

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Кафедра «Пищевые технологии и оборудование»

Д.О. Ерёменко, Н.И. Покинтелица, А.П.Донец

ОБОРУДОВАНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ

Часть 1 Тепловое оборудование

Методические указания
по выполнению курсового проекта
для студентов направления подготовки
«Технология продукции и организация общественного питания»
очной и заочной форм обучения

Севастополь
СевГУ
2018

УДК 641.542(075.8)
ББК 36.99-5я73
Е 702

Р е ц е н з е н т:

И.А. Прокопенко – канд. техн. наук, доцент кафедры
«Пищевые технологии и оборудование»
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

Ерёменко Д.О., Покинтелица Н.И., Донец А.П.

Е702 Оборудование предприятий общественного питания. Ч. 1: Тепловое оборудование: метод. указания по выполнению курсового проекта для студентов направления подготовки «Технология продукции и организация общественного питания» / Д.О. Ерёменко, Н.И. Покинтелица, А.П. Донец. – Севастополь: СевГУ, 2018. – 54 с.: ил.

Приведены методические указания по выполнению курсового проекта. Даны структура и содержание курсового проекта. Показана последовательность выполнения работы, характер принимаемых решений, порядок расчетных величин. Каждый этап расчета сопровождается методическими рекомендациями по принятию соответствующих решений и реализации расчетов. Предназначены для студентов направления подготовки 19.03.04 «Технология продукции и организация общественного питания».

УДК 641.542(075.8)
ББК 36.99-5я73

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры «Пищевые технологии и оборудование» СевГУ, протокол № 7 от 30 января 2018 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель и задачи курсового проектирования	4
2. Организация курсового проектирования	4
3. Объём и содержание проекта	4
4. Методические указания к расчёту тепловых аппаратов	6
4.1 Пищеварочные котлы и автоклавы	6
4.1.1 Газовые пищеварочные котлы	6
4.1.2 Электрические пищеварочные котлы	18
4.1.3 Паровые пищеварочные котлы	19
4.1.4 Автоклавы	21
4.1.4.1 Газовые пищеварочные автоклавы	21
4.1.4.2 Электрические пищеварочные автоклавы	22
4.1.4.3 Паровые автоклавы	23
4.2 Электрические жарочно-кондитерские шкафы	24
4.3 Электрические фритюрницы	31
4.4 Электрические сковороды	33
4.5 Кипятильники непрерывного действия	34
4.5.1 Паровые кипятильники	35
4.5.2 Электрические кипятильники	38
4.5.3 Газовые кипятильники	38
4.6 Водонагреватели	39
4.7 Пароварочные шкафы	41
4.8 Жарочные аппараты непрерывного действия	45
Рекомендуемая литература	48
Приложения	

1. Цель задачи курсового проектирования

Курсовой проект по оборудованию предприятий общественного питания способствует закреплению, углублению и обобщению знаний, полученных студентами в курсах механики, электротехники, теплотехники, процессов и аппаратов пищевых производств, графики. Выполнение курсового проекта студентами имеет целью приобретение навыков самостоятельной работы по расчетам и конструированию теплового оборудования общественного питания.

При выполнении проекта студенты расширяют навыки пользования справочной литературой, ГОСТами, нормами, таблицами и монограммами, а также графическому оформлению, составлению расчетно-пояснительных записок к проектам. Работа над проектом по оборудованию общественного питания подготавливает студентов к выполнению выпускной квалификационной работы.

2. Организация курсового проектирования

Курсовой проект должен быть выполнен в срок, определенный учебным графиком.

В процессе выполнения курсового проекта студент имеет право получать у преподавателя письменные, устные и дистантные консультации. Выполненный в полном объеме курсовой проект представляется на кафедру для проверки. Отмеченные руководителем проекта недостатки должны быть исправлены до защиты проекта. Замечания по курсовому проекту обычно указываются в рецензии.

Защита курсового проекта проводится публично перед студентами комиссией. Студент на защите докладывает содержание проекта и затем отвечает на вопросы преподавателей по теме проекта.

Проект оценивается дифференцированной отметкой и в случае неудовлетворительной оценки студенту выдается новая тема и проект выполняется повторно с последующей его защитой.

3. Объем и содержание проекта

Проект по тепловому оборудованию должен состоять из пояснительной записки и чертежей.

