоя стенки, *Вт/(м·°С)*

α_1 – коэффициент теплоотдачи от паровоздушной смеси к внутренней поверхности стенки, $\alpha_1 = (100 \div 115)$, *Вт/(м²·°С)*

α_2 – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности стенки окружающему воздуху, $\alpha_2 = (16 \div 18)$, *Вт/(м²·°С)*

$t_{п.в.см}$ – средняя температура паровоздушной смеси по длине зоны подогрева, ^oC

$$t_{п.в.см} = \frac{t_{изд.ср} + t_{воз}}{2},\ ^oC$$

$t_{воз}$ – температура окружающего воздуха, ^oC

$F_{стен.под}$ – суммарная площадь стен зоны подогрева, $м^2$

$$F_{стен.под} = 2 \cdot L_{под} \cdot H_{кам},\ м^2$$

$q_{свод}$ – потери тепла через свод камеры, *кВт*

$$q_{свод} = 0{,}001 \cdot K_{свод.под} \cdot (t_{п.в.см} - t_{воз}) \cdot F_{свод.под},\ кВт$$

$K_{свод.под}$ – коэффициент теплопередачи свода камеры,

$$K_{свод.под} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}},\ Вт/(м^2 \cdot {}^oC)$$

δ – толщина слоя свода, *м*

λ – теплопроводность материала слоя свода, *Вт/(м·°С)*

α_1 – коэффициент теплоотдачи от паровоздушной смеси к внутренней поверхности свода, $\alpha_1 = (120 \div 125)$, *Вт/(м²·°С)*

α_2 – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности свода окружающему воздуху, $\alpha_2 = (18 \div 20)$, *Вт/(м²·°С)*

$F_{свод.под}$ – площадь свода зоны подогрева, *м²*

$$F_{свод.под} = L_{под} \cdot B_{кам}, \text{ м}^2$$

$q_{под}$ – потери тепла через под камеры, *кВт*

$$q_{под} = 0{,}5 \cdot q_{свод}, \text{ кВт}$$

Потери тепла с паром, выбивающимся через торец камеры

$$Q_{тор.кам.под} = 5{,}48 \cdot \left(t_{п.в.см} - t_{воз}\right)^{0,6} \cdot F_{п.сеч} \cdot H_{кам}^{0,5}, \text{ кВт}$$

где: $F_{п.сеч}$ – площадь поперечного сечения камеры, $F_{п.сеч} = B_{кам} \cdot H_{кам}$, *м²*

Суммарный расход тепла за период подогрева с учетом неучтенных потер тепла (20%)

$$Q_{расх.под} = 1{,}2 \cdot \begin{pmatrix} Q_{изд.под} + Q_{вод.изд.под} + Q_{форм.под} + Q_{вод.исп.под} + Q_{окр.ср.под} + \\ + Q_{тор.кам.под} \end{pmatrix}, \text{ кВт}$$

Приход тепла

Тепло экзотермических реакций, протекающих при гидратации цемента

$$Q_{экз.под} = (0{,}4 \div 0{,}6) \cdot 0{,}0023 \cdot Q_{э.28} \cdot G_{цем} \cdot t_{п.в.см} \cdot \tau_{под} \cdot \left(\frac{В}{Ц}\right)^{0,44}, \text{ кВт}$$

где: $Q_{э.28}$ – тепло экзотермических реакций, выделяемое за 28 суток твердения, *кДж/кг* (принимается по таблице 1)

$G_{цем}$ – секундный расход цемента в изделиях, *кг/с*

$$G_{цем} = \frac{Ц \cdot V_{изд} \cdot D_{уст}}{3600}, \text{ кг/с}$$

$Ц$ – масса цемента в 1 *м³* бетона, *кг*

$\tau_{под}$ – время периода подогрева, *час*

$\left(\frac{В}{Ц}\right)$ – водоцементное отношение, вычисляется по формуле (Приложение О)

Приход тепла с паром, выбивающимся в зону подогрева из зоны изотермической выдержки через воздушные завесы

$$Q_{воз.зав.под} = 5{,}48 \cdot \Delta t^{0,6} \cdot F_{п.сеч} \cdot H_{кам}^{0,5}, \; кВт$$

где: Δt – разность температур на границе зон подогрева и изотермической выдержки, 1 ^{o}C

Тепло, вносимое теплоносителями в зону подогрева (суммарная теплота воздуха, подогретого в калорифере, острого пара, поступающее через перфорированные трубы и глухого пара, проходящее через регистры)

$$Q_{тепл.под} = Q_{расх.под} - (Q_{экз.под} + Q_{воз.зав.под}), \; кВт$$

Суммарный приход тепла за период подогрева

$$Q_{прих.под} = Q_{экз.под} + Q_{воз.зав.под} + Q_{тепл.под}, \; кВт$$

Тепло подогретого воздуха, поступающее из калорифера

$$Q_{к.воз.под} = \varphi_1 \cdot Q_{тепл.под}, \; кВт$$

где: φ_1 – коэффициент, учитывающей долю подогретого воздуха в общей массе теплоносителя (0,2÷0,5)

Тепло, поступающее с острым паром через перфорированные трубы

$$Q_{о.пар.под} = \varphi_2 \cdot Q_{тепл.под}, \; кВт$$

где: φ_2 – коэффициент, учитывающей долю острого пара в общей массе теплоносителя (0,5÷0,9)

Тепло, поступающее с глухим паром через регистры

$$Q_{г.пар.под} = \varphi_3 \cdot Q_{тепл.под}, \; кВт$$

где: φ_3 – коэффициент, учитывающей долю глухого пара в общей массе теплоносителя (0,1÷0,3)

Суммарная величина коэффициентов должна быть равно единице ($\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 1$).

Расход количества подогретого воздуха, поступающего из калорифера

$$G_{к.воз.под} = \frac{Q_{к.воз.под}}{C_{вх.воз} \cdot t_{вх.воз} - C_{вых.воз} \cdot t_{вых.воз}}, \; кг/с$$

где: $C_{вх.воз}$ – теплоемкость воздуха, входящего в рабочую камеру при температуре $t_{вх.воз}$, *кДж/(кг·°С)* (принимается по таблице 8)

$t_{вх.воз}$ – температура воздуха, входящего в рабочую камеру,

$$t_{вх.воз} = (90 \div 100)\ ^{o}C$$

$C_{вых.воз}$ – теплоемкость воздуха, выходящего из рабочей камеры при температуре $t_{вых.воз}$, *кДж/(кг·°С)* (принимается по таблице 8)

$t_{вых.воз}$ – температура воздуха, выходящего из рабочей камеры,

$$t_{вых.воз} = (40 \div 60)\ ^{o}C$$

Таблица 8

Теплоемкость влажного воздуха

$t_{воз}$, ^{o}C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$C_{воз}$, *кДж/(кг·°С)*	2,93	2,83	3,24	3,93	4,65	6,63	8,93	12,38	18,16	26,76

Расход острого пара, поступающего через перфорированные трубы

$$G_{о.пар.под} = \frac{Q_{о.пар.под}}{I_{пар}},\quad кг/с$$

где: $I_{пар}$ – энтальпия пара, подаваемого в перфорированные трубы, *кДж/кг* (Приложение П)

Расход глухого пара в регистрах

$$G_{г.пар.под} = \frac{Q_{г.пар.под}}{I_{вх.пар} - I_{вых.пар}},\quad кг/с$$

где: $I_{вх.пар}$ – энтальпия пара, входящего в регистры при температуре $t_{вх.пар.рег}$, *кДж/кг* (Приложение П)

$t_{вх.пар.рег}$ – температура пара, входящего в регистры,

$$t_{вх.пар.рег} = (140 \div 150)\ ^{o}C$$

$I_{вых.пар}$ – энтальпия конденсата, удаляемого из регистров при температуре $t_{вых.пар.рег}$, *кДж/кг* (Приложение П)

$t_{вых.пар.рег}$ – температура конденсата, удаляемого из регистров,

$$t_{вых.пар.рег} = (50 \div 60)\ ^{o}C$$

Удельный расход пара в зоне подогрева

$$G_{пар.под} = \frac{3600 \cdot Q_{тепл.под}}{2676 \cdot D_{уст} \cdot V_{изд}},\quad кг/м^{3}\ бетона$$

Тепловой баланс зоны изотермической выдержки

Расход тепла

Расход тепла на нагрев изделий

$$Q_{изд.из} = G_{уст} \cdot C_{изд} \cdot \left(t_{из} - t_{изд.ср}\right),\ кВт$$

Расход тепла на нагрев воды затворения бетона

$$Q_{вод.изд.из} = 4{,}19 \cdot \left(G_{вод.изд} - G_{вод.исп.под}\right) \cdot \left(t_{из} - t_{изд.ср}\right),\ кВт$$

Расход тепла на нагрев форм и вагонеток

$$Q_{форм.из} = G_{форм} \cdot C_{форм} \cdot \left(t_{из} - t_{изд.ср}\right),\ кВт$$

Расход тепла на испарение воды из бетона

$$Q_{вод.исп.из} = G_{вод.исп.из} \cdot I_{пар.скр},\ кВт$$

где: $G_{вод.исп.из}$ – масса воды, испаряющаяся в зоне изотермической выдержки из изделий, *кг/с*

для легких бетонов $G_{вод.исп} = (0{,}04 \div 0{,}06) \cdot G_{уст}$, *кг/с*

для тяжелых бетонов $G_{вод.исп} = (0{,}02 \div 0{,}03) \cdot G_{уст}$, *кг/с*

$I_{пар.скр}$ – скрытая теплота парообразования при $t_{из}$, *кДж/кг* (Приложение П)

Потери тепла в окружающую среду в зоне изотермической выдержки через стенки, свод и под камеры

$$Q_{окр.ср.из} = q_{стен} + q_{свод} + q_{под},\ кВт$$

где: $q_{стен}$ – потери тепла через стенки камеры, *кВт*

$$q_{стен} = 0{,}001 \cdot K_{стен.из} \cdot \left(t_{из} - t_{воз}\right) \cdot F_{стен.из},\ кВт$$

$K_{стен.из}$ – коэффициент теплопередачи стенки камеры,

α_1 – коэффициент теплоотдачи от паровоздушной смеси к внутренней поверхности стенки, $\alpha_1 = (120 \div 135)$, *Вт/(м²·°С)*

α_2 – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности стенки окружающему воздуху, $\alpha_2 = (21 \div 23)$, *Вт/(м²·°С)*

$F_{стен.из}$ – суммарная площадь стен зоны изотермической выдержки,

$$F_{стен.из} = 2 \cdot L_{из} \cdot H_{кам},\ м^2$$

$q_{свод}$ – потери тепла через свод камеры, *кВт*

$$q_{свод} = 0{,}001 \cdot K_{свод.из} \cdot \left(t_{из} - t_{воз}\right) \cdot F_{свод.из},\ кВт$$

$K_{свод.из}$ – коэффициент теплопередачи свода камеры,

α_1 – коэффициент теплоотдачи от паровоздушной смеси к внутренней поверхности свода, $\alpha_1 = (140 \div 150)$, *Вт/(м²·°С)*

α_2 – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности свода окружающему воздуху, $\alpha_2 = (23 \div 25)$, *Вт/(м²·°С)*

$F_{свод.из}$ – площадь свода зоны изотермической выдержки,

$$F_{свод.из} = L_{из} \cdot B_{кам}, \text{ м}^2$$

$q_{под}$ – потери тепла через под камеры, *кВт*

$$q_{под} = 0{,}5 \cdot q_{свод}, \text{ кВт}$$

Потери тепла с паром, выбивающимся в зоне подогрева и охлаждения через воздушные завесы

$$Q_{воз.зав.из} = 2 \cdot 5{,}48 \cdot \Delta t^{0,6} \cdot F_{п.сеч} \cdot H_{кам}^{0,5}, \text{ кВт}$$

где: Δt – разность температур на границе зоны изотермической выдержки и зон подогрева и охлаждения, 1 °С

Суммарный расход тепла за период изотермической выдержки с учетом неучтенных потер тепла (20%)

$$Q_{расх.из} = 1{,}2 \cdot \begin{pmatrix} Q_{изд.из} + Q_{вод.изд.из} + Q_{форм.из} + Q_{вод.исп.из} + Q_{окр.ср.из} + \\ + Q_{воз.зав.из} \end{pmatrix}, \text{ кВт}$$

Приход тепла

Тепло экзотермических реакций, протекающих при гидратации цемента

$$Q_{экз.из} = (0{,}4 \div 0{,}6) \cdot 0{,}0023 \cdot Q_{э.28} \cdot G_{цем} \cdot t_{из} \cdot \tau_{из} \cdot \left(\frac{B}{Ц}\right)^{0,44}, \text{ кВт}$$

Тепло, вносимое теплоносителями в зону изотермической выдержки (суммарная теплота воздуха, подогретого в калорифере, острого пара, поступающее через перфорированные трубы и глухого пара, проходящее через регистры)

$$Q_{тепл.из} = Q_{расх.из} - Q_{экз.из}, \text{ кВт}$$

Суммарный приход тепла за период изотермической выдержки

$$Q_{прих.из} = Q_{экз.из} + Q_{тепл.из}, \text{ кВт}$$

Тепло подогретого воздуха, поступающее из калорифера

$$Q_{к.воз.из} = \varphi_1 \cdot Q_{тепл.из}, \; кВт$$

где: φ_1 – коэффициент, учитывающей долю подогретого воздуха в общей массе теплоносителя (0,3÷0,35)

Тепло, поступающее с острым паром через перфорированные трубы

$$Q_{о.пар.из} = \varphi_2 \cdot Q_{тепл.из}, \; кВт$$

где: φ_2 – коэффициент, учитывающей долю острого пара в общей массе теплоносителя (0,3÷0,35)

Тепло, поступающее с паром через регистры

$$Q_{г.пар.из} = \varphi_3 \cdot Q_{тепл.из}, \; кВт$$

где: φ_3 – коэффициент, учитывающей долю глухого пара в общей массе теплоносителя (0,3÷0,4)

Суммарная величина коэффициентов должна быть равно единице ($\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 1$).

Расход количества подогретого воздуха, поступающего из калорифера

$$G_{к.воз.из} = \frac{Q_{к.воз.из}}{C_{вх.воз} \cdot t_{вх.воз} - C_{вых.воз} \cdot t_{вых.воз}}, \quad кг/с$$

Расход острого пара, поступающего через перфорированные трубы

$$G_{о.пар.из} = \frac{Q_{о.пар.из}}{I_{пар}}, \quad кг/с$$

Расход глухого пара в регистрах

$$G_{г.пар.из} = \frac{Q_{г.пар.из}}{I_{вх.пар} - I_{вых.пар}}, \quad кг/с$$

Удельный расход пара в зоне изотермической выдержки

$$G_{пар.из} = \frac{3600 \cdot Q_{тепл.из}}{2676 \cdot D_{уст} \cdot V_{изд}}, \quad кг/м^3 \; бетона$$

Тепловой баланс зоны охлаждения

Приход тепла

Тепло изделий, поступающего из зоны изотермической выдержки в зону охлаждения

$$Q_{изд.охл} = G_{уст} \cdot C_{изд} \cdot t_{из},\ кВт$$

Тепло форм и вагонеток, поступающего из зоны изотермической выдержки в зону охлаждения

$$Q_{форм.охл} = G_{форм} \cdot C_{форм} \cdot t_{из},\ кВт$$

Тепло пара, выбивающимся из зоны изотермической выдержки в зону охлаждения через воздушные завесы

$$Q_{воз.зав.охл} = 5{,}48 \cdot \Delta t^{0,6} \cdot F_{п.сеч} \cdot H_{кам}^{0,5},\ кВт$$

Суммарный приход тепла в зоне охлаждения

$$Q_{прих.охл} = Q_{изд.охл} + Q_{форм.охл} + Q_{воз.зав.охл},\ кВт$$

Расход тепла

Потери тепла с изделиями, выходящих из камеры

$$Q_{вых.изд.охл} = G_{уст} \cdot C_{изд} \cdot t_{вых.изд},\ кВт$$

где: $t_{вых.изд}$ – температура изделий, выходящих из камеры, ^oC

$$t_{вых.изд} = t_{воз} + (35 \div 38)\ ^oC$$

Потери тепла с формами и вагонетками, выходящих из камеры

$$Q_{вых.форм.охл} = G_{форм} \cdot C_{форм} \cdot t_{вых.изд},\ кВт$$

Потери тепла в окружающую среду в зоне охлаждения через стенки, свод и под камеры

$$Q_{окр.ср.охл} = q_{стен} + q_{свод} + q_{под},\ кВт$$

где: $q_{стен}$ – потери тепла через стенки камеры, *кВт*

$$q_{стен} = 0{,}001 \cdot K_{стен.охл} \cdot (t_{п.в.см} - t_{воз}) \cdot F_{стен.охл},\ кВт$$

α_1 – коэффициент теплоотдачи от паровоздушной смеси к внутренней поверхности стенки, $\alpha_1 = (100 \div 115)$, $Вт/(м^2 \cdot {}^oC)$

α_2 – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности стенки окружающему воздуху, $\alpha_2 = (16 \div 18)$, $Вт/(м^2 \cdot {}^oC)$

$F_{стен.охл}$ – суммарная площадь стен зоны охлаждения, $м^2$

$$F_{стен.охл} = 2 \cdot L_{охл} \cdot H_{кам},\ м^2$$

$q_{свод}$ – потери тепла через свод камеры, $кВт$

$$q_{свод} = 0{,}001 \cdot K_{свод.охл} \cdot (t_{п.в.см} - t_{воз}) \cdot F_{свод.охл},\ кВт$$

α_1 – коэффициент теплоотдачи от паровоздушной смеси к внутренней поверхности свода, $\alpha_1 = (120 \div 125)$, $Вт/(м^2 \cdot {}^oC)$

α_2 – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности свода окружающему воздуху, $\alpha_2 = (18 \div 20)$, $Вт/(м^2 \cdot {}^oC)$

$F_{свод.охл}$ – площадь свода зоны охлаждения, $м^2$

$$F_{свод.охл} = L_{охл} \cdot B_{кам},\ м^2$$

$q_{под}$ – потери тепла через под камеры, $кВт$

$$q_{под} = 0{,}5 \cdot q_{свод},\ кВт$$

Суммарный расход тепла за период охлаждения с учетом неучтенных потер тепла (15%)

$$Q_{расх.охл} = 1{,}15 \cdot (Q_{вых.изд.охл} + Q_{форм.вых.охл} + Q_{окр.ср.охл}),\ кВт$$

Температура изделий, выгружаемых из тепловой установки не должна превышать температуру окружающего воздуха более чем на 40 ^oC.