Пояснительная записка к курсовому проекту должна содержать:

- титульный лист;
- задание на проект;
- оглавление;
- введение;
- критический обзор существующих типов аналогичных аппаратов;
- описание конструкции проектируемого аппарата, правил эксплуатации и охраны труда;
- правила установки и монтажа аппарата;
- техническую характеристику аппарата;
- тепловые расчеты аппарата, включающие:

а) тепловой баланс аппарата;
б) расчет толщины слоя теплоизоляции аппарата;
в) расчет расхода электроэнергии, газа или пара;
г) расчет нагревательных элементов (ТЭНов или газовой горелки). Для паровых аппаратов выполняется расчет и подбор конденсатоотводчика.

- заключение (краткое изложение полученных результатов расчета, выводы об экономической эффективности);
- список использованной литературы;
- спецификации на сборочные чертежи аппарата.

Во введении кратко излагаются состояние и перспективы развития предприятий питания, пищевых и перерабатывающих производств, основные направления развития данного вида оборудования.

В обзоре дается краткое описание аппаратов отечественного производства, имеющих различные источники теплоты и выполняющие одинаковые технологические процессы с проектируемым аппаратом.

Описание конструкции проектируемого аппарата должно быть полным и всесторонним. Необходимо отметить назначение каждого элемента конструкции, указать материал, толщину стенок. Особо следует отразить устройство и работу арматуры аппарата. Следует также провести анализ проектируемого аппарата с точки зрения удобства эксплуатации, безопасности при работе, технико-экономических характеристик.

Общее количество потребляемой теплоты определяется из теплового баланса аппарата.

Тепловым расчетом электрических аппаратов определяется их максимальная и минимальная мощность. Максимальная мощность используется для быстрого разогрева аппарата до рабочей температуры. Минимальная мощность необходима для ведения технологического процесса. По окончании теплового расчета аппарата производится расчет ТЭНов.

Тепловым расчетом газовых аппаратов определяются расходы газа аппаратом для стационарного режима (периода ведения технологического процесса) и для нестационарного режима (периода разогрева). Затем производится расчет газовых инжекционных горелок.

Тепловым расчетом паровых аппаратов определяются расходы пара для режима разогрева и стационарного режима. По максимальному расходу пара производится расчет и подбор конденсатоотводчика.

Графическая часть проекта должна включать чертежи на двух листах формата А1. На первом листе приводится сборочный чертеж общий или вид аппарата (2-3 проекции) с поясняющими разрезами, сечениями и краткой технической характеристикой. На втором листе даются рабочие чертежи наиболее характерных узлов и деталей аппарата (ТЭНов, газовых горелок, конденсатоотводчиков). По согласованию с преподавателем часть второго листа может быть использована под электрическую схему, схему газовой автоматики, исследовательские графики.

Основным чертежом проекта является сборочный чертеж или общий вид аппарата. Количество видов, сечений, разрезов, составляющих содержание чер-

тежа, должно быть минимальным, но достаточным для понимания конструкции устройства, взаимодействия его составных частей и принципа работы.

На чертежах должны быть проставлены следующие размеры: габаритные, установочные, присоединительные, расчетные.

4. Методические указания к расчету тепловых аппаратов

4.1. Пищеварочные котлы и автоклавы

Конструкции тепловых аппаратов разнообразны, однако существует общая методика теплотехнических расчетов, которую можно применять для частных случаев в зависимости от имеющихся исходных данных.

Поверочный расчет следует выполнять для выявления возможности использования стандартного теплового аппарата для технологического процесса, указанного в задании на проектирование.

Для проведения теплового расчета в задании указана определенная конструкция аппарата и технологический процесс. Конструктивные размеры основных элементов аппарата увязываются затем с данными теплового расчета.

Задачей теплового расчета газовых пищеварочных котлов является определение расхода топлива и расчет инжекционной газовой горелки.

Задачей теплового расчета электрических пищеварочных котлов является определение максимальной и минимальной мощностей и расчет трубчатых электронагревателей.

Тепловые балансы аппаратов необходимо составлять, ориентируясь на прилагаемые методики и пользуясь рекомендуемой литературой. При выполнении курсового проекта могут возникнуть вопросы, связанные с недостаточностью данных для расчетов и конструирования. В этом случае недостающие величины Вы можете принимать ориентировочно по опыту Вашей работы или по литературным источникам.

4.1.1. Газовые пищеварочные котлы

Исходные данные для проектирования

Наименование блюд	Номер варианта и марка аппарата		
	1	2	3
Рассольник	КПГ-40	КПГ-250	КПГСМ-250
Солянка сборная			
Борщ с фасолью			

При проектировании газовых пищеварочных котлов для определения расхода топлива и расчета газовых горелок следует составить тепловой баланс аппарата.