Если расход тепла в зоне охлаждения ($Q_{расх.охл}$) равен или превышает приход тепла ($Q_{прих.охл}$), тогда температура выгружаемых изделий соответствует выше указанному условию, то есть она выше температуры окруюжающего воздуха не более чем на 40 ^oC, в этом случае тепловой баланс зоны охлаждения выглядит следующим образом:

$$Q_{расх.охл} \geq Q_{прих.охл}$$

При соблюдении данного условия тепловой расчет зоны охлаждения заканчивается, в противном случае, когда:

$$Q_{расх.охл} < Q_{прих.охл}$$

возникает необходимость дополнительного охлаждения изделий в зоне охлаждения водой.

Тепло, приобретенной водой, идущей на орошение изделий

$$Q_{изд.вод.охл} = Q_{прих.охл} - Q_{расх.охл}\ ,\ кВт$$

Тогда уравнения теплового баланса зоны охлаждения выглядит:

$$Q_{прих.охл} = Q_{расх.охл} + Q_{изд.вод.охл}$$

Расход воды для дополнительного охлаждения изделий

$$G_{изд.вод.охл} = \frac{Q_{изд.вод.охл}}{4{,}19 \cdot (t_{вых.вод} - t_{вх.вод})}\ ,\ кг/с$$

где: $t_{вых.вод}$ – тепло воды, уходящей из установки после орошения изделий,

$$t_{вых.вод} = t_{вых.изд} - (10 \div 15)\ ^oC$$

$t_{вх.вод}$ – температура воды, подаваемой на орошение изделий,

$$t_{вх.вод} = t_{воз} + (10 \div 15)\ ^oC$$

Удельный расход пара, затрачиваемый на $1м^3$ бетона в туннельной установке определятся по следующей формуле:

$$G_{уд.пар} = G_{уд.под} + G_{уд.из}\ ,\ \ кг/м^3\ бетона$$

Вертикальная пропарочная камера

Подача пара в вертикальную пропарочную камеру осуществляется только в зону изотермической выдержки. Нагрев и охлаждение изделий происходит за счет взаимного теплообмена между зонами изотермической выдержки, подогрева и охлаждения. Поэтому расчет теплового баланса осуществляют не по зонам, а в целом на рабочую камеру.

Расход тепла

Расход тепла на нагрев изделий

$$Q_{изд} = G_{уст} \cdot C_{изд} \cdot \left(t_{вых.изд} - t_{вх.изд}\right),\ кВт$$

где: $G_{уст}$ – секундная производительность установки,

$$G_{уст} = \frac{D_{уст} \cdot G_{сух.изд}}{3600},\ кг/с$$

$D_{уст}$ – часовая производительность одной установки, *штук/час*

$G_{сух.изд}$ – масса сухой части изделий, $G_{сух.изд} = (\rho_{изд} - B) \cdot V_{изд}$, *кг*

B – расход воды для затворения 1 $м^3$ бетонной смеси, 200*кг*

$V_{изд}$ – объем одного изделия, $м^3$

$\rho_{изд}$ – плотность изделий, $\rho_{изд} = \frac{G_{изд}}{V_{изд}}$, $кг/м^3$

$G_{изд}$ – масса одного изделия, *кг*

$C_{изд}$ – теплоемкость изделий, *кДж/(кг·°С)* (Приложение С)

$t_{вых.изд}$ – температура изделий, выгружаемых из установки,

$$t_{вых.изд} = t_{воз} + (35 \div 38),\ ^oC$$

$t_{воз}$ – температура окружающей среды, ^oC

$t_{вх.изд}$ – начальная температура изделий, загружаемых в установку, ^oC (принимается по условиям формования)

Расход тепла на нагрев воды затворения изделий

$$Q_{вод.изд} = 4{,}19 \cdot G_{вод.изд} \cdot \left(t_{вых.изд} - t_{вх.изд}\right),\ кВт$$

где: $G_{вод.изд}$ – масса воды, расходуемая на затворение бетона, *кг/секунд*

$$G_{вод.изд} = \frac{B \cdot V_{изд} \cdot D_{уст}}{3600},\ кг/с$$

Расход тепла на нагрев форм-вагонеток

$$Q_{форм} = G_{форм} \cdot C_{форм} \cdot \left(t_{вых.форм} - t_{вх.форм}\right),\ кВт$$

где: $G_{форм}$ – масса форм-вагонеток, $G_{форм} = (0{,}9 \div 1{,}2) \cdot G_{уст}$, *кг/с*

$C_{форм}$ – темлоемкость материала форм, *кДж/(кг·°С)* (Приложение С)

$t_{вых.форм}$ – температура форм-вагонеток, выгружаемых из установки,

$$t_{вых.форм} = t_{вых.изд} - (5 \div 10),\ ^oC$$

$t_{вх.форм}$ – температура форм-вагонеток, загружаемых в установку, ^oC (принимается равной температуре окружающей среды)

Расход тепла на испарение воды из изделий

$$Q_{вод.исп} = G_{вод.исп} \cdot I_{пар.скр},\ кВт$$

где: $G_{вод.исп}$ – масса воды, испаряющаяся при нагреве изделий, *кг*

$$G_{вод.исп} = (0{,}02 \div 0{,}03) \cdot G_{уст},\ кг/с$$

$I_{пар.исп}$ – скрытая теплота парообразования при $t_{бу.орт}$, *кДж/кг* (Приложение П)

$t_{ср}$ – средневзвешенная температура среды установки, ^oC

$$t_{ср} = \frac{\frac{\tau_{под} \cdot (t_{из} + t_{воз})}{2} + \tau_{под} \cdot t_{из}}{\tau_{под} + \tau_{из}},\ ^oC$$

$t_{из}$ – температура изотермической выдержки, ^oC

$\tau_{под}$ – время подогрева, *час*

$\tau_{из}$ – время изотермической выдержки, *час*

Суммарные потери тепла в окружающую среду через стенки зон подогрева, изотермической выдержки и ихлаждения

$$Q_{окр.ср} = q_{под} + q_{из} + q_{охл},\ кВт$$

где: $q_{под}$ – потери тепла через стенки зоны подогрева, *кВт*

$$q_{под} = 0{,}001 \cdot K_{стен.под} \cdot \left(t_{п.в.см} - t_{воз}\right) \cdot F_{стен.под},\ кВт$$

$K_{стен.под}$ – коэффициент теплопередачи стенки зоны подогрева,

$$K_{стен.под} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}},\ Вт/(м^2 \cdot ^oC)$$

δ – толщина слоя стенки, *м*

λ – теплопроводность материала слоя стенки, *Вт/(м·°С)*

α_1 – коэффициент теплоотдачи от паровоздушной смеси к внутренней поверхности стенки, $\alpha_1 = (110 \div 120)$, *Вт/(м²·°С)*

α_2 – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности стенки окружающему воздуху, $\alpha_2 = (18 \div 20)$, *Вт/(м²·°С)*

$t_{п.в.см}$ – средняя температура паровоздушной смеси в зоне подогрева, ^oC

$$t_{п.в.см} = \frac{t_{из} + t_{воз}}{2}, \ ^oC$$

$F_{стен.под}$ – суммарная площадь стен зоны подогрева, $м^2$

$$F_{стен.под} = L_{кам} \cdot H_{под} + B_{кам} \cdot H_{под}, \ м^2$$

$q_{из}$ – потери тепла через стенки зоны изотермической выдержки,

$$q_{из} = 0{,}001 \cdot K_{стен.из} \cdot (t_{из} - t_{воз}) \cdot F_{стен.из}, \ кВт$$

$K_{стен.из}$ – коэффициент теплопередачи стенки зоны изотермической выдержки,

$$K_{стен.из} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \ Вт/(м^2 \cdot ^oC)$$

α_1 – коэффициент теплоотдачи от паровоздушной смеси к внутренней поверхности стенки, $\alpha_1 = (140 \div 160)$, $Вт/(м^2 \cdot ^oC)$

α_2 – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности стенки окружающему воздуху, $\alpha_2 = (20 \div 30)$, $Вт/(м^2 \cdot ^oC)$

$F_{стен.из}$ – суммарная площадь стен зоны изотермической выдержки, $м^2$

$$F_{стен.из} = 2 \cdot (L_{кам} \cdot H_{из} + B_{кам} \cdot H_{из}) + L_{кам} \cdot B_{кам}, \ м^2$$

$q_{охл}$ – потери тепла через стенки зоны охлаждения, $кВт$

$$q_{охл} = q_{под}, \ кВт$$

Потери тепла с вытекающими из камеры конденсатом

$$Q_{конд} = 4{,}19 \cdot G_{конд} \cdot t_{конд}, \ кВт$$

где: $G_{конд}$ – выход конденсата из установки, $кг/с$

величина равный расходу пара, подаваемый в установку $G_{конд} = G_{пар}$

(неизвестная величина, определяется в результате решения уравнение теплового баланса)

$t_{конд}$ – температура конденсата при выходе из камеры, $(40 \div 55)\ ^oC$

Суммарный расход тепла с учетом неучтенных потер тепла (10-15%)

$$Q_{расх} = (1{,}1 \div 1{,}15) \cdot (Q_{изд} + Q_{вод.изд} + Q_{форм} + Q_{вод.исп} + Q_{окр.ср} + Q_{конд}), \ кВт$$

Приход тепла

Тепло экзотермических реакций, протекающих при гидратации цемента

$$Q_{экз} = (0{,}4 \div 0{,}6) \cdot 0{,}0023 \cdot Q_{э.28} \cdot G_{цем} \cdot t_{ср} \cdot (\tau_{под} + \tau_{из}) \cdot \left(\frac{В}{Ц}\right)^{0{,}44}, \ кВт$$

где: $Q_{э.28}$ – тепло экзотермических реакций, выделяемое за 28 суток твердения, *кДж/кг* (принимается по таблице 1)

$G_{цем}$ – секундный расход цемента в изделиях, *кг/с*

$$G_{цем} = \frac{Ц \cdot V_{изд} \cdot D_{уст}}{3600}, \ кг/с$$

$Ц$ – масса цемента в 1 $м^3$ бетона, *кг*

$\left(\frac{В}{Ц}\right)$ – водоцементное отношение, вычисляется по формуле (Приложение О)

Тепло пара, подаваемого в установку

$$Q_{пар} = G_{пар} \cdot I_{пар}, \ кВт$$

где: $G_{пар}$ – расход пара, подаваемого в установку, *кг/с*
(неизвестная величина, определяется в результате решения уравнение теплового баланса)

$I_{пар}$ – энтальпия пара, подаваемого в перфорированные трубы при 100 ^oC, *кДж/кг* (Приложение П)

Суммарный приход тепла

$$Q_{пар} = Q_{экз} + Q_{пар}, \ кВт$$

Решением уравнения теплового баланса, приравнивая приходной и расходной части определяется количество пара $G_{пар}$.

Удельный расход пара, затрачиваемый на 1$м^3$ бетона в вертикальной пропарочной камере определятся по следующей формуле:

$$G_{уд.пар} = \frac{3600 \cdot G_{пар}}{V_{изд} \cdot D_{уст}}, \quad кг/м^3 \ бетона$$

4.9.9 Расчет гидравлической системы подачи пара тепловой установки

Цель гидравлического расчета – подбор оборудовани для подачи различных видов теплоносителей и отвода конденсата, а также расчет давления теплоносителя в системе.

В установках тепловлажностной обработки бетонных и железобетонных изделий используются следующие теплоносители.

Острый пар. Острый пар обеспечивает непосредственный нагрев бетонных и железобетонных изделий. Он подается через перфорированные трубы, расположенные по периметру или вдоль камеры. Расположение перфорированных труб определеяется конструкцией тепловой установки и тепловым режимом тепловлажностной обработки бетона. Давление пара на входе в рабочую камеру в установках, работающих при атмосферном давлении принимается в пределах $P_{вх} = (0{,}11 \div 1{,}2) МПа$. Температуры соответствующие этим давлениям определяются по таблице (Приложение П).

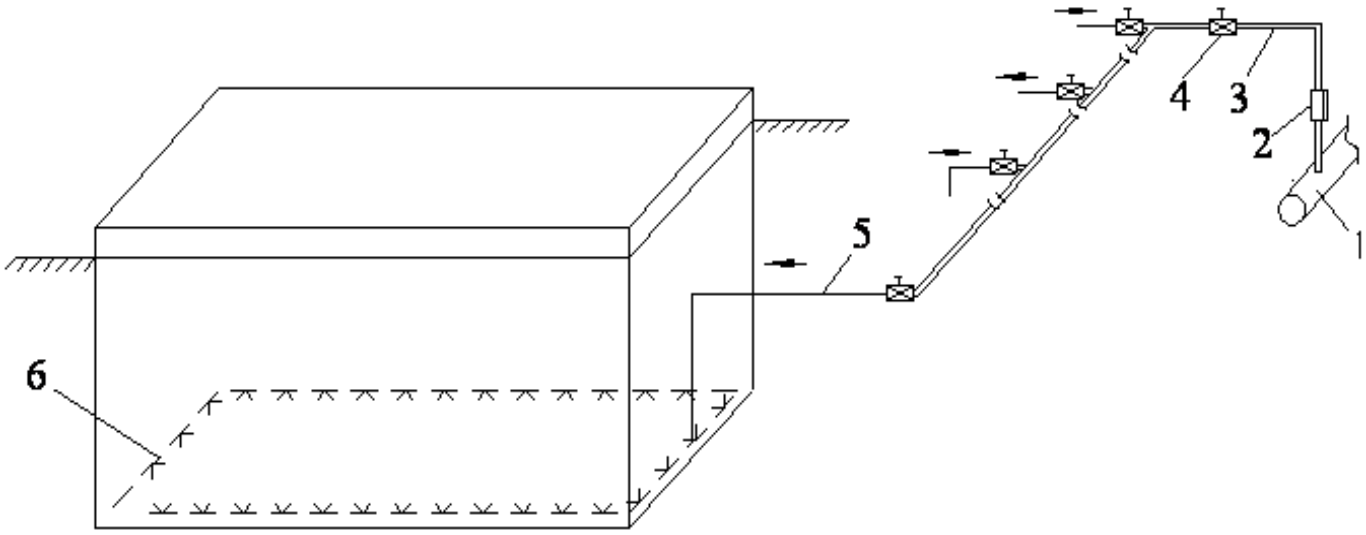
Глухой пар. Глухой пар обеспечивает нагрев бетонных и железобетонных изделий через теплопередающую поверхность. Он подается в теплообменники (регистры, калориферы) при температуре $t = (140 \div 150)^{o}C$. Давление пара при выбранной температуре определяется по таблице (Приложение П). Теплообменники устанавливаются на поду и боковых стенках камеры для обеспечения равномерности температурного поля поперечного сечения тепловой установки.

Паровоздушная смесь. Паровоздушная смесь обеспечивает непосредственный нагрев бетонных и железобетонных изделий при температуре ниже 100 ^{o}C. Паровоздушная смесь требуемой влажности и температуры подготавливается в калориферах и подается через завесу в начале зоны подогрева для предотвращения выбивания пара из установки и подсоса холодного воздуха в установку. Через завесы, установленные на границах зон изотермической выдержки и подогрева, изотермической выдержки и охлаждения. Паровоздушная смесь подается для разделения этих зон с целью снижения выбивания пара из зоны изотермической выдержки.

Установки периодического действия

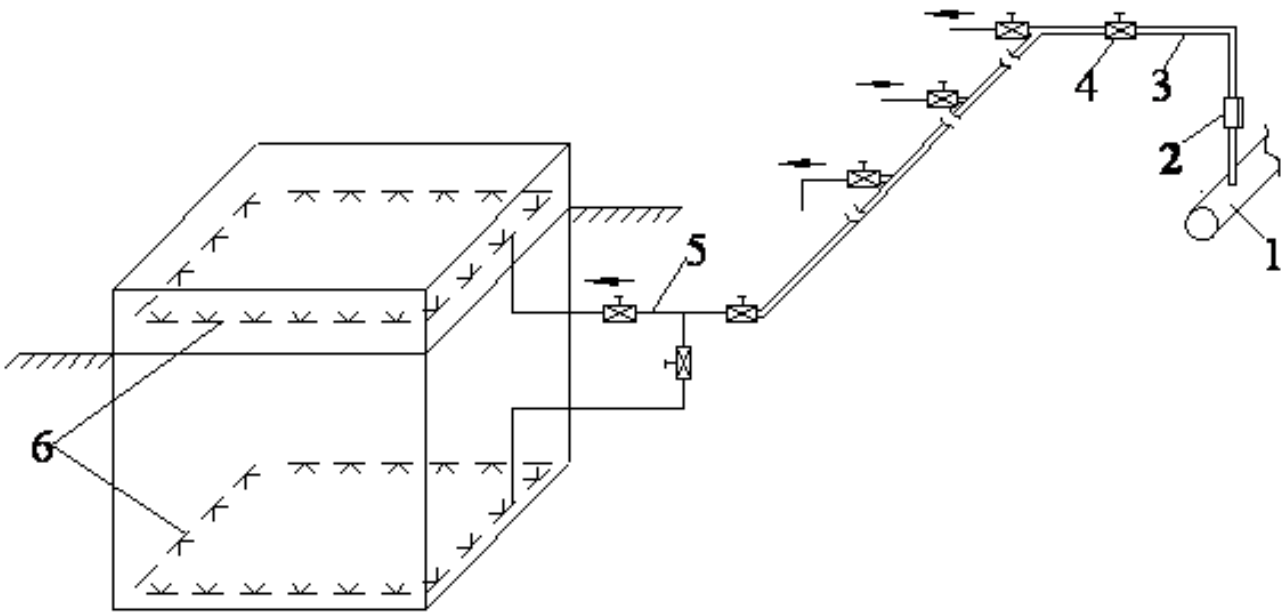
Ямная пропарочная камера

Для гидравлического расчета ямной пропарочной камеры предварительно составляется схема подачи пара в тепловую установку от магистрального паропровода с учетом количества одновременно работающих ямных камер, а также всех элементов схемы и размеров отдельных её участков в соответствии с рисунками 3 и 4.



1 – магистральный паропровод, *2* – дроссельная диафрагма, *3* – общий паропровод, *4* – вентиль, *5* – подводящий паропровод, *6* – нижная перфорированная труба

Рисунок 3. Схемы подачи пара в ямную камеру напорного типа



1 – магистральный паропровод, *2* – дроссельная диафрагма, *3* – общий паропровод, *4* – вентиль, *5* – подводящий паропровод, *6* – верхний и нижний перфорированные трубы

Рисунок 4. Схемы подачи пара в ямную камеру безнапорного типа

Гидравлический расчет общего паропровода

Расчет диаметра общего паропровода

$$d_{о.п.} = 3{,}5 \cdot \sqrt{\frac{G_{мах.пар}}{\omega_{пар} \cdot \rho_{пар}}}, \quad м$$

где: $G_{мах.пар}$ – максимальный расход пара, *кг/с*

$$G_{бу.мах} = \frac{G_{пар.под} \cdot \eta_{уст} \cdot \mu}{3600 \cdot \tau_{под}}, \quad кг/с$$

$G_{пар.под}$ – расход пара на тепловую обработку изделий в период подогрева, *кг/м³ бетона*

$\eta_{уст}$ – количество камер, одновременно работающих при максимальном расходе пара в период подогрева (округляется до целых чисел в сторону увеличения), *шт*

$$\eta_{уст} = \frac{\tau_{под} \cdot T_{уст}}{\tau_{ц}}, \ шт$$

$\tau_{под}$ – время периода подогрева, *час*

$T_{уст}$ – расчетное количество пропарочных камер, *шт*

$\tau_{ц}$ – продолжительность рабочего цикла установки, *час*

μ – коэффициент запаса производительности парового котла (1,15÷1,2)

$\omega_{пар}$ – скорость движения пара в трубопроводе, (20÷60) *м/с*

$\rho_{пар}$ – плотность пара, *кг/м³* (Приложение П)

Расчет линейного сопротивления общего паропровода

$$h_{л.с.} = R_{л.с.} \cdot \ell_{о.п.}, \quad Па$$

где: $R_{у.с.}$ – удельное сопротивление 1 погонного метра трубопровода, *Па*

$$R_{у.с.} = 0{,}29 \cdot K^{0{,}5} \frac{G^2_{мах.пар}}{\rho_{пар} \cdot d^{5{,}25}_{о.п.}}, \quad Па$$

K – коэффициент, учитывающей шероховатость внутренней поверхности стенки трубопровода, 0,0002

$\ell_{о.п.}$ – длина общего паропровода, *м* (принимается по конструктивным предположением оборудовании в производственных цехах проектируемого завода), *м*

Расчет местных сопротивлений общего паропровода

$$h_{м.с.} = R_{у.с.} \cdot \ell_{о.п.экв.}, \quad Па$$

где: $\ell_{о.п.экв}$ – эквивалентная длина общего паропровода, *м*

$$\ell_{о.п.экв} = 76{,}4 \cdot d_{о.п.}^{1{,}25} \cdot \sum \xi, \quad Па$$

$\sum \xi$ – суммарная величина коэффициентов местного сопротивления в общем паропроводе (Приложение У)

Общее сопротивление движению пара в общем паропроводе

$$h_{о.п.} = h_{л.с.} + h_{м.с.}, \quad Па$$

Гидравлический расчет подводящего паропровода

Расчет диаметра подводящего паропровода ямной камеры

$$d_{п.п.} = 3{,}5 \cdot \sqrt{\frac{G_{уст.пар}}{\omega_{пар} \cdot \rho_{пар}}}, \; м$$

где: $G_{уст.пар}$ – расход пара, подаваемого в камеру, *кг/с*

$$G_{уст.пар} = \frac{G_{мах.пар}}{\eta_{уст}}, \quad кг/с$$

Расчет сопротивлений подводящего паропровода проводится так же, как и для общего трубопровода.

Расчет линейного сопротивления подводящего паропровода

$$h_{л.с.} = R_{у.с.} \cdot \ell_{п.п.}, \quad Па$$

где: $R_{у.с.}$ – удельное сопротивление 1 погонного метра трубопровода, *Па*

$$R_{у.с.} = 0{,}29 \cdot K^{0{,}5} \frac{G_{уст.пар}^2}{\rho_{пар} \cdot d_{п.п.}^{5{,}25}}, \quad Па$$

$\ell_{п.п.}$ – длина подводящего паропровода, *м*

Расчет местных сопротивлений подводящего паропровода

$$h_{м.с.} = R_{у.с.} \cdot \ell_{п.п.экв.}, \quad Па$$

где: $\ell_{п.п.экв}$ – эквивалентная длина подводящего паропровода, *м*

$$\ell_{п.п.экв} = 76{,}4 \cdot d_{п.п.}^{1{,}25} \cdot \sum \xi, \quad Па$$

Общее сопротивление движению пара в подводящем паропроводе

$$h_{п.п.} = h_{л.с.} + h_{м.с.}, \quad Па$$

Гидравлический расчет перфорированной трубы

Количество отверстий в перфорированной трубе

$$n_{п.т.} = 1{,}272 \cdot \frac{\sum f}{d^2_{отв}}, \text{ штук (округляется до целых чисел в сторону увеличения)}$$

где: $\sum f$ – суммарная площадь отверстий, $мм^2$

$$\sum f = \frac{3600 \cdot G_{уст.пар}}{g_{пар}}, \quad мм^2$$

$g_{пар}$ – расход пара через 1 $мм^2$ отверстия, $кг/мм^2$

(зависит от давления пара в трубе и принимается по таблице 9)

$d_{отв}$ – диаметр отверстий, (2÷4)*мм*

Таблица 9

Зависимость расхода пара через отверстие от давления

$P_{пар}$, *МПа*	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,2
$g_{пар}$, $кг/мм^2$	0,26	0,49	0,59	0,68	0,76	0,82	0,87	1,02

Растояние между отверстиями в перфорированной трубе

$$S_{отв} = \frac{\ell_{п.т.}}{n_{п.т.}}, \quad мм$$

где: $\ell_{п.т.}$ – длина перфорированной трубы, *мм*

для ямной камеры напорного типа: $\ell_{п.т.} = 2 \cdot (L_{кам} + B_{кам})$, *мм*

для ямной камеры безнапорного типа: $\ell_{п.т.} = 4 \cdot (L_{кам} + B_{кам})$, *мм*

Расчет диаметра перфорированной трубы

$$d_{п.т.} = \frac{1{,}13 \cdot \sqrt{2 \cdot \sum f}}{1000}, \quad м$$

Расчет сопротивлений перфорированной трубы проводится так же, как и для общего трубопровода.

Расчет линейного сопротивления перфорированной трубы

$$h_{л.с.} = R_{у.с.} \cdot \ell_{п.т.}, \quad Па$$

где: $R_{у.с.}$ – удельное сопротивление 1 погонного метра трубопровода, *Па*

$$R_{у.с.} = 0{,}29 \cdot K^{0,5} \frac{G^2_{уст.пар}}{\rho_{пар} \cdot d^{5,25}_{п.т.}}, \quad Па$$

$\ell_{п.т.}$ – длина перфорированной трубы, *м*

Расчет местных сопротивлений перфорированной трубы

$$h_{м.с.} = R_{у.с.} \cdot \ell_{п.т.экв.}, \quad Па$$

где: $\ell_{п.т.экв}$ – эквивалентная длина перфорированной трубы, *м*

$$\ell_{п.т.экв} = 76{,}4 \cdot d_{п.т.}^{1{,}25} \cdot \sum \xi, \quad Па$$

Общее сопротивление движению пара в перфорированной трубе

$$h_{п.т.} = h_{л.с.} + h_{м.с.}, \quad Па$$

Необходимое давление пара в начале системы

$$P_{необ} = P_{вх} + 1{,}2 \cdot (h_{о.п.} + h_{п.п.} + h_{п.т.}) \cdot 10^{-6}, \quad МПа$$

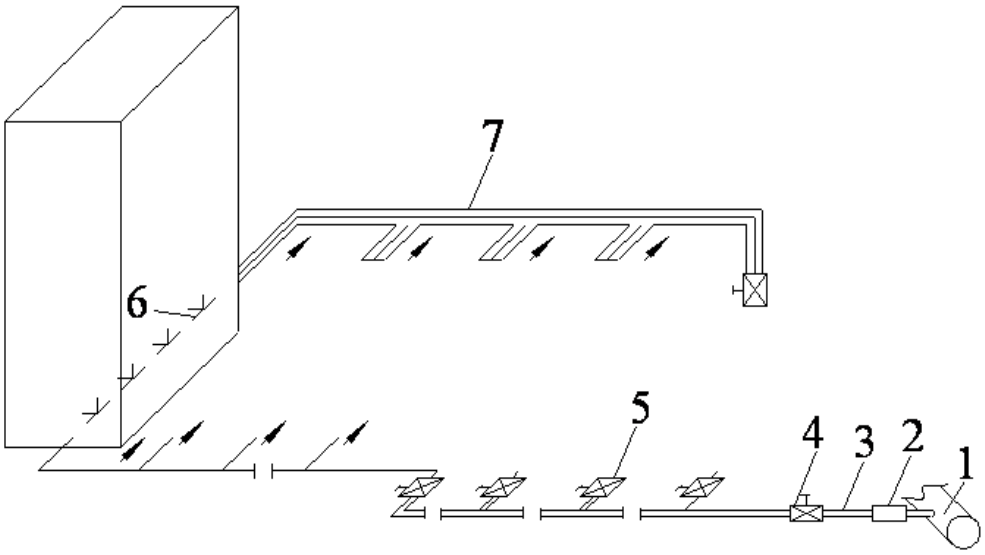
где: $P_{вх}$ – давление пара в перфорированной трубе перед входом в камеру, (0,12÷0,17) *МПа*

<u>Туннельная пропарочная камера</u>

Гидравлический расчет паропроводов туннельной пропарочной камеры периодического действия проводится по методике расчета паропроводов камеры ямного типа.

Кассетная установка

Для гидравлического расчета кассетной установки предварительно составляется схема подачи пара в кассетную установку от магистрального паропровода с учетом количества одновременно работающих установок, а также всех элементов схемы и размеров отдельных её участков в соответствии с рисунком 5.



1 – магистральный паропровод, *2* – дроссельная диафрагма, *3* – общий паропровод, *4* – вентиль, *5* – подводящий паропровод к кассетной установке, *6* – перфорированная труба, *7* – конденсатотводящая сеть

Рисунок 5. Схема подачи пара в кассетную установку

Гидравлический расчет паропроводов кассетной установки проводится по методике расчета паропроводов камеры ямного типа. Особенности приведены ниже.

Необходимое давление пара в начале системы

$$P_{необ} = P_{вх} + 1{,}2 \cdot (h_{о.п.} + h_{п.п.} + h_{п.т.} + h_{к.о.}) \cdot 10^{-6}, \quad МПа$$

где: $h_{к.о.}$ – сопротивление движению пара в конденсатотводящей сети, *Па*

Гидравлический расчет конденсатотводящей сети

Расчет диаметра конденсатоотвода

$d_{к.о.} = 0{,}5 \cdot d_{о.п.}$, *м* (для вертикальных участков)

$d_{к.о.} = 0{,}7 \cdot d_{о.п.}$, *м* (для горизонтальных участков)

где: $d_{о.п.}$ – диаметр общего паропровода, *м*

Расчет удельного сопротивления конденсатопровода (на 1 погонный метр)

$$R_{у.с.} = 0{,}223 \cdot \frac{G^2_{мах.пар}}{\rho_{п.к.см} \cdot d^{5{,}25}_{к.о.}}, \quad Па$$

где: $G_{мах.пар}$ – расход пара в системе, *кг/с*

$\rho_{п.к.см}$ – плотность пароконденсатной смеси, *кг/м*^{3}

$$\rho_{бу.кон} = \frac{\rho_{конд} - \rho_{пар}}{\varepsilon \cdot (\rho_{конд} - \rho_{п.в.см}) \cdot \rho_{пар}}, \; кг/м^3$$

$\rho_{пар}$ – плотность входящего пара, *кг/м*^{3} (Приложение П)

$\rho_{конд}$ – плотность жидкого конденсата, *кг/м*^{3}. Принимается равной плотности воды при температуре на 15÷25 ^oC ниже температуры входящего пара при давлении 0,12÷0,17 *МПа*, (Приложение Р)

$\rho_{п.в.см}$ – плотность паровоздушной смеси, *кг/м*^{3} (Приложение Х)

ε – доля паровоздушной смеси в конденсате $\varepsilon = \dfrac{t_{пар.п.п.} - t_{п.к.см}}{2968}$

$t_{пар.п.п.}$ – температура пара в подводящем паропроводе в зависимости от давления пара в паровых рубашках, ^oC

$t_{п.к.см}$ – температура пароконденсатной смеси,

$$t_{п.к.см} = t_{пар} - (15 \div 25), \; ^oC$$

$t_{пар}$ – температура пара в магистральном паропроводе, ^oC

Расчет сопротивление движению пара в конденсатотводящей сети

$$h_{к.о.} = R_{у.с.} \cdot \ell_{к.о.}, \quad Па$$

где: $\ell_{к.о.}$ – суммарная длина конденсатопровода, *м*

$$\ell_{к.о.} = \ell + \ell_{к.о.экв}$$

$\ell_{к.о.экв}$ – эквивалентная длина конденсатопровода, *м*

$$\ell_{к.о.экв} = 76{,}4 \cdot d^{1{,}25}_{к.о.} \cdot \sum \xi, \quad Па$$

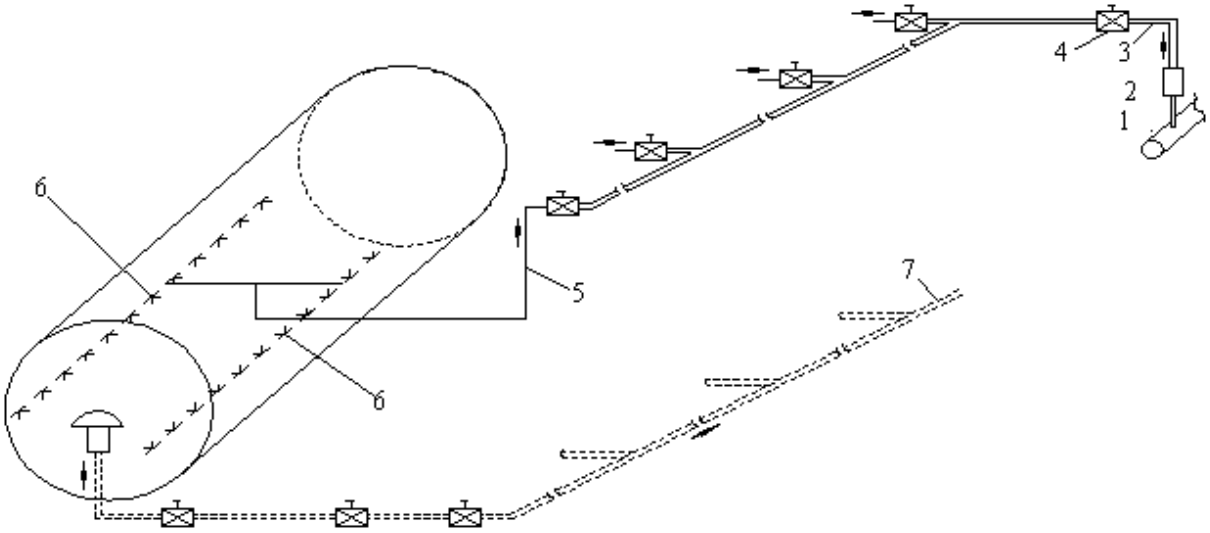
Термоформа

Гидравлический расчет паропроводов термоформы проводится по методике расчета паропроводов кассетной установки.

Автоклавная установка

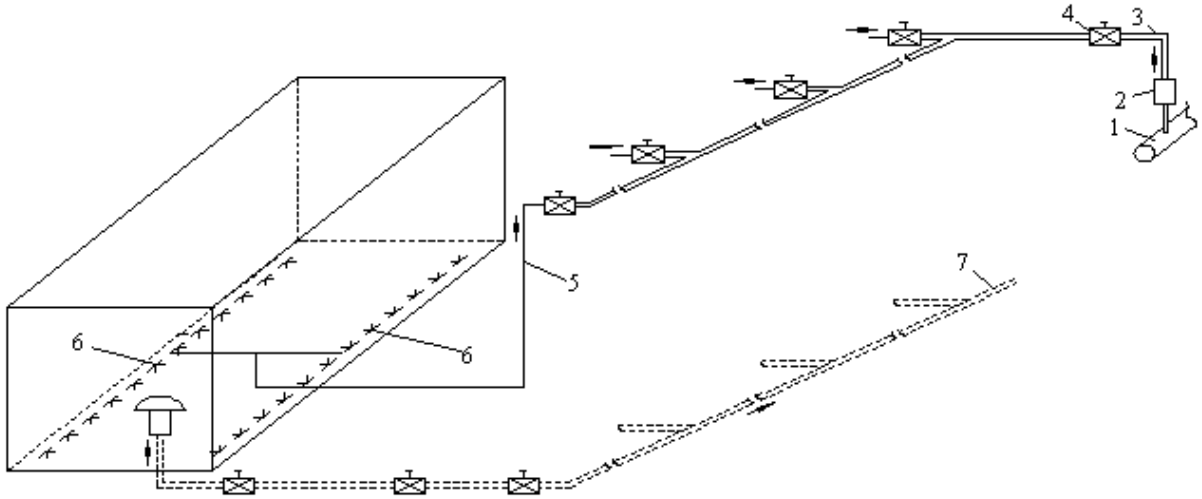
Автоклавы проходного типа с круглым и прямоугольным сечением

Для гидравлического расчета автоклава предварительно составляется схема подачи пара в установку от магистрального паропровода с учетом количества одновременно работающих установок, а также всех элементов схемы и размеров отдельных её участков в соответствии с рисунками 6 и 7.