Тепловой баланс газового аппарата на одну варку можно выразить следующим равенством:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6, \quad (1)$$

где Q – подведенная теплота, кДж;

Q_1 – полезно используемая теплота, необходимая для нагрева воды (или приготовления блюда) до температуры кипения и режима кипения (варки), кДж;

Q_2 – потери теплоты с уходящими продуктами сгорания топлива, кДж;

Q_3 – потери теплоты от химической неполноты сгорания топлива, кДж (при расчете газовых аппаратов $Q_3 = 0$);

Q_4 – потери теплоты от механической неполноты сгорания топлива, кДж (для газового оборудования $Q_4 = 0$);

Q_5 – потери теплоты наружными поверхностями аппарата в окружающую среду, кДж;

Q_6 – потери теплоты на нагревание конструкции котла и на парообразование в паровой рубашке, кДж.

В дальнейшем тепловой расчет производится для двух режимов – режима нагрева содержимого котла до кипения и режима слабого кипения.

Определение полезно используемой теплоты.

А. Режим нагрева.

Для определения полезно используемой теплоты при нагреве воды (либо другой жидкости) в котле до температуры кипения можно пользоваться следующей формулой:

$$Q_1' = W \cdot C(t_k - t_n) + \Delta W' r, \text{ кДж} \quad (2)$$

где W – количество нагреваемой жидкости, кг; $W = V_k k \rho \cdot 10^{-3}$;

V_k – объём внутреннего варочного котла, л;

k – коэффициент заполнения котла ($k = 0,8 \dots 0,9$);

ρ – плотность жидкости, кг/м³;

C – теплоемкость жидкости в интервале температур от t_n до t_k , кДж/(кг·К);

t_n – начальная температура заливаемой жидкости, °С;

t_k – конечная температура жидкости, °С; $t_k = 100^\circ\text{С}$;

$\Delta W'$ – количество испарившейся воды в период разогрева до 100°С , кг. При герметически закрытой крышке котла в период разогрева $\Delta W' = 0$. Для остальных случаев (например, для опрокидывающихся котлов) по опытным данным количество испарившейся влаги принимается равным 0,5 % от массы жидкости в котле.

r – скрытая теплота парообразования воды при атмосферном давлении, кДж/кг. При атмосферном давлении $r = 2258,2$ кДж/кг.

Если необходимо провести тепловой расчет котла при варке определенного блюда, то полезно используемую теплоту в период разогрева при заполнении котла продуктами можно определить из выражения:

$$Q_1' = G_{\text{см}} C_{\text{см}} (t_k - t_{\text{см}}) + W \cdot C(t_k - t_n) + \Delta W' r, \text{ кДж.} \quad (3)$$

Здесь $G_{\text{см}}$ – общее количество загруженных в варочный котел твердых пищевых продуктов, кг.

$$G_{\text{см}} = g_1 + g_2 + g_3 + \dots + g_n, \quad (4)$$

где $g_1, g_2, g_3, \dots, g_n$ – количество отдельных продуктов, загружаемых в котел, кг; определяется по нормам раскладки для приготовления данного блюда.

$C_{\text{см}}$ – средняя теплоемкость смеси загружаемых продуктов в интервале температур t_H и t_K , кДж/(кг·К).

$$C_{\text{см}} = \frac{g_1 C_1 + g_2 C_2 + \dots + g_n C_n}{G_{\text{см}}}, \quad (5)$$

где $C_1, C_2, \dots, C_n$ – теплоёмкость отдельных продуктов, кДж/(кг·К).

Теплоемкость отдельных продуктов принимается из справочных таблиц или подсчитывается по формуле:

$$C = \frac{4,19a - 1,68(100 - a)}{100}, \quad (6)$$

где a – влажность продукта в процентах по массе;

t_K – конечная температура загружаемых продуктов (температура кипения), °С;

$t_{\text{см}}$ – начальная средняя температура загружаемых продуктов, определяемая из выражения:

$$t_{\text{см}} = \frac{g_1 C_1 t_1 + g_2 C_2 t_2 + \dots + g_n C_n t_n}{G_{\text{см}} C_{\text{см}}}, \quad (7)$$

где $t_1, t_2, \dots, t_n$ – начальные температуры отдельных продуктов загружаемых в котёл, °С. Принимаются в основном, от зависимости от температур хранения продуктов до закладки в котёл.

W – общее количество жидкости, загружаемой в котёл, кг;

C – теплоёмкость жидкой среды, кДж/(кг·К);

t_H – начальная температура жидкой среды, °С;

t_K – температура