1 – магистральный паропровод, *2* – дроссельная диафрагма, *3* – общий паропровод, *4* – вентиль, *5* – подводящий паропровод к установке, *6* – перфорированная труба, *7* – конденсатотводящая сеть

Рисунок 6. Схема подачи пара в цилиндрический автоклав с круглым сечением



1 – магистральный паропровод, *2* – дроссельная диафрагма, *3* – общий паропровод, *4* – вентиль, *5* – подводящий паропровод к установке, *6* – перфорированная труба, *7* – конденсатотводящая сеть

Рисунок 7. Схема подачи пара в горизонтальный автоклав с прямоугольным сечением

Гидравлический расчет общего паропровода

Расчет диаметра общего паропровода

$$d_{о.п.} = 3{,}5 \cdot \sqrt{\frac{G_{мах.пар}}{\omega_{пар} \cdot \rho_{пар}}}, \quad м$$

где: $G_{мах.пар}$ – максимальный расход пара, *кг/с*

$$G_{бу.мах} = \frac{G_{пар.под} \cdot \eta_{уст} \cdot \mu}{3600 \cdot \tau_{под}}, \quad кг/с$$

$G_{па.под}$ – расход пара на тепловую обработку изделий в период подогрева, *кг*

$\eta_{уст}$ – количество камер, одновременно работающих при максимальном расходе пара в период подогрева (округляется до целых чисел в сторону увеличения), *шт*

$$\eta_{уст} = \frac{\tau_{под} \cdot T_{уст}}{\tau_{ц}}, \ шт$$

$\tau_{под}$ – время периода подогрева, *час*

$T_{уст}$ – расчетное количество пропарочных камер, *шт*

$\tau_{ц}$ – продолжительность рабочего цикла установки, *час*

μ – коэффициент запаса производительности парового котла (1,15÷1,2)

$\omega_{пар}$ – скорость движения пара в трубопроводе, (40÷80) *м/с*

$\rho_{пар}$ – плотность пара при $(P_{ж.қ.} + 0{,}2)$ *МПа*, *кг/м*^{3} (Приложение П)

$P_{р.к.}$ – рабочее давление в автоклаве, *МПа*

Расчет линейного сопротивления общего паропровода

$$h_{л.с.} = R_{у.с.} \cdot \ell_{о.п.}, \quad Па$$

где: $R_{у.с.}$ – удельное сопротивление 1 погонного метра трубопровода, *Па*

$$R_{у.с.} = 0{,}29 \cdot K^{0{,}5} \frac{G^2_{мах.пар}}{\rho_{пар} \cdot d^{5{,}25}_{о.п.}}, \quad Па$$

K – коэффициент, учитывающей шероховатость внутренней поверхности стенки трубопровода, 0,0002

$\ell_{о.п.}$ – длина общего паропровода, *м* (принимается по конструктивным предположением оборудовании в производственных цехах проектируемого завода), *м*

Расчет местных сопротивлений общего паропровода

$$h_{м.с.} = R_{у.с.} \cdot \ell_{о.п.экв.}, \quad Па$$

где: $\ell_{о.п.экв}$ – эквивалентная длина общего паропровода, *м*

$$\ell_{о.п.экв} = 76{,}4 \cdot d_{о.п.}^{1,25} \cdot \sum \xi, \quad Па$$

$\sum \xi$ – суммарная величина коэффициентов местного сопротивления в общем паропроводе (Приложение У)

Общее сопротивление движению пара в общем паропроводе

$$h_{о.п.} = h_{л.с.} + h_{м.с.}, \quad Па$$

Гидравлический расчет подводящего паропровода

Расчет диаметра подводящего паропровода ямной камеры

$$d_{п.п.} = 3{,}5 \cdot \sqrt{\frac{G_{уст.пар}}{\omega_{пар} \cdot \rho_{пар}}}, \; м$$

где: $G_{уст.пар}$ – расход пара, подаваемого в камеру, *кг/с*

$$G_{уст.пар} = \frac{G_{мах.пар}}{\eta_{уст}}, \quad кг/с$$

Расчет сопротивлений подводящего паропровода проводится так же, как и для общего трубопровода.

Расчет линейного сопротивления подводящего паропровода

$$h_{л.с.} = R_{у.с.} \cdot \ell_{п.п.}, \quad Па$$

где: $R_{у.с.}$ – удельное сопротивление 1 погонного метра трубопровода, *Па*

$$R_{у.с.} = 0{,}29 \cdot K^{0,5} \frac{G_{уст.пар}^2}{\rho_{пар} \cdot d_{п.п.}^{5,25}}, \quad Па$$

$\ell_{п.п.}$ – длина подводящего паропровода, *м*

Расчет местных сопротивлений подводящего паропровода

$$h_{п.п.} = R_{у.с.} \cdot \ell_{п.п.экв.}, \quad Па$$

где: $\ell_{п.п.экв}$ – эквивалентная длина подводящего паропровода, *м*

$$\ell_{п.п.экв} = 76{,}4 \cdot d_{п.п.}^{1,25} \cdot \sum \xi, \quad Па$$

Общее сопротивление движению пара в подводящем паропроводе

$$h_{п.п.} = h_{л.с.} + h_{м.с.}, \quad Па$$

Гидравлический расчет перфорированной трубы

Количество отверстий в перфорированной трубе

$$n_{п.т.} = \frac{\sum f}{d^2_{отв}}, \text{ штук (округляется до целых чисел в сторону увеличения)}$$

где: $\sum f$ – суммарная площадь отверстий, $\sum f = \frac{G_{пар.п.т.}}{g_{пар}}$ *мм*^{2}

$G_{пар.п.т.}$ – расход пара в перфорированной трубе, *кг/ч*

$$G_{пар.п.т.} = \frac{3600 \cdot G_{уст.пар}}{2}, \text{ кг/ч}$$

$g_{пар}$ – расход пара через 1 *мм*^{2} отверстия, *кг/мм*^{2}

(зависит от давления пара в трубе и принимается по таблице 10)

$d_{отв}$ – диаметр отверстий, (2÷4)*мм*

Таблица 10

Зависимость расхода пара через отверстие от давления

$P_{пар}$, *МПа*	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
$g_{пар}$, *мм*^{2}	2,98	3,92	4,88	5,82	6,76	7,72	8,66	9,60

Растояние между отверстиями в перфорированной трубе

$$S_{отв} = \frac{\ell_{п.т.}}{n_{п.т.}}, \text{ мм}$$

где: $\ell_{п.т.}$ – длина перфорированной трубы, $\ell_{п.т.} = L_{кам}$, *мм*

$L_{кам}$ – длина рабочей камеры автоклава, *мм*

Расчет диаметра перфорированной трубы

$$d_{п.т.} = \frac{1{,}13 \cdot \sqrt{2 \cdot \sum f}}{1000}, \text{ м}$$

Расчет сопротивлений перфорированной трубы проводится так же, как и для общего трубопровода.

Расчет линейного сопротивления перфорированной трубы

$$h_{л.с.} = R_{у.с.} \cdot \ell_{п.т.}, \text{ Па}$$

где: $R_{у.с.}$ – удельное сопротивление 1 погонного метра трубопровода, *Па*

$$R_{у.с.} = 0{,}29 \cdot K^{0,5} \frac{G^2_{уст.пар}}{\rho_{пар} \cdot d^{5,25}_{п.т.}}, \text{ Па}$$

$\ell_{п.т.}$ – длина перфорированной трубы, *м*

Расчет местных сопротивлений перфорированной трубы

$$h_{м.с.} = R_{у.с.} \cdot \ell_{п.т.экв.}, \quad Па$$

где: $\ell_{п.т.экв}$ – эквивалентная длина перфорированной трубы, *м*

$$\ell_{п.т.экв} = 76{,}4 \cdot d_{п.т.}^{1{,}25} \cdot \sum \xi, \quad Па$$

Общее сопротивление движению пара в перфорированной трубе

$$h_{п.т.} = h_{л.с.} + h_{м.с.}, \quad Па$$

Гидравлический расчет конденсатотводящей сети

Расчет диаметра конденсатоотвода

$d_{к.о.} = 0{,}5 \cdot d_{о.п.}$, *м* (для вертикальных участков)
$d_{к.о.} = 0{,}7 \cdot d_{о.п.}$, *м* (для горизонтальных участков)

где: $d_{о.п.}$ – диаметр общего паропровода, *м*

Расчет удельного сопротивления конденсатопровода (на 1 погонный метр)

$$R_{у.с.} = 0{,}223 \cdot \frac{G_{мах.пар}^2}{\rho_{п.к.см} \cdot d_{к.о.}^{5{,}25}}, \quad Па$$

где: $G_{мах.пар}$ – расход пара в системе, *кг/с*

$\rho_{п.к.см}$ – плотность пароконденсатной смеси, *кг/м*^{3}

$$\rho_{п.к.см} = \frac{\rho_{конд} \cdot \rho_{п.в.см}}{\varepsilon \cdot (\rho_{конд} - \rho_{п.в.см}) + \rho_{п.в.см}}, \text{ кг/м}^3$$

$\rho_{конд}$ – плотность конденсата, равна плотности воды в конце конденсатоотвода при температуре 100 ^oC, *кг/м*^{3} (Приложение Р)

$\rho_{п.в.см}$ – плотность паровоздушной смеси, равна плотности пара при рабочем давлении автоклава ($P_{р.к.}$, *МПа)*, *кг/м*^{3} (Приложение Т)

ε – объемная доля доля паровоздушной смеси в общем объеме пароконденсатной смеси

$$\varepsilon = \frac{I_{пар} - I_{конд}}{I_{пар.скр}}$$

$I_{пар}$ – энтальпия пара в подводящем паропроводе при рабочем давлении автоклава ($P_{р.к.}$, *МПа*), *кДж/кг* (Приложение Т)

$I_{конд}$ – энтальпия конденсата в конце конденсатоотвода ($P_{р.к.}$, *МПа*), *кДж/кг* (Приложение Т)

$I_{пар.скр}$ – скрытая энтальпия парообразования при рабочем давлении автоклава ($P_{р.к.}$, *МПа*), *кДж/кг* (Приложение Т)

Расчет сопротивление движению пара в конденсатотводящей сети

$$h_{к.о.} = R_{у.с.} \cdot \ell_{к.о.}, \quad Па$$

где: $\ell_{к.о.}$ – суммарная длина конденсатопровода, *м*

$$\ell_{к.о.} = \ell + \ell_{к.о.экв}$$

$\ell_{к.о.экв}$ – эквивалентная длина конденсатопровода, *м*

$$\ell_{к.о.экв} = 76{,}4 \cdot d_{к.о.}^{1{,}25} \cdot \sum \xi, \quad Па$$

Необходимое давление пара в начале системы

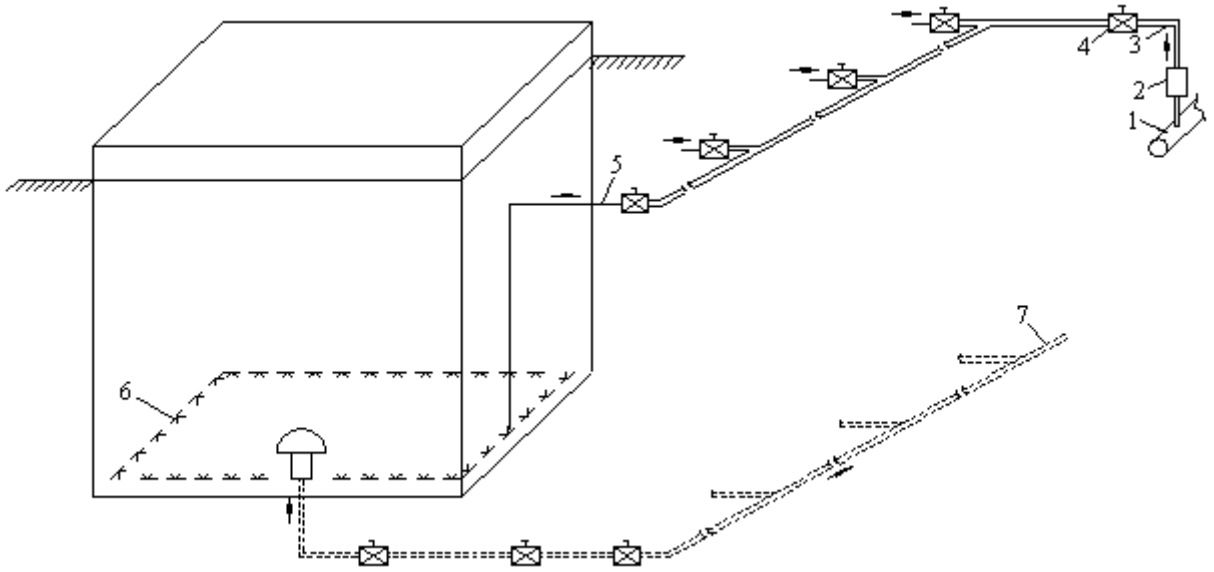
$$P_{необ} = P_{вх} + 1{,}2 \cdot (h_{о.п.} + \eta_{уст} \cdot h_{п.п.} + 2 \cdot \eta_{уст} \cdot h_{п.т.} + h_{к.о.}) \cdot 10^{-6}, \quad МПа$$

где: $P_{вх}$ – давление пара в перфорированной трубе перед входом в камеру,

$$P_{вх} = 0{,}2 + P_{р.к.}, \; МПа$$

<u>Прямоугольный автоклав ямного типа</u>

Для гидравлического расчета автоклава ямного типа предварительно составляется схема подачи пара в камеру от магистрального паропровода с учетом количества одновременно работающих камер, а также всех элементов схемы и размеров отдельных её участков в соответствии с рисунком 8.



1 – магистральный паропровод, *2* – дроссельная диафрагма, *3* – общий паропровод, *4* – вентиль, *5* – подводящий паропровод к установке, *6* – перфорированная труба, *7* – конденсатотводящая сеть

Рисунок 7. Схема подачи пара и отвода конденсата для прямоугольного автоклава ямного типа

Гидравлический расчет автоклава ямного типа проводится по методике расчета автоклавов цилиндрического типа и горизонтального проходного с прямоугольным сечением. Особенности приведены ниже.

Расчет расхода пара в перфорированной трубе

$$G_{пар.п.т.} = 3600 \cdot G_{уст.пар}\ ,\ кг/ч$$

Расчет длины перфорированной трубы

$$\ell_{п.т.} = 2 \cdot (L_{кам} + B_{кам})\ мм$$

Необходимое давление пара в начале системы

$$P_{необ} = P_{вх} + 1{,}2 \cdot (h_{о.п.} + \eta_{уст} \cdot h_{п.п.} + \eta_{уст} \cdot h_{п.т.} + h_{к.о.}) \cdot 10^{-6},\ МПа$$

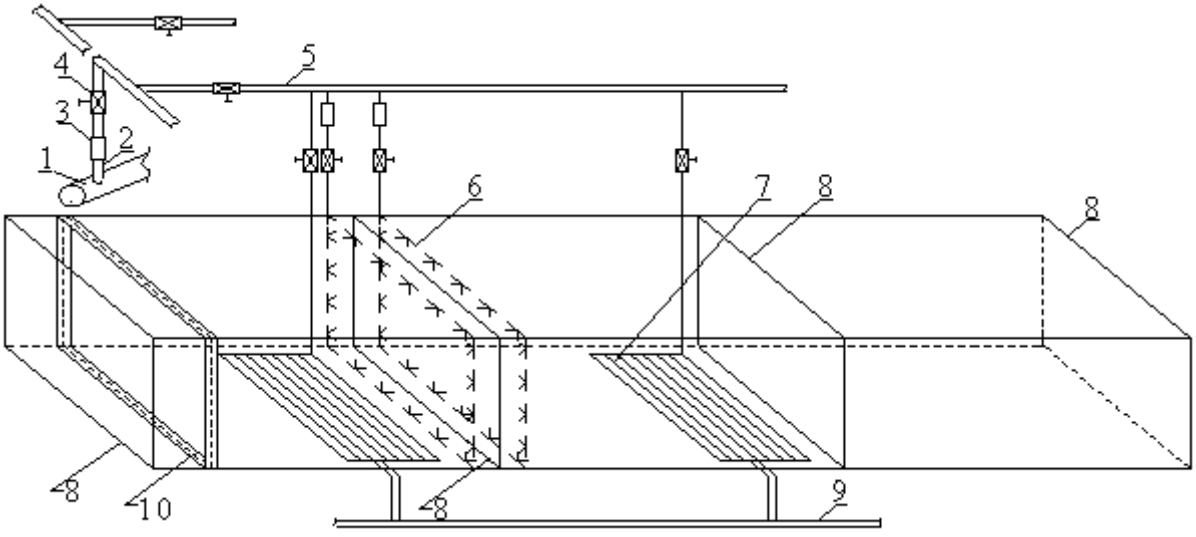
мұнда: $P_{вх}$ – тесікті бу беру құбыры арқылы камераға кіретін бу қысымы,

$$P_{вх} = 0{,}2 + P_{р.к.},\ МПа$$

Установки непрырывного действия

Туннельная пропарочная камера

Для проведения расчета предварительно вычерчивается схема подачи пара в туннельную установку от магистрального паропровода с учетом количества одновременно работающих установок, а также всех элементов схемы и размеров отдельных её участков в соответствии с рисунком 9.



1 – магистральный паропровод, *2* – общий паропровод, *3* – дроссельная диафрагма, *4* – вентиль, *5* – подводящий паропровод к установке, *6* – перфорированная труба, *7* – регистры, *8* – воздушная завеса, *9* – конденсатотводящая сеть, *10* – короб для отбора отработанной паровоздушной смеси

Рисунок 9. Схема подачи пара в туннельную установку

Гидравлический расчет общего паропровода

Расчет диаметра общего паропровода

$$d_{о.п.} = 3{,}5 \cdot \sqrt{\frac{G_{мах.пар}}{\omega_{пар} \cdot \rho_{пар}}}, \quad м$$

где: $G_{мах.пар}$ – максимальный расход пара, *кг/с*

$$G_{мах.пар} = \frac{G_{уд.пар} \cdot D_{уст} \cdot T_{уст} \cdot V_{изд} \cdot \mu}{3600}, \quad кг/с$$

$G_{уд.пар}$ – удельный расход пара, затрачиваемый на 1$м^3$ бетона в туннельной установке, *кг/$м^3$ бетона*

$D_{уст}$ – проектная часовая производительность одной установки по готовой продукции, *штук/час*

$T_{уст}$ – расчетное необходимое количество установок, *штук*

$V_{изд}$ – объем одного изделия, *$м^3$*

μ – коэффициент запаса производительности парового котла (1,15÷1,2)

$\omega_{пар}$ – скорость движения пара в трубопроводе, (60÷80) *м/с*

$\rho_{пар}$ – плотность пара при давлении пара ($P_{р.п.} + 0{,}02$, *МПа*), *кг/$м^3$* (Приложение П)

$P_{р.п.}$ – рабочее давление пара, подаваемого в теплообменники, *МПа*

Расчет линейного сопротивления общего паропровода

$$h_{л.с.} = R_{у.с.} \cdot \ell_{о.п.}, \quad Па$$

где: $R_{у.с.}$ – удельное сопротивление 1 погонного метра трубопровода, *Па*

$$R_{у.с.} = 0{,}29 \cdot K^{0{,}5} \frac{G^2_{мах.пар}}{\rho_{пар} \cdot d^{5{,}25}_{о.п.}}, \quad Па$$

K – коэффициент, учитывающей шероховатость внутренней поверхности стенки трубопровода, 0,0002

$\ell_{о.п.}$ – длина общего паропровода, *м* (принимается по конструктивным предположением оборудовании в производственных цехах проектируемого завода), *м*

Расчет местных сопротивлений общего паропровода

$$h_{м.с.} = R_{у.с.} \cdot \ell_{о.п.экв.}, \quad Па$$

где: $\ell_{о.п.экв}$ – эквивалентная длина общего паропровода, *м*

$$\ell_{о.п.экв} = 76{,}4 \cdot d^{1{,}25}_{о.п.} \cdot \sum \xi, \quad Па$$

$\sum \xi$ – суммарная величина коэффициентов местного сопротивления в общем паропроводе (Приложение У)

Общее сопротивление движению пара в общем паропроводе

$$h_{о.п.} = h_{л.с.} + h_{м.с.}, \quad Па$$

Гидравлический расчет подводящего паропровода

Расчет диаметра подводящего паропровода к туннельной установке

$$d_{п.п.} = 3{,}5 \cdot \sqrt{\frac{G_{уст.пар}}{\omega_{пар} \cdot \rho_{пар}}}, \quad м$$

где: $G_{уст.пар}$ – расход пара, подаваемого в камеру, *кг/с*

$$G_{уст.пар} = \frac{G_{мах.пар}}{T_{уст}}, \quad кг/с$$

Расчет сопротивлений подводящего паропровода проводится так же, как и для общего трубопровода.

Расчет линейного сопротивления подводящего паропровода

$$h_{л.с.} = R_{у.с.} \cdot \ell_{п.п.}, \quad Па$$

где: $R_{у.с.}$ – удельное сопротивление 1 погонного метра трубопровода, *Па*

$$R_{у.с.} = 0{,}29 \cdot K^{0{,}5} \frac{G^2_{уст.пар}}{\rho_{пар} \cdot d^{5{,}25}_{п.п.}}, \quad Па$$

$\ell_{п.п.}$ – длина подводящего паропровода, *м*

Расчет местных сопротивлений подводящего паропровода

$$h_{м.с.} = R_{у.с.} \cdot \ell_{п.п..экв.}, \quad Па$$

где: $\ell_{п.п.экв}$ – эквивалентная длина подводящего паропровода, *м*

$$\ell_{п.п.экв} = 76{,}4 \cdot d^{1{,}25}_{п.п.} \cdot \sum \xi, \quad Па$$

Общее сопротивление движению пара в подводящем паропроводе

$$h_{п.п.} = h_{л.с.} + h_{м.с.}, \quad Па$$

Гидравлический расчет перфорированной трубы

Расчет ведется отдельно для зон подогрева и изотермической выдержки. Общее сопротивление движению пара в рабочей камере установки складывается из суммарных величин сопротивления пара в перфорированной трубе, вычисленные отдельно для зон подогрева и изотермической выдержки.

$$h_{п.т.уст} = h_{п.т.под} + h_{п.т.из}, \quad Па$$

где: $h_{п.т.под}$ – общее сопротивление в перфорированной трубе в зоне подогрева, *Па*

$h_{п.т.из}$ – общее сопротивление в перфорированной трубе в зоне изотермической выдержки, *Па*

Расчет общего сопротивления в перфорированной трубе в зоне подогрева

Количество отверстий в перфорированной трубе в зоне подогрева

$$n_{п.т.} = 1{,}273 \cdot \frac{\sum f}{d^2_{отв}}, \text{ штук (округляется до целого числа в сторону увеличения)}$$

где: $\sum f$ – суммарная площадь отверстий, $мм^2$

$$\sum f = \frac{3600 \cdot G_{о.пар.под}}{g_{пар}}, \quad мм^2$$

$G_{о.пар.под}$ – расход пара в перфорированной трубе в зоне подогрева, *кг/с* (вычисленный при расчете теплового баланса зоны подогрева)

$g_{пар}$ – расход пара через 1 $мм^2$ отверстия, $кг/мм^2$ (зависит от давления пара в трубе и принимается по таблице 11)

$d_{отв}$ – диаметр отверстий, (2÷4)*мм*

Таблица 11

Зависимость расхода пара через отверстия от давления

$P_{р.к.}$, *МПа*	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,2
$g_{пар}$, $кг/мм^2$	0,26	0,49	0,59	0,68	0,76	0,82	0,87	1,02

Растояние между отверстиями в перфорированной трубе в зоне подогрева

$$S_{отв} = \frac{\ell_{п.т.}}{n_{п.т.}}, \quad мм$$

где: $\ell_{п.т.}$ – длина перфорированной трубы, *мм*

$$\ell_{п.т.} = 2 \cdot (H_{кам} + B_{кам}), \text{ мм}$$

Расстояние между отверстиями в перфорированной трубе должно быть в перделах $S_{отв} = (150 \div 200) мм$. При выходе значения $S_{отв}$ за указанные пределы, следует изменить принятое ранее значение диаметра отверстий $d_{отв}$.

Расчет диаметра перфорированной трубы в зоне подогрева

$$d_{п.т.} = \frac{1{,}13 \cdot \sqrt{2 \cdot \sum f}}{1000}, \quad м$$

Расчет сопротивлений перфорированной трубы проводится так же, как и для общего трубопровода.

Расчет линейного сопротивления перфорированной трубы в зоне подогрева

$$h_{л.с.} = R_{у.с.} \cdot \ell_{п.т.}, \quad Па$$

где: $R_{у.с.}$ – удельное сопротивление 1 погонного метра трубопровода, *Па*

$$R_{у.с.} = 0{,}29 \cdot K^{0,5} \frac{G^2_{уст.пар}}{\rho_{пар} \cdot d^{5,25}_{п.т.}}, \quad Па$$

Расчет местных сопротивлений перфорированной трубы в зоне подогрева

$$h_{м.с.} = R_{у.с.} \cdot \ell_{п.т.экв.}, \quad Па$$

где: $\ell_{п.т.экв}$ – эквивалентная длина перфорированной трубы, *м*

$$\ell_{п.т.экв} = 76{,}4 \cdot d^{1,25}_{п.т.} \cdot \sum \xi, \quad Па$$

Общее сопротивление движению пара в перфорированной трубе

$$h_{п.т.под} = h_{л.с.} + h_{м.с.}, \quad Па$$

<u>Расчет общего сопротивления в перфорированной трубе в зоне изотермической выдержки</u>

Количество отверстий в перфорированной трубе в зоне изотермической выдержки

$n_{п.т.} = 1{,}273 \cdot \frac{\sum f}{d^2_{отв}}$, *штук* (округляется до целого числа в сторону увеличения)

где: $\sum f$ – суммарная площадь отверстий, $\sum f = \frac{3600 \cdot G_{о.пар.из}}{g_{пар}}$, $мм^2$

$G_{о.пар.из}$ – расход пара в перфорированной трубе в зоне изотермической выдержки, *кг/с* (вычисленный при расчете теплового баланса зоны изотермической выдержки)

$g_{пар}$ – расход пара через 1 *мм*^{2} отверстия, *кг/мм*^{2}
(принимается по таблице 11)
$d_{отв}$ – диаметр отверстий, (2÷4)*мм*

Растояние между отверстиями в перфорированной трубе в зоне изотермической выдержки

$$S_{отв} = \frac{\ell_{п.т.}}{n_{п.т.}}, \quad мм$$

где: $\ell_{п.т.}$ – длина перфорированной трубы, *мм*

$$\ell_{п.т.} = 2 \cdot (H_{кам} + B_{кам}), \, мм$$

Расстояние между отверстиями в перфорированной трубе должно быть в перделах $S_{отв} = (150 \div 200)\, мм$. При выходе значения $S_{отв}$ за указанные пределы, следует изменить принятое ранее значение диаметра отверстий $d_{отв}$.

Расчет диаметра перфорированной трубы в зоне изотермической выдержки

$$d_{п.т.} = \frac{1{,}13 \cdot \sqrt{2 \cdot \sum f}}{1000}, \quad м$$

Расчет линейного сопротивления перфорированной трубы в зоне изотермической выдержки

$$h_{л.с.} = R_{у.с.} \cdot \ell_{п.т.}, \quad Па$$

где: $R_{у.с.}$ – удельное сопротивление 1 погонного метра трубопровода, *Па*

$$R_{у.с.} = 0{,}29 \cdot K^{0,5} \frac{G^2_{уст.пар}}{\rho_{пар} \cdot d^{5,25}_{п.т.}}, \quad Па$$

Расчет местных сопротивлений перфорированной трубы в зоне изотермической выдержки

$$h_{м.с.} = R_{у.с.} \cdot \ell_{п.т.экв.}, \quad Па$$

где: $\ell_{т.б.экв}$ – эквивалентная длина перфорированной трубы, *м*

$$\ell_{п.т.экв} = 76{,}4 \cdot d^{1,25}_{п.т.} \cdot \sum \xi, \quad Па$$

Общее сопротивление движению пара в перфорированной трубе

$$h_{п.т.из} = h_{л.с.} + h_{м.с.}, \quad Па$$

Гидравлический расчет системы пароконденсатной смеси

Расчет ведется отдельно для зон подогрева и изотермической выдержки. Общее сопротивление складывается из расчета сопротивлений подвода пара и отвода пароконденсатной смеси суммарных величин сопротивления пара в перфорированной трубе, вычисленные отдельно для зон подогрева и изотермической выдержки.

$$h_{п.к.уст} = h_{п.к.под} + h_{п.к.из}, \quad Па$$

где: $h_{п.к.под}$ – общее сопротивление в системе подвода пара и отвода пароконденсатной смеси в зоне подогрева, *Па*

$h_{п.к.из}$ – общее сопротивление в системе подвода пара и отвода пароконденсатной смеси в зоне изотермической выдержки, *Па*

Расчет общего сопротивления в системе подвода пара и отвода пароконденсатной смеси в зоне подогрева

Расчет диаметра паропровода подвода пара к регистрам в зоне подогрева

$$d_{п.р.рег} = 3{,}5 \cdot \sqrt{\frac{G_{г.пар.под}}{\omega_{пар} \cdot \rho_{пар}}}, \quad м$$

где: $G_{г.пар.под}$ – расход пара в регистрах в зоне подогрева, *кг/с* (вычисленный при расчете теплового баланса зоны подогрева)

Расчет линейного сопротивления паропровода подвода пара к регистрам в зоне подогрева

$$h_{л.с.} = R_{у.с.} \cdot \ell_{п.р.под}, \quad Па$$

где: $R_{л.с.}$ – удельное сопротивление 1 погонного метра трубопровода, *Па*

$$R_{л.с.} = 0{,}29 \cdot K^{0{,}5} \frac{G^2_{г.пар.под}}{\rho_{пар} \cdot d^{5{,}25}_{п.р.рег}}, \quad Па$$

$\ell_{п.р.под}$ – длина паропровода подвода пара к регистрам, *м*

Расчет местных сопротивлений паропроводе подвода пара к регистрам в зоне подогрева

$$h_{м.с.} = R_{у.с.} \cdot \ell_{п.р..экв.}, \quad Па$$

где: $\ell_{п.р.экв}$ – эквивалентная длина паропровода подвода пара к регистрам, *м*

$$\ell_{п.р.экв} = 76{,}4 \cdot d^{1{,}25}_{п.р.рег} \cdot \sum \xi, \quad Па$$

Общее сопротивление паропроводе подвода пара к регистрам в зоне подогрева

$$h_{п.р.под} = h_{л.с.} + h_{м.с.}, \quad Па$$

Расчет диаметра паропровода регистров в зоне подогрева

$$d_{рег} = 0{,}7 \div 0{,}8 \cdot d_{п.р.рег}, \quad м$$

Расчет линейного сопротивления паропровода регистров в зоне подогрева

$$h_{л.с.} = R_{у.с.} \cdot \ell_{рег.под}, \quad Па$$

где: $R_{у.с.}$ – удельное сопротивление 1 погонного метра трубопровода, *Па*

$$R_{у.с.} = \frac{0{,}223 \cdot G^2_{г.пар.под}}{\rho_{п.к.см} \cdot d^{5{,}25}_{рег}}, \quad Па$$

$\rho_{п.к.см}$ – плотность пароконденсатной смеси, *кг/м*^{3}

$$\rho_{п.к.см} = \frac{\rho_{пар} \cdot \rho_{конд}}{\varepsilon \cdot (\rho_{конд} - \rho_{пар}) + \rho_{пар}}, \quad кг/м^3$$

$\rho_{пар}$ – плотность пара при входе в регистры, *кг/м*^{3}

$\rho_{конд}$ – плотность конденсата, равна плотности воды при температуре $t_{вых.рег}$, *кг/м*^{3} (Приложение П)

ε – доля пара в общей массе пароконденсатной смеси, *кг пара/кг смеси*

$$\varepsilon = \frac{I_{вх.пар} - I_{вых.пар}}{I_{пар.скр}}, \quad кг\ пара/кг\ смеси$$

$I_{вх.пар}$ – энтальпия пара при температуре $t_{вх.рег}$, *кДж/кг* (Приложение П)

$I_{вых.пар}$ –энтальпия конденсата при температуре $t_{вых.рег}$, *кДж/кг* (Приложение П)

$I_{пар.скр}$ – скрытая энтальпия парообразования при температуре $t_{вых.рег}$, *кДж/кг* (Приложение П)

$\ell_{рег.под}$ – длина паропровода регистра, *м*

$$\ell_{рег.под} = \frac{F_{п.р.под}}{\pi \cdot d_{рег}}, \quad м$$

$F_{п.р.под}$ – суммарная площадь регистров в зоне подогрева, *м*^{2}

$$F_{п.р.под} = \frac{Q_{г.пар.под}}{K_{рег} \cdot (t_{вх.рег} - t_{вых.рег})}, \quad м^2$$

$Q_{г.пар.под}$ – тепло, поступающее с паром через регистры, *кВт* (вычисленный при расчете теплового баланса зоны подогрева)

$K_{рег}$ – коэффициент теплопередачи регистров, $K_{рег} = 1{,}67\ Вт/(м^2 \cdot {}^oC)$

$t_{вх.рег}$ – температура пара, входящего в регистры, $t_{вх.рег} = (140 \div 150)\ ^oC$

$t_{вых.рег}$ – температура пароконденсатной смеси, уходящей в конденсатоотвод, $t_{вых.рег} = (50 \div 60)\ ^oC$

Расчет местных сопротивлений паропровода регистров в зоне подогрева

$$h_{м.с.} = R_{у.с.} \cdot \ell_{рег.под.экв.}, \quad Па$$

где: $\ell_{рег.под.экв}$ – эквивалентная длина паропровода регистров, *м*

$$\ell_{рег.под.экв} = 76{,}4 \cdot d_{рег}^{1,25} \cdot \sum \xi, \quad Па$$

Общее сопротивление паропровода регистров в зоне подогрева

$$h_{рег.под} = h_{л.с.} + h_{м.с.}, \quad Па$$

Общее сопротивление в системе подвода пара и отвода пароконденсатной смеси в зоне подогрева

$$h_{п.к.под} = h_{п.р.под} + h_{рег.под}, \quad Па$$

Расчет общего сопротивления в системе подвода пара и отвода пароконденсатной смеси в зоне изотермической выдержки

Расчет диаметра паропровода подвода пара к регистрам в зоне изотермической выдержки

$$d_{п.р.рег} = 3{,}5 \cdot \sqrt{\frac{G_{г.пар.из}}{\omega_{пар} \cdot \rho_{пар}}}, \quad м$$

где: $G_{г.пар.из}$ – расход пара в регистрах в зоне изотермической выдержки, *кг/с* (вычисленный при расчете теплового баланса зоны изотермической выдержки)

Расчет линейного сопротивления паропровода подвода пара к регистрам в зоне изотермической выдержки

$$h_{л.с.} = R_{у.с.} \cdot \ell_{п.р.из}, \quad Па$$

где: $R_{у.с.}$ – удельное сопротивление 1 погонного метра трубопровода, *Па*

$$R_{у.с.} = 0{,}29 \cdot K^{0,5} \frac{G_{г.пар.из}^2}{\rho_{пар} \cdot d_{п.р.рег}^{5,25}}, \quad Па$$

$\ell_{п.р.из}$ – длина паропровода подвода пара к регистрам, *м*

Расчет местных сопротивлений паропроводе подвода пара к регистрам в зоне изотермической выдержки

$$h_{м.с} = R_{у.с.} \cdot \ell_{п.р.экв.}, \quad Па$$

где: $\ell_{п.р.экв}$ – эквивалентная длина паропровода подвода пара к регистрам, *м*

$$\ell_{п.р.экв} = 76{,}4 \cdot d_{п.р.рег}^{1,25} \cdot \sum \xi, \quad Па$$

Общее сопротивление паропроводе подвода пара к регистрам в зоне изотермической выдержки

$$h_{п.р.из} = h_{л.с} + h_{м.с.}, \quad Па$$

Расчет диаметра паропровода регистров в зоне изотермической выдержки

$$d_{рег} = 0{,}7 \div 0{,}8 \cdot d_{п.р.рег}, \quad м$$

Расчет линейного сопротивления паропровода регистров в зоне изотермической выдержки

$$h_{л.с.} = R_{у.с.} \cdot \ell_{рег.из}, \quad Па$$

где: $R_{л.с.}$ – удельное сопротивление 1 погонного метра трубопровода, *Па*

$$R_{у.с.} = \frac{0{,}223 \cdot G_{п.р.из}^2}{\rho_{п.к.см} \cdot d_{рег}^{5,25}}, \quad Па$$

$\ell_{рег.из}$ – длина паропровода регистра, *м*

$$\ell_{рег.из} = \frac{F_{п.р.из}}{\pi \cdot d_{рег}}, \; м$$

$F_{п.р.из}$ – суммарная площадь регистров в зоне изотермической выдержки, $м^2$

$$F_{п.р.из} = \frac{Q_{г.пар.из}}{K_{рег} \cdot (t_{вх.рег} - t_{вых.рег})}, \; м^2$$

$Q_{г.пар.из}$ – тепло, поступающее с паром через регистры, *кВт*
(вычисленный при расчете теплового баланса зоны изотермической выдержки)

Расчет местных сопротивлений паропровода регистров в зоне изотермической выдержки

$$h_{м.с.} = R_{у.с.} \cdot \ell_{рег.из.экв.}, \quad Па$$

где: $\ell_{рег.из.экв}$ – эквивалентная длина паропровода регистров, *м*

$$\ell_{рег.из.экв} = 76{,}4 \cdot d_{рег}^{1,25} \cdot \sum \xi, \quad Па$$

Общее сопротивление паропровода регистров в зоне изотермической выдержки

$$h_{рег.из} = h_{л.с.} + h_{м.с.}, \quad Па$$

Общее сопротивление в системе подвода пара и отвода пароконденсатной смеси в зоне изотермической выдержки

$$h_{п.к.из} = h_{п.р.из} + h_{рег.из}, \quad Па$$

Гидравлический расчет системы конденсатоотвода

Расчет диаметра конденсатотвода

$d_{к.о.} = 0{,}5 \cdot d_{п.п.}$, *м* (для вертикальных участков)
$d_{к.о.} = 0{,}7 \cdot d_{п.п.}$, *м* (для горизонтальных участков)
где: $d_{п.п.}$ – диаметр подводящего паропровода к тепловой установке, *м*

Расчет удельного сопротивления конденсатоотвода

$$R_{у.с.} = 0{,}223 \cdot \frac{G_{уст.пар}^2}{\rho_{п.к.см} \cdot d_{к.о.}^{5,25}}, \quad Па$$

где: $G_{уст.пар}$ – расход пара, подаваемого в камеру, *кг/с*
$\rho_{п.к.см}$ – плотность пароконденсатной смеси, *кг/м*^{3}

Расчет линейного сопротивления конденсатоотвода

$$h_{л.с.} = R_{у.с.} \cdot \ell_{к.о.}, \quad Па$$

где: $\ell_{к.о.}$ – длина конденсатоотвода, *м*

Расчет местных сопротивлений конденсатоотвода

$$h_{м.с.} = R_{у.с.} \cdot \ell_{к.о.экв.}, \quad Па$$

где: $\ell_{к.о.экв}$ – эквивалентная длина конденсатоотвода, *м*

$$\ell_{к.о.экв} = 76{,}4 \cdot d_{к.о.}^{1,25} \cdot \sum \xi, \quad Па$$

$\sum \xi$ – суммарная величина коэффициентов местного сопротивления в конденсатоотводе (Приложение У)

Общее сопротивление конденсатоотвода

$$h_{к.о.уст} = h_{л.с.} + h_{м.с.}, \quad Па$$

Необходимое давление пара в начале системы

$$P_{необ} = P_{вх} + 1{,}4 \cdot \sum h_{сум}, \quad МПа$$

где: $P_{вх}$ – давление пара перед входом в систему, $P_{вх} = P_{р.п.} + 0{,}02$, *МПа*

$P_{р.п.}$ – давление пара в регистрах, *МПа* принимается при температуре $t_{вх.рег} = (140 \div 150)^{o}C$ (Приложение П)

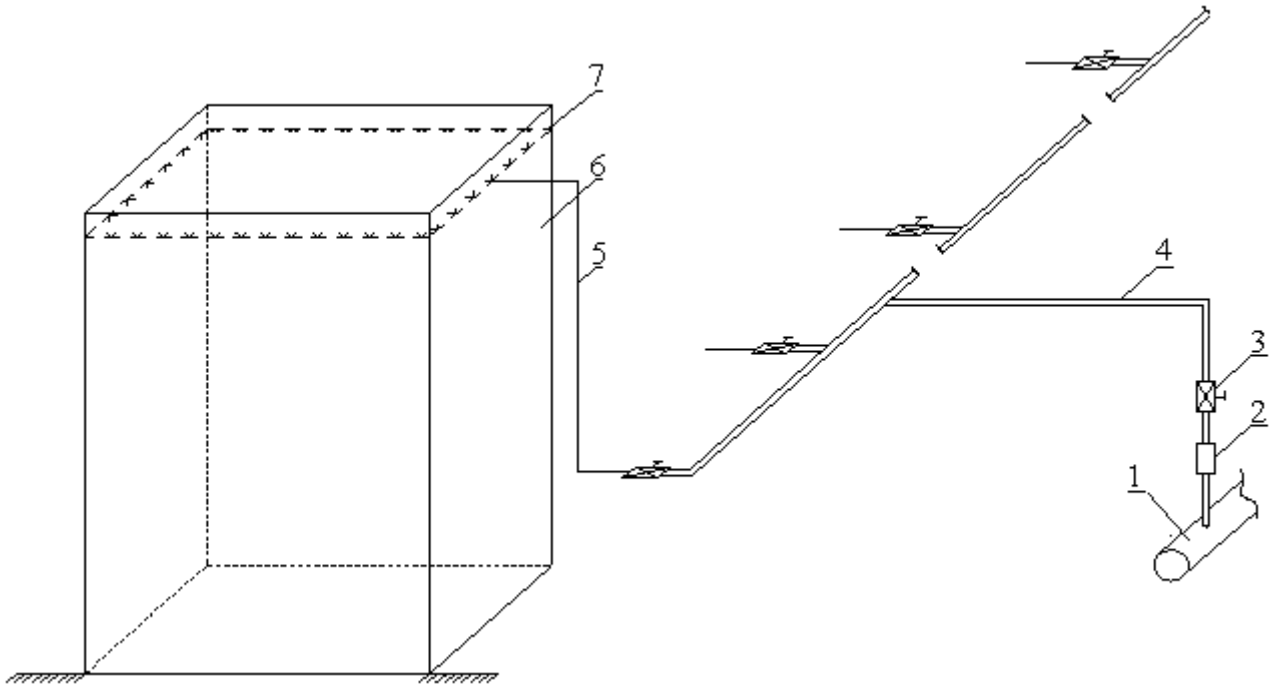
1,4 – коэффициент запаса, учитывающий потери напора в паровоздушных завесах и экстремальные ситуации

$\sum h_{сум}$ – суммарное сопротивление движению пара и пароконденсатной смеси в системе паровых труб и конденсатоотводах туннельной установки, *МПа*

$$\sum h_{сум} = \left(h_{о.п.} + T_{уст} \cdot (h_{п.п.} + h_{п.т.уст} + h_{п.к.уст} + h_{к.о.уст})\right) \cdot 10^{-6}, \quad МПа$$

Вертикальная пропарочная камера

Для проведения расчета предварительно вычерчивается схема подачи пара в вертикальную пропарочную камеру от магистрального паропровода с учетом количества одновременно работающих установок, а также всех элементов схемы и размеров отдельных её участков в соответствии с рисунком 10.



1 – магистральный паропровод, *2* – дроссельная диафрагма, *3* – вентиль, *4* –общий паропровод, *5* – подводящий паропровод к вертикальной пропарочной камере, *6* – вертикальная камера, *7* – перфорированная труба

Рисунок 10. Схема подачи пара в вертикальную пропарочную камеру

Гидравлический расчет общего паропровода

Расчет диаметра общего паропровода

$$d_{o.n.} = 3{,}5 \cdot \sqrt{\frac{G_{max.nap}}{\omega_{nap} \cdot \rho_{nap}}}, \quad м$$

где: $G_{max.nap}$ – максимальный расход пара, *кг/с*

$$G_{max.nap} = G_{nap} \cdot T_{ycm} \cdot \mu, \quad кг/с$$

G_{nap} – масса пара, подаваемого в камеру, *кг/с*
(вычисленный при расчете теплового баланса)

T_{ycm} – расчетное количество пропарочных камер, *шт*

μ – коэффициент запаса производительности парового котла (1,15÷1,2)

ω_{nap} – скорость движения пара в трубопроводе, (60÷80) *м/с*

ρ_{nap} – плотность пара, *кг/м*^{3} (Приложение П)

Расчет линейного сопротивления общего паропровода

$$h_{л.с.} = R_{у.с.} \cdot \ell_{о.п.}, \quad Па$$

где: $R_{у.с.}$ – удельное сопротивление 1 погонного метра трубопровода, *Па*

$$R_{у.с.} = 0{,}29 \cdot K^{0,5} \frac{G^2_{мах.пар}}{\rho_{пар} \cdot d^{5,25}_{о.п.}}, \quad Па$$

K – коэффициент, учитывающей шероховатость внутренней поверхности стенки трубопровода, 0,0002

$\ell_{о.п.}$ – длина общего паропровода, *м* (принимается по конструктивным предположением оборудовании в производственных цехах проектируемого завода), *м*

Расчет местных сопротивлений общего паропровода

$$h_{м.с.} = R_{у.с.} \cdot \ell_{о.п..экв.}, \quad Па$$

где: $\ell_{о.п..экв}$ – эквивалентная длина общего паропровода, *м*

$$\ell_{о.п.экв} = 76{,}4 \cdot d^{1,25}_{о.п.} \cdot \sum \xi, \quad Па$$

$\sum \xi$ – суммарная величина коэффициентов местного сопротивления в общем паропроводе (Приложение У)

Общее сопротивление движению пара в общем паропроводе

$$h_{о.п.} = h_{л.с.} + h_{м.с.}, \quad Па$$

Гидравлический расчет подводящего паропровода

Расчет диаметра подводящего паропровода

$$d_{п.п.} = 3{,}5 \cdot \sqrt{\frac{G_{уст.пар}}{\omega_{пар} \cdot \rho_{пар}}}, \ м$$

где: $G_{уст.пар}$ – расход пара, подаваемого в камеру, *кг/с*

$$G_{уст.пар} = \frac{G_{мах.пар}}{T_{уст}}, \quad кг/с$$

Расчет сопротивлений подводящего паропровода проводится так же, как и для общего трубопровода.

Расчет линейного сопротивления подводящего паропровода

$$h_{л.с.} = R_{у.с.} \cdot \ell_{п.п.}, \quad Па$$

где: $R_{у.с.}$ – удельное сопротивление 1 погонного метра трубопровода, *Па*

$$R_{у.с.} = 0{,}29 \cdot K^{0{,}5} \frac{G^2_{уст.пар}}{\rho_{пар} \cdot d^{5{,}25}_{п.п.}}, \quad Па$$

$\ell_{п.п.}$ – длина подводящего паропровода, *м*

Расчет местных сопротивлений подводящего паропровода

$$h_{п.п.} = R_{у.с.} \cdot \ell_{п.п.экв.}, \quad Па$$

где: $\ell_{п.п.экв}$ – эквивалентная длина подводящего паропровода, *м*

$$\ell_{п.п.экв} = 76{,}4 \cdot d^{1{,}25}_{п.п.} \cdot \sum \xi, \quad Па$$

Общее сопротивление движению пара в подводящем паропроводе

$$h_{п.п.} = h_{л.с.} + h_{м.с.}, \quad Па$$

Гидравлический расчет перфорированной трубы

Количество отверстий в перфорированной трубе

$n_{п.т.} = 1{,}273 \cdot \frac{\sum f}{d^2_{отв}}$, *штук* (округляется до целого числа в сторону увеличения)

где: $\sum f$ – суммарная площадь отверстий, *мм*^{2}

$$\sum f = \frac{3600 \cdot G_{п.т.}}{g_{пар}}, \quad мм^2$$

$G_{п.т.}$ – расход пара в перфорированной трубе, *кг/с*
(равна расходу пара, подаваемого в камеру $G_{уст.пар}$)

$g_{пар}$ – расход пара через 1 *мм*^{2} отверстия, *кг/мм*^{2}
(зависит от давления пара в трубе и принимается по таблице 11)

$d_{отв}$ – диаметр отверстий, (2÷4)*мм*

Растояние между отверстиями в перфорированной трубе

$$S_{отв} = \frac{\ell_{п.т.}}{n_{п.т.}}, \quad мм$$

где: $\ell_{п.т.}$ – длина перфорированной трубы, *мм*

$$\ell_{п.т.} = 2 \cdot (L_{кам} + B_{кам}), \, мм$$

Расстояние между отверстиями в перфорированной трубе должно быть в перделах $S_{отв} = (150 \div 200)\,мм$. При выходе значения $S_{отв}$ за указанные пределы, следует изменить принятое ранее значение диаметра отверстий $d_{отв}$.

Расчет диаметра перфорированной трубы в зоне подогрева

$$d_{п.т.} = \frac{1{,}13 \cdot \sqrt{2 \cdot \sum f}}{1000}, \quad м$$

Расчет сопротивлений перфорированной трубы проводится так же, как и для общего трубопровода.

Расчет линейного сопротивления перфорированной трубы

$$h_{л.с.} = R_{у.с.} \cdot \ell_{п.т.}, \quad Па$$

где: $R_{у.с.}$ – удельное сопротивление 1 погонного метра трубопровода, *Па*

$$R_{у.с.} = 0{,}29 \cdot K^{0,5} \frac{G_{п.т.}^2}{\rho_{пар} \cdot d_{п.т.}^{5,25}}, \quad Па$$

Расчет местных сопротивлений перфорированной трубы

$$h_{м.с.} = R_{у.с.} \cdot \ell_{п.т.экв.}, \quad Па$$

где: $\ell_{т.б.экв}$ – эквивалентная длина перфорированной трубы, *м*

$$\ell_{т.б.экв} = 76{,}4 \cdot d_{т.б.}^{1,25} \cdot \sum \xi, \quad Па$$

Общее сопротивление движению пара в перфорированной трубе

$$h_{п.т.} = h_{л.с.} + h_{м.с.}, \quad Па$$

Необходимое давление пара в начале системы

$$P_{необ} = P_{вх} + 1{,}2 \cdot \left(h_{о.п.} + T_{уст} \cdot (h_{п.п.} + h_{п.т.})\right) \cdot 10^{-6}, \quad МПа$$

где: $P_{вх}$ – давление пара перед входом в систему, *МПа*

$$P_{вх} = 0{,}12 МПа,$$

4.9.10 Подбор котлоагрегата

На основании предварительно проведенных гидравлических расчетов максимальной паропроизводительности ($G_{max.пар}$) и необходимого давления пара в начале системы ($P_{необ}$) подбирается рациональный вид котлоагрегата (Приложение Ф).

4.9.11 Безопасная эксплуатация, охрана труда и окружающей среды

При выполнении этой части курсового проекта студент должен указать правила техники безопасности при эксплуатации данного вида установки. Необходимо привести защитные и предохранительные устройства, для установок, работающих под давлением. Определить места расположения предупреждающих сигналов и плакатов.

Описываются основные методы рациональной эксплуатации, способы пуска и остановки тепловой установки. Студент должен привести санитарные нормы в цехе, где предполагается расположить проектируемый тепловой агрегат.

Исходя из ориентировочных данных по загазованности, запыленности, повышенной температуры и влажности, необходимо предусмотреть системы естественной или искусственной вентиляции и аспирации воздуха, указать места их расположения.

4.10 Заключение

В данном разделе приводятся основные технологические и теплотехнические параметры, полученные по результатам выполнения проекта.

Описывается сравнительная эффективность, приведенных параметров с анологичными данными действующих тепловых агрегатов и нормативными параметрами в технологии производства строительных материалов.

Приводятся отдельные предложения, связанные с внедрением в производство проектированного агрегата.

4.11 Список использованной литературы

Список должен содержать сведения об источниках, использованных при выполнении курсового проекта. Библиографические сведения об источниках приводятся в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1-2003 Сведения об источниках следует располагать в порядке появления ссылок на источники в тексте пояснительной записки и нумеровать арабскими цифрами с точкой.

4.12 Приложение

В приложение включаются материалы, связанные с выполнением курсового проекта, которые не вошли в основную часть пояснительной записки (материалы, полученные в ходе литературного обзора и патентного поиска, нормативные документы, графические эскизы и схемы тепловых установок, объемные таблицы и др.).

4.13 Графическая часть

Графическая часть проекта содержит план и разрезы проектируемого теплового агрегата в трех проекциях, выполненный в листе ватмана формата А1 в количестве 1...2 листов. Если все три проекции теплового агрегата полностью выполнены в 1 листе, то на 2 лист вычерчиваются отдельные детали и узлы, поясняющие конструкцию и принцип работы установки или новые конструктивные элементы, принятые по результатам патентных исследований, улучшающие качественные показателей теплового агрегата (повышение производительности установки и качества готовой продукции, улучшение условии теплообмена, снижение расхода теплоносителя и др.).

5 Оформление курсового проекта

Оформление курсового проекта должны соответствовать требованиям нормативного документа Южно-Казахстанского государственного университета им. М.Ауезова МИ ЮКГУ 7.14-2010 и государственных стандартов Республики Казахстан по оформлению документации.

Текстовая часть в пояснительной записке курсового проекта выполняется на одной стороне листа бумаги формата А4 (210х297мм) с применением ЭВМ. Шрифт – Times New Roman, обычный, кегль 14, межстрочный интервал – одинарный. Размер левого поля – 30мм, правого не менее – 10мм, размеры верхнего и нижнего полей – не менее 20мм. Абзацы в тексте начинают отступом, равным с четвертого знака текста (8мм).

В пояснительной записке в соответствии со структурой курсового проекта содержатся разделы и подразделы.

Разделы и подразделы являются основными структурными элементами проекта и каждый из них начинается с новой страницы с порядковым номером в соответствии с содержанием пояснительной записки. Наименование разделов и подразделов следует печатать с абзацного отступа с прописной буквы с полужирным шрифтом, не подчеркивая. В конце наименовании и порядкового номера разделов и подразделов точка не ставится. Межстрочный интервал между наименованием раздела и текстом должно быть равно – 2, а между подразделом и текстом – 1.

Страницы курсового проекта следует нумеровать по центру нижней части листа без точки, соблюдая сквозную нумерацию по всему тексту. Титульный

лист включается в общую нумерацию страниц, однако номер на титульном листе не проставляют.

Формулы следует выделять из текста в отдельную строку и между верхней и нижней части каждой формулы должно быть оставлено 1 интервал. Если формулы не умещается в одну строку, то оно должно быть перенесено после математических знаков («+», «–», «=» «:» и др.) в следующую строку, причем в начале следующей строки соответствующий знак повторяют. При написании формулы следует приводить пояснение значений символов непосредственно под формулой в той же последовательности, в которой они даны в формуле.

Пример:

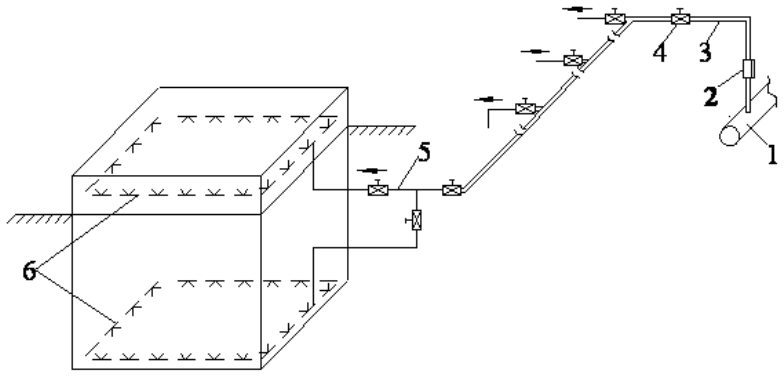
Длина термоформы определяется по формуле:

$$L = \ell_{изд} + (0{,}2 \div 0{,}3) = 5{,}5 + 0{,}25 = 5{,}75 \ , \ м$$

где: $\ell_{изд}$ – длина одного изделия, *м*

В тексте курсового проекта на все рисунки должны быть даны ссылки. Рисунки следует располагать в отдельную строку непосредственно после абзацного текста, в котором они упоминаются. Между верхней и нижней части каждого рисунка должно быть оставлено 1 интервал. Рисунки следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией перед их наименованием и распологают по середине строки после рисунка. Рисунок и его наименование должно быть на одной странице.

Пример:



1 – магистральный паропровод, *2* – дроссельная диафрагма, *3* – общий паропровод, *4* – вентиль, *5* – подводящий паропровод, *6* – верхний и нижний перфорированные трубы

Рисунок 1. Схемы подачи пара в ямную камеру безнапорного типа

В тексте курсового проекта на все таблицы также должны быть даны ссылки. Таблицы следует располагать в отдельную строку непосредственно после абзацного текста, в котором они упоминаются. Между верхней и нижней части каждый таблицы должно быть оставлено 1 интервал.

Таблицы следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Названия таблиц следует располагать после их нумераций над таблицей с абзацным отступом.

Пример:

Таблица 1

Теплоемкость влажного воздуха

$t_{в.в.}$, ^{o}C	50	60	70	80	90	100
$C_{в.в.}$, *кДж/(кг·^{o}C)*	4,65	6,63	8,93	12,38	18,16	26,76

Приложение выполняются на листах формата А4 и как продолжение пояснительной записки располагаются в конце на последующих ее страницах после списка использованных источников в порядке появления ссылок на них в тексте пояснительной записки.

Приложение с остальной частью пояснительной записки должны иметь общую сквозную номерацию страниц.

Каждое приложение следует начинать с новой страницы с указанием сверху посередине страницы слово «Приложение» и его обозначение. Приложение обозначают заглавными буквами русского алфавита, начиная с буквы «А».

Графическая часть проекта выполняется с помощью автокарандаша или с применением компьютерной программы AutoCAD, с соблюдением правил, установленные едиными стандартами конструкторской документации (ЕСКД) на ватмане формата А1 в определенном масштабе. Наиболее используемыми масштабами являются 1:50, 1:100, 1:200. Чертежи должны иметь рамку. Основная надпись на чертежах (штамп и спецификация) должны быть выполнены в правом нижнем углу на стандартных форматах по ГОСТ 2.301 с основной надписью по ГОСТ 2.104 (Приложение Ц)

Спецификацию, выполненного чертежа в соответствии с ГОСТ 2.108, для каждой сборочной единицы, эскизов, схемы, основных оборудований и др. составляют на отдельных листах формата А4 с помощью ЭВМ (Приложение Ч).

В курсовом проекте при обозначении основного конструкторского документа (графа 2, Приложение Ц) устанавливается следующая структура:

ЮКГУ 050730 – КП 001 ОФ

где: ЮКГУ – наименование организации;

050730 – шифр специальности;

КП – курсовой проект;

001 – порядковый номер задания проекта;

ОФ – очная форма обучения.

6 Литература

1. Прибытков И.А., Левицкий И.А. Теоретические основы теплотехники. М.: Академа, 2004. -345с.
2. Теплотехника. Под ред. В.Н. Луканина. М.: Высшая школа, 2006. -348с.
3. Основы теории тепловых процессов и машин. Часть 2. Под. Ред. Прокопенко С.П. М.: Академия, 2006. –272с.
4. Наназашвили И.Х. Строительные материалы, изделия и конструкции. Справочник. М.: Высшая школа, 2004. -306с.
5. Гуржий А.А., Огородников П.И. Теплотехника. Киев, изд. "Слово", 2003, -254с.
6. Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: ИАСВ, 2002. -435с.
7. Горбунов Г.И. Основы строительного материаловедения. М.: ИАСВ, 2002. -287с.
8. Микульский В.Г. и др. Строительные материалы (материаловедение и технология), учебное пособие. М.: ИАСВ, 2004. -265с.
9. Хрулев В.М. Технология и свойства композиционных материалов для строительства. Уфа. ТАУ, 2001. -168с.
10. Перегудов В.В. Теплотехника и теплотехническое оборудование. М.: Стройиздат, 1990. -336с.
11. Перегудов В.В., Роговой М.И. Тепловые процессы и установки в технологии строительных материалов и изделий. М.: Стройиздат, 1983, -416с.
12. Материаловедение в строительстве. Под ред. И.А.Рыбьева. М.: Издательский центр «Академия», 2006. -196с.
13. Баженов Ю.М., Комар А.Г. Технология бетонных и железобетонных изделий. М, 1984. -365с,
14. Ицкович С.М., Чумаков Л.Л., Баженов Ю.М. Технология заполнителей бетона. М.: Высшая школа, 1991. -234с.
15. Васильков С.Г. и др. Искусственные пористые заполнители и легкие бетоны на их основе. Справочное пособие под ред. Ю.П.Горлова. М.: Стройиздат, 1987. – 369с.
16. Марьямов Н.Б. тепловая обработка изделий на заводах сборного железобетона. М.: Стройиздат, 1970. -348с.
17. Вознесенский А.А. Тепловые установки. М.: Изд. по строительству, 1964. -387с.
18. Хавкин Л.М. Технология силикатного кирпича. М.: Стройиздат, 1982. -383с.
19. Роговой М.И., Кондакова М.Н., Сагановский М.Н. Расчеты и задачи по теплотехническому оборудованию предприятий ПСМ. М.: Стройиздат, 1975. -320с.
20. Никифоров М.Н. Основы проектирования тепловых установок при производстве строительных материалов. М.: Высшая школа, 1974-144с.

Приложение А

Форма титульного листа

Ф. 7.14-01

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
ЮЖНО-КАЗАХСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ М.АУЕЗОВА

Кафедра: «Технологии силикатов и синтеза минералов»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к курсовому проекту

По дисциплине «Процессы и аппараты – 2»

Тема проекта: _____
_____

Специальность: 5В073000 – Производство строительных материалов, изделий и конструкций

Выполнил _____
(ф.и.о. студента, группа)

Руководитель _____
(ф.и.о. преподавателя, ученая степень и звание)

Проект защищен
с оценкой_____
(оценка)
«___»_____201_ж

Комиссия:

_____
(подпись, ф.и.о.)

_____
(подпись, ф.и.о.)

Нормоконтроль:

_____
(подпись, ф.и.о.)

Шымкент 201_г.

Приложение Б

Форма задания на курсовой проект

Ф.7.14-03

ЮЖНО-КАЗАХСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. М.О.АУЕЗОВА
Кафедра: "Технологии силикатов и синтеза минералов"

Утверждаю
Зав. кафедрой _____
"___"_____201_г.

ЗАДАНИЕ № ___
на курсовой проект по дисциплине: Процессы и аппараты – 2

Студент _____ Группа _____
ф.и.о.
Тема проекта_____
Исходные данные _____

№ п.п.	Содержание пояснительной записки		Сроки выполнения	Примерный объем (кол-во листов)
1	Аннотация			1…2
2	Содержание			1…2
3	Нормативтые ссылки			1...2
4	Определения			1…2
5	Обозначения и сокращения			1…2
6	Введение			1…3
7	Основная часть			
	7.1	Литературный обзор и патентный поиск		3…6
	7.2	Обоснование выбора способа тепловлажностной обработки и конструкции установки		2…4
	7.3	Описание конструкции и работы тепловой установки		2…5
	7.4	Подбор режима тепловой обработки		1…3
	7.5	Физико-химические процессы, протекающие в изделий при тепловлажностной обработке		2…4
	7.6	Расчет основных размеров рабочей камеры		2...3
	7.7	Расчет количества тепловой установки		1...3
	7.8	Расчет теплового баланса и определение удельного расхода пара		5…10
	7.9	Расчет гидравлической системы подачи пара тепловой установки		3…8
	7.10	Подбор котлоагрегата		1…2
8	Безопасная эксплуатация, охрана труда и окружающей среды			2…4
9	Заключение			1…2
10	Список использованной литературы			1…2
11	Приложения			1…5

№	Содержание графической части	Сроки выполнения	Количество листов	Формат
1	Конструкция тепловой установки в трех проекциях, разрезы, детали, схемы	30.04.12г.	1…2	А 1

Литература:
1. _____

Дата выдачи задания _____ , дата защиты проекта _____
Руководитель проекта _____
(должность, ф.и.о., подпись)
Задание к исполнению принял ___
(дата, подпись студента)

Приложение В

Режимы тепловлажностной обработки изделий в камерах паровоздушной смесью при атмосферном давлении (для достижения прочности 70% от проектной)

Вид бетона	Удобоукладываемость бетонной смеси *(секунд)* или осадка конуса, *(см)*	Время обработки по периодам при температуре изотермической выдержки $\tau_{под} + \tau_{из} + \tau_{охл}$, час		
		60, ^oC	80, ^oC	95÷100, ^oC
Тяжелые бетонные изделия на портландцементе с нижеследующей толщиной				
≤100, *мм*	6÷7, *см* 30÷60, *секунд* 80÷100, *секунд*	2,5+18+1,5 2,0+14+1,5 2,0+9,0+1,0	3,0+10+2,0 2,5+6,0+1,5 2,5+5,0+1,5	4,0+4,0+3,0 3,0+3,0+2,0 3,0+2,0+2,0
100÷200, *мм*	6÷7, *см* 30÷60, *секунд* 80÷100, *секунд*	3,0+18+2,0 2,0+14+1,5 2,0+9,0+1,5	3,5+10+2,5 3,5+10+2,5 2,5+5,0+2,0	4,0+4,0+3,0 3,5+3,0+2,5 3,5+2,0+2,5
200÷400, *мм*	6÷7, *см* 30÷60, *секунд* 80÷100, *секунд*	3,5+18+2,0 3,0+14+2,0 3,0+9,0+2,0	4,5+10+2,5 3,5+6,0+2,5 3,5+5,0+2,5	5,0+4,0+3,0 4,0+3,0+3,0 4,0+2,0+2,0
≥400, *мм*	6÷7, *см* 30÷60, *секунд* 80÷100, *секунд*	3,5+18+2,5 3,0+14+2,5 3,0+9,0+2,5	4,5+10+3,0 4,0+6,0+3,0 4,0+5,0+3,0	5,0+4,0+4,0 4,5+3,0+3,5 4,5+2,0+3,5
Керамзито- и термозитобетонные изделия плотностью (800÷1200) *кг/м*^{3} с толщиной				
≤200, *мм*	30÷60, *секунд*	-	3,0+6,0+2,0	3,5+3,0+2,5
≥200, *мм*	30÷60, *секунд*	-	4,0+6,0+2,5	4,5+3,0+3,5
Керамзито- и термозитобетонные изделия плотностью (1200÷1800) *кг/м*^{3} с толщиной				
≤200, *мм*	30÷60, *секунд*	-	2,5+8,0+1,5	3,0+4,0+2,0
≥200, *мм*	30÷60, *секунд*	-	3,5+8,0+2,0	4,0+4,0+3,0
Шлако- и аглопоритные изделия плотностью (1000÷1400) *кг/м*^{3} с толщиной				
≤200, *мм*	30÷60, *секунд*	-	3,0+8,0+2,0	3,5+4,0+2,5
≥200, *мм*	30÷60, *секунд*	-	4,5+8,0+3,5	4,5+4,0+3,5
Шлако- и аглопоритные изделия плотностью (1400÷1800) *кг/м*^{3} с толщиной				
≤200, *мм*	30, *секунд*	-	2,5+10+1,5	3,0+5,0+2,0
≥200, *мм*	30, *секунд*	-	3,5+10+2,0	4,0+5,0+3,0

Приложение Г

Режимы одностадийной тепловой обработки изделий из тяжелых бетонов

Толщина изделий	Проектная марка бетона	Режимы тепловой обработки в паровой среде при температуре изотермического прогрева 80÷90, ^oC $\tau_{қыз} + \tau_{из} + \tau_{суыт}$, *час*
≤200, *мм*	≤М200 М300 ÷ М400 М500 ÷ М600	3,5+7,5+1,5 3,0+6,0+2,0 3,0+5,0+2,0
200÷400, *мм*	≤М200 М300 ÷ М400 М500 ÷ М600	3,5+9,0+2,5 3,0+7,5+2,5 3,0+6,0+2,5
≥400, *мм*	М500 ÷ М600	3,0+6,5+3,0

Приложение Д

Режимы двухстадийной тепловой обработки изделий из тяжелых бетонов

Вид технологии	Толщина изделий	Марка бетона	Стадия тепловой обработки	
			I (обработка до достижения распалубочной прочности при температуре 80 ^oC), *час*	II (длительное выдерживание при температуре 60-80 ^oC до достижения отпускной прочности), *час*
Агрегатно-поточная	≤250, *мм*	≤М200 ≥М200	3,5+3,0+0,5 3,0+2,5+0,5	6 5
Конвейерная и стендовая	200÷400, *мм*	≤М200 ≥М200	3,5+5,0+0,5 3,0+4,0+0,5	6 5
Кассетная	≤100, *мм*	М150	1,0+3,5+1,5	6
	≤100, *мм*	М200	1,0+2,5+1,5	5
	100÷200, *мм*	М150 М200	1,0+4,0+1,5 1,0+3,0+1,5	6 5

Примечание: 1) разрыв между I и II стадиями тепловой обработки не должен быть более 2 час.

2) при среднесуточной температуре выше +10^{o}С II стадия тепловой обработки может быть заменена твердением бетона в естественных условиях в течение 5-7 суток.

Приложение Е

Режимы тепловлажностной обработки высокомарочных бетонов

Толщина изделий	Марка бетона	Минимальная продолжительность периодов, *час*			
		Предварительного выдерживания, *час*	Подъем температуры, *час*	Изотермического прогрева при температуре 80 ^oC, *час*	Понижение температуры, *час*
100÷200, *мм*	М500 М600 М700	- 2,0 -	3,0 2,5 2,0	10,0 8,5 7,0	- 1,5 -
200÷400, *мм*	М500 М600 М700	- 2,0 -	3,0 2,5 2,0	10,5 9,0 7,5	- 2,0 -

Приложение Ж

Режимы тепловой обработки изделий из легких бетонов

Вид изделия	Плотность свежеотформованного бетона, *кг/м^3*	Марка бетона	Режим тепловой обработки при температуре изотермического прогрева 90-95 ^oC, *час*
Керамзито- и термозитобетонные изделия с толщиной			
≤200, *мм* ≥200, *мм*	800÷1200 800÷1200	≤М100 ≤М100	2,0+5,0+1,0 2,0+7,0+1,0
Шлако- и аглопоритнобетонные изделия с толщиной			
≤200, *мм* ≥200, *мм*	1200÷1800 1200÷1800	≥М100 ≥М100	2,0+7,0+1,0 2,0+8,0+2,0
Перлитобетонные изделия с толщиной			
≤200, *мм* ≥200, *мм*	600÷800 800÷1200	≤М50 ≥М50	2,0+4,0+1,0 2,0+5,0+2,0
Пенобетонные изделия с толщиной			
≤200, *мм* ≥200, *мм*	800÷1300 800÷1300	≤М100 ≤М100	3,0+5,0+3,0 3,0+6,0+3,0
Конструктивнобетонные изделия с толщиной			
≤100, *мм* 100÷200, *мм* ≥200, *мм*	1300÷1900 1300÷1900 1300÷1900	М200 М200 М300	3,0+5,0+1,0 3,0+6,0+1,0 3,0+7,0+1,0

Примечание: Перед началом тепловой обработки пенобетоны должны выдерживаться не менее 3 часа при температуре цеха. При поризации бетона пеной время подъема температура сокращается на 1 час.

Приложение З

Режим тепловлажностной обработки изделий из легких бетонов

Объемная масса сухого бетона, *кг/м³*	Толщина изделий	Время тепловой обработки при температуре изотермической выдержки, *час*	
		80 °C Изделия на портландцементе	95 °C Изделия на шлакопортландцементе
≤1000	≤100, *мм* 100÷200, *мм* 200÷400, *мм*	2,0+5,0+1,0 2,5+6,0+2,0 3,5+7,0+2,5	2,0+2,5+2,0 3,0+3,5+2,5 4,0+4,5+3,0
1000÷1400	≤100, *мм* 100÷200, *мм* 200÷400, *мм*	2,0+6,0+1,0 2,5+7,0+2,0 3,5+8,0+2,5	2,0+3,0+2,0 3,0+4,0+2,5 4,0+5,0+3,5
1400÷1700	≤100, *мм* 100÷200, *мм* 200÷400, *мм*	2,5+7,0+1,5 3,0+8,0+2,5 3,5+9,0+3,0	3,0+4,0+2,5 3,5+5,0+3,0 4,5+6,0+3,5

Приложение И

Режимы тепловлажностной обработки изделий в кассетах
(прогрев изделий из тяжелых бетонов на портландцементе с одной стороны при температуре 90-98°C)

Толщина изделий	Осадка конуса, *(см)*	Время тепловой обработки по периодам, *час*
40÷50, *мм*	4÷7 8÷12 13÷18	2,0+3,0+1,5 2,0+4,0+1,5 2,0+5,0+1,5
60÷100, *мм*	4÷7 8÷12 13÷18	2,0+4,0+2,0 2,0+4,5+2,0 2,5+5,0+2,0
110÷150, *мм*	4÷7 8÷12 13÷18	2,5+4,5+2,0 2,5+5,0+2,0 2,5+5,5+2,0

Приложение К

Режимы тепловой обработки в кассетных установок изделий из тяжелых бетонов до достижения 70% проектной прочности

Толщина изделий	Марка бетона, *МПа*	Марка портландцемента, *МПа*	Режим прогрева при 60-80 ^{o}C, *час*
60÷100, *мм*	М150	М400÷500	1,0+3,0+4,5
100÷160, *мм*	М150	М400÷500	1,0+4,0+6,0
60÷100, *мм*	М200	М500÷600	1,0+2,5+4,5
100÷160, *мм*	М200	М500÷600	1,0+3,5+5,5

Приложение Л

Продолжительность тепловой обработки изделий в кассетных установках в зависимости от количества их между первыми отсеками

Количество изделий в пакете	Режим тепловлажности обработки при достижении нижеследующей %-ной прочности от марочной, *час*		
	50%	70%	100%
2	3,0+1,0+0,5	3,0+3,0+0,5	3,0+5,0+2,0
3	4,5+1,0+1,0	4,5+3,0+1,0	4,5+5,5+2,0
4	6,0+2,0+1,0	6,0+4,0+1,0	6,0+6,0+2,0

Примечание: Выдержка осуществляется от момента прекращения подачи пара до температуры бетона 40 ^{o}C.

Приложение М

Режимы тепловой обработки панелей в кассетных установках до достижения 70% марочной прочности

Марка бетона	Сроки испытания после тепловой обработки, *час*	Режим тепловой обработки при температуре 80-95 ^{o}C		
		Подъем температуры, *час*	Изотермический прогрев, *час*	Выдержка без подачи пара, *час*
М150	0,5	1,0	6÷7	7÷8
М200	4,0	1,0	4÷5	5÷6
М200	12÷24	1,0	4÷5	3÷4
М250	0,5	1,0	4÷6	7÷8
М300	4÷12	1,0	4÷5	4÷5
М300	24	1,0	4÷5	2÷3

Приложение Н

Продолжительность автоклавной обработки изделий в зависимости от объемной массы и толщины

Вид бетона и объемная масса	Толщина изделий	Давление в автоклаве, *МПа*		
		0,8	1,0	1,2
Ячейстый бетон, 800÷1000 *кг/м*^{3}	≤200, *мм* 210÷250, *мм* 260÷300, *мм*	7,5+5,0+5,0 5,0+8,0+6,0 6,0+9,0+6,0		5,0+4,5+5,5 5,5+5,0+6,5 6,5+5,5+7,0
Легкий бетон ≤1300 *кг/м*^{3}	≤100, *мм* 100÷200, *мм* 200÷400, *мм*	2,5+4,0+2,5 3,5+4,0+3,0 5,0+4,0+4,0		3,0+2,0+3,0 4,0+2,0+4,0 5,5+2,0+5,5
Легкий бетон ≥1300 *кг/м*^{3}	≤100, *мм* 100÷200, *мм* 200÷400, *мм*	3,0+4,0+3,0 4,0+4,0+4,0 5,5+4,0+5,0		3,5+2,0+3,5 4,5+2,0+4,5 6,0+2,0+5,5
Бетон на пористых заполнителях 1300÷1800 *кг/м*^{3}	100, *мм* 200, *мм* 300, *мм*		1,0+3,0+2,0 1,0+4,0+2,0 1,0+5,0+2,0	
Силикатный бетон 2500 *кг/м*^{3}		1,5+9,0+2,8		2,0+6,0+3,0

Приложение О

Формула для определения водоцементного отношения

Пределы водоцементных отношений	Пропаривание по стандартным режимам	
	$R_б = 0{,}7 \cdot R_{ж.б.}$	$R_б = R_{ж.б.}$
Для пластичных (подвижных) бетонных смесей $\left(\frac{B}{Ц} \geq 0{,}4\right)$	$\frac{B}{Ц} = \frac{0{,}23 \cdot R_ц + 10}{R_{ж.б.} + 8}$	$\frac{B}{Ц} = \frac{0{,}16 \cdot R_ц + 7}{R_{ж.б.} + 5{,}6}$
Для жестких бетонных смесей $\left(\frac{B}{Ц} < 0{,}4\right)$	$\frac{B}{Ц} = \frac{0{,}45 \cdot \frac{R_{ж.б}}{R_ц}}{1 + 0{,}18 \cdot \frac{R_{ж.б}}{R_ц}}$	$\frac{B}{Ц} = \frac{0{,}36 \cdot \frac{R_{ж.б}}{R_ц}}{1 + 0{,}14 \cdot \frac{R_{ж.б}}{R_ц}}$

Примечание: $R_б$ - прочность бетона при сжатии через 4 часа после тепловой обработки, *кгс/см*^{2};

$R_{ж.б.}$ - проектная прочность бетона при сжатии (марка), *кгс/см*^{2};

$R_ц$ - активность цемента, определяемая по ГОСТ 3107.1-76 (марка).

Приложение П

Термодинамические свойства воды и водяного пара в состоянии насыщения

Температура воды и водяного пара t, ^oC	Давление воды и водяного пара P, *МПа*	Объем воды и водяного пара V, $м^3/кг$	Плотность воды и водяного пара ρ, $кг/м^3$	Энтальпия вода $I_в$, *кДж/кг*	Энтальпия пара $I_п$, *кДж/кг*	Энтальпия парообразования $I_{п.о.}$, *кДж/кг*
0	0,0006108	206,321	0,004847	0,04	2501	2501
5	0,0008718	147,167	0,006793	21,01	2510	2489
10	0,0012271	106,419	0,009398	41,99	2519	2477
20	0,0023368	57,853	0,01729	83,86	2538	2454
30	0,0042417	32,929	0,03037	125,66	2556	2430
40	0,0073749	19,548	0,05115	167,45	2574	2407
50	0,012335	12,048	0,08306	209,26	2592	2383
60	0,019919	7,087	0,1302	251,09	2610	2358
70	0,031161	5,048	0,1982	292,97	2627	2334
80	0,047359	3,4114	0,2934	334,92	2644	2309
90	0,070108	2,3624	0,4325	376,94	2660	2283
100	0,101325	1,6738	0,5977	419,06	2676	2257
110	0,14326	1,2106	0,8264	461,32	2692	2231
120	0,19854	0,8920	1,121	503,7	2707	2203
130	0,27012	0,6685	1,496	546,3	2721	2174
140	0,36136	0,5086	1,966	589,1	2734	2145
150	0,47597	0,3926	2,547	632,2	2746	2114

Приложение Р

Физические парметры воды на линии насыщения

Температура воды $t_в$, ^oC	Плотность воды $\rho_в$, $кг/м^3$	Теплоемкость воды $C_в$, *кДж/(кг·°С)*	Коэффициент теплопроводности воды $\lambda_в$, *Вт/(м·°С)*	Коэффициент температурапроводности воды $a_в$, $м^2/час$
0	1001,7	4,221	0,551	0,000471
20	999,98	4,185	0,596	0,000515
40	994,06	4,182	0,626	0,000544
60	984,94	4,187	0,650	0,000559
80	973,57	4,200	0,666	0,000589
100	960,12	4,218	0,679	0,000605
120	944,75	4,253	0,683	0,000615

Приложение С

Теплофизические характеристики материалов

Вид материала	Плотность ρ , *кг/м*^{3}	Коэффициент теплопроводности λ , *Вт/(м·*^{o}*С)*	Теплоемкость *С* , *кДж/(кг·*^{o}*С)*	Коэффициент температура-проводности *а* , *м*^{2}*/сағат*
Бетон	2400	1,45	0,84	0,002584
Железобетон	2400	1,56	0,84	0,002795
Крупнопористый бетон	1900	0,99	0,84	0,00223
Шлакобетон	1860	0,92	0,83	0,00192
Золобетон	1640	0,505	0,98	0,001134
Керамзитобетон	1700	0,41	0,56	0,00154
Силикатобетон	1850	0,63	0,84	0,00147
Газобетон	940	0,241	0,82	0,00112
Пенобетон	400	0,138	1,65	0,000764
Раствор	1800	0,93	0,84	0,00223
Кирпич глиняный	1700	0,755	0,88	0,00182
Кирпич силикатный	1900	0,815	0,84	0,00184
Древесина	640	0,38	2,4	-
Металл	7800	5,6	0,46	-
Суглинок	1960	1,49	1,16	0,00237
Кварцевый песок	1500	0,60	1,09	0,0013
Гранулированный шлак	500	0,151	0,75	0,00144
Минеральная вата	300	0,063	0,75	0,001
Минеральный войлок	250	0,076	0,76	0,00144
Пеностекло	500	0,163	0,84	0,0014
Стеклянная вата	200	0,045	0,94	0,00097
Стеклянный войлок	50	0,044	0,89	0,00356
Шлаковая вата	100	0,046	0,74	0,00224
Резина	1200	0,163	1,38	0,00095

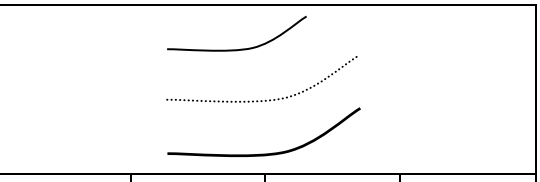
Приложение Т

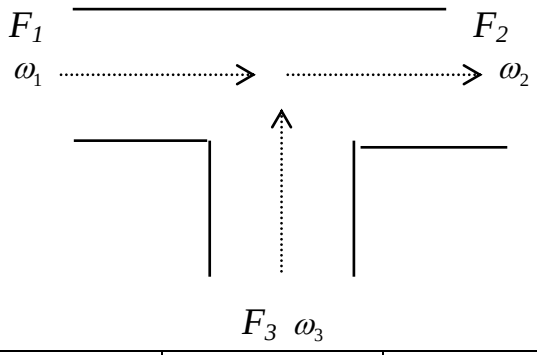
Термодинамические свойства воды и водяного пара в состоянии насыщения

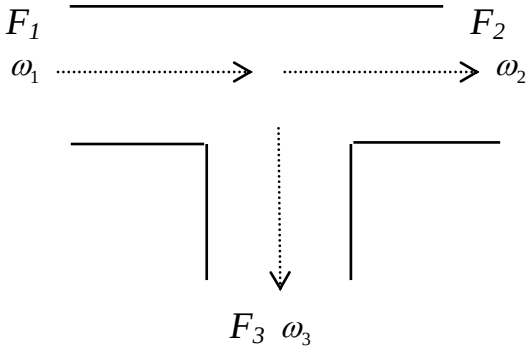
Давление воды и водяного пара P, *МПа*	Температура воды и водяного пара t, ^oC	Объем воды и водяного пара V, $м^3/кг$	Плотность воды и водяного пара ρ, $кг/м^3$	Энтальпия вода $I_в$, *кДж/кг*	Энтальпия пара $I_п$, *кДж/кг*	Энтальпия парообразования $I_{п.о.}$, *кДж/кг*
0,02	60,08	7,652	0,131	251,48	2609,02	2357,7
0,05	81,33	3,243	0,308	340,53	2645,2	2304,7
0,1	99,62	1,696	0,590	417,47	2674,9	2257,5
0,16	113,31	1,092	0,916	475,41	2696,3	2220,8
0,2	120,23	0,886	1,129	504,74	2706,8	2202,0
0,22	123,27	0,810	1,235	517,70	2711,0	2193,3
0,26	128,73	0,693	1,443	541,20	2718,9	2177,7
0,3	133,54	0,605	1,653	561,70	2725,5	2163,9
0,4	143,62	0,462	2,165	604,60	2738,7	2134,1
0,5	151,84	0,375	2,667	640,10	2748,8	2108,7
0,6	158,84	0,316	3,169	670,60	2756,9	2086,3
0,7	164,96	0,273	3,666	697,20	2763,7	2066,5
0,8	170,41	0,240	4,161	720,90	2769,0	2048,1
0,9	175,36	0,215	4,653	742,70	2773,7	2031,0
1,0	179,88	0,194	5,143	762,40	2777,8	2015,3
1,1	184,05	0,178	5,632	781,30	2781,2	1999,9
1,2	187,95	0,163	6,125	798,40	2784,6	1986,2
1,3	191,60	0,151	6,615	814,60	2787,4	1972,7
1,4	195,04	0,141	7,102	830,00	2789,7	1959,7
1,5	198,28	0,132	7,592	844,50	2791,8	1947,3
1,6	201,31	0,124	8,080	858,30	2793,5	1935,2
1,7	204,30	0,117	8,570	871,70	2795,3	1923,5
1,8	207,10	0,110	9,055	884,20	2796,5	1912,3
1,9	209,78	0,105	9,544	896,60	2797,9	1901,3
2,0	212,37	0,100	10,040	908,60	2799,2	1890,7
2,4	221,77	0,083	12,048	951,80	2801,8	1850,0
2,6	226,04	0,077	12,987	971,90	2802,6	1830,8
2,8	230,04	0,071	14,085	990,20	2803,1	1812,8
3,0	233,83	0,067	14,925	1008,40	2803,1	1794,7
5,0	263,91	0,039	25,381	1154,20	2793,9	1639,6

Приложение У

Коэффициенты местного сопротивления

Плавный поворот постоянного сечения								
Величина угла поворота, α °	20	30	45	60	75	90	120	180
Коэффициент сопротивления, ξ	0,31	0,45	0,60	0,75	0,90	1,0	1,2	1,4

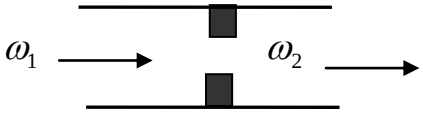
Тройник вытяжного типа где: F_1 – сечение основного потока F_2 – сечение смеси двух потоков F_3 – сечение дополнительного потока ω_1 – скорость основного потока ω_2 – скорость смеси двух потоков ω_3 – скорость дополнительного потока $F_1 + F_3 > F_2$, $F_1 = F_2$, $\alpha = 90^0$					
$\frac{F_3}{F_2}$	0÷0,2	0,3÷0,4	0,6	0,8	1,0
Коэффициент сопротивления, ξ	1,0	0,75	0,70	0,65	0,60

Тройник бокового ответвление где: F_1 – сечение основного потока F_2 – сечение выходящего потока F_3 – сечение отбираемого потока ω_1 – скорость основного потока ω_2 – скорость выходящего потока ω_3 – скорость отбираемого потока $F_1 + F_3 > F_2$, $F_1 = F_2$, $\alpha = 90^0$	

$\frac{F_3}{F_1}$	$\frac{G_3}{G_1}$							
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0,09	4,50	6,00	7,88	9,40	11,10	13,00	15,80	20,00
0,19	2,00	2,50	3,20	3,97	4,95	6,50	8,45	10,80
0,27	1,81	2,30	2,83	3,40	4,07	4,80	6,00	7,18
0,35	1,54	1,90	2,35	2,73	3,22	3,80	4,32	5,28
0,44	1,45	1,67	1,89	2,11	2,38	2,58	3,04	3,84
0,55	1,20	1,40	1,59	1,65	1,77	1,94	2,20	2,68
1,00	1,00	1,13	1,20	1,40	1,50	1,60	1,80	2,06

Приложение У (*продолжение)*

Стандартный вентиль, делительные углы под углом $\alpha = 45^0$										
Диаметр трубопровода, d, мм	13	20	40	80	100	150	200	250	300	350
Коэффициент сопротивления, ξ	10,8	8,0	4,9	4,0	4,1	4,4	4,7	5,1	5,4	5,5

Сопротивления	Коэффициент сопротивления, ξ
Величина сопротивления на дроссельной диафрагме  ω_1 – скорость потока до дроссельной диафрагмы, *м/с* ω_2 – скорость потока после дроссельной диафрагмы, *м/с*	$\frac{\omega_2}{\omega_1} = 0{,}5$ 4,0
Коэффициент местного сопротивления одного отверстия (перфорации) перфорированной трубы	1,06

Приложение Ф

Основные теплотехнические характеристики котлоагрегатов

Теплотехнические характеристики	Тип котлоагрегата и вид сжигаемого топлива									
	ДКВр 2,5-13			ДКВр 4-13			ДКВр 6,5-13		ДКВр 10-13	
	Газ	Мазут	Уголь	Газ	Мазут	Уголь	Газ	Уголь	Газ	Уголь
Паропроизводительность, *кг/секунд*	0,695	1,11	0,695	1,11	1,66	1,11	1,8	1,8	2,78	2,78
Избыточное давление, *МПа*	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	2,26	2,28	3,83	3,83
Коэффициент избытка воздуха в топке,	1,15	1,0	1,4	1,15	1,15	1,15	1,15	1,14	1,15	1,40
Расход топлива, $м^3/с$ или *кг/с*	0,057	0,09	0,0885	0,095	0,133	0,149	0,125	0,239	0,233	0,364
Температура газов на выходе из топки, ^oC	870	940	800	980	1030	880	1030	925	1040	915
Объем топки, $м^3$	12	11,8	10,4	15,6	15,6	13,7	24,6	13,7	43,0	37,4
Площадь колосниковой решетки, $м^2$	-	-	2,76	-	-	3,83	-	6,35	-	9,5

Приложение Х

Плотность паровоздушной смеси

Давление пара, *МПа*	Доля паровоздушной смеси в конденсате (ε)						
	0,0024	0,0048	0,0072	0,012	0,024	0,048	0,072
0,1	55	23	19	10	5,7	2,9	1,9
0,12	64	33	23	12	6,4	3,4	2,4
0,15	78	41	28	15	8,5	4,3	3,0
0,2	100	53	36	18	11,0	5,7	3,8
0,3	137	74	51	31	16,0	8,0	5,3
0,4	172	95	65	40	21,0	10,0	7,0
0,5	203	114	80	49	25,0	13,0	8,6
1,0	321	186	141	91	48,0	25,0	16,0

Приложение Ц

Форма основных надписей для чертежей и схем по ГОСТ 2.104-2006

Ф.7.14-05

<table>
<tr><td colspan="5"></td><td colspan="4">(30)</td></tr>
<tr><td>(14)</td><td>(15)</td><td>(16)</td><td>(17)</td><td>(18)</td><td colspan="4">(2)</td></tr>
<tr><td>изм</td><td>листт</td><td>№ докум</td><td>подпись</td><td>дата</td><td rowspan="3">(1)</td><td>Литер</td><td>Масса</td><td>Масштаб</td></tr>
<tr><td rowspan="3">разраб.
провер.
Т контр.
(10)
Н контр.
утвержд.</td><td rowspan="3">(11)</td><td rowspan="3">(12)</td><td rowspan="3">(13)</td><td>(4)</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Лист (7)</td><td colspan="2">Листов (8)</td></tr>
<tr><td colspan="2">(3)</td><td colspan="3">(9)</td></tr>
</table>

Графа основной надписи

Графа (1) – наименование изделия и документа, если он имеет код.

Графа (2) – обозначение документа по ГОСТ 2.201-80 (код курсового проекта).

Графа (3) – обозначение материала, которое вносят в основную надпись только на чертеже детали.

Графа (4) – колонки литер. Литерами указывают стадии разработки документации (для курсового проекта У – учебный проект и литер, УР – учебный реальный проект).

Графа (5) – масса изделий по ГОСТ 2.109-73.

Графа (6) – масштаб изображения в соответствии с ГОСТ 2.302-68.

Графа (7) – порядковый номер листа документа.

Графа (8) – общее количество листов документа.

Графу заполняют только на первом листе документа.

Графа (9) – наименование или различительный индекс предприятия, выпустившего документ (наименование университета, факультета, группы).

Графа (10) – характер работы, выполняемой лицом, подписывающим документ (Разраб. – дипломник; Пров. – консультант, на чертежах и руководитель – в записке; Т.контр – руководитель проекта; Утв. – зав.кафедрой). Сбоводную графу заполняют по усмотрению разработчика.

Графа (11) – фамилия лиц, подписывающих документ.

Графа (12) – подписи лиц, фамилии которых указаны в графе (11). Подписи выполняются тушью или пастой.

Графа (13) – дата подписи документа.

Графа (14-18) – таблицы изменений, вводимых в документах после их утверждения (в курсовом проекте не выполняются).

Графа (30) – дополнительная графа; данные, заполняемые заказчикам (тема курсового проекта).

Приложение Ч

Формат	Зона	Позиция	Обозначение	Наименование	Кол-во	Примечание

					Литер	Масса	Масштаб
имз	лист	№ докум	подпись	Дата			
Разраб.							
Провер.							
Т контр.					Лист	Листов	
Н контр.							
Утверж.							

Мурат Жарылкасынович Айтуреев

УСТАНОВКИ ДЛЯ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Подписано в печать «___» _____201_г.
Формат бумаги XxY 1/16.
Бумага типографическая. Печать офсетная. Объем 7,5 б.т.
Тираж __ экз. Заказ №__.

© Издание Южно-Казахстанского государственного университета им.М.Ауезова

Издательский центр ЮКГУ им. М.Ауезова, г.Шымкент, пр.Тауке хана, 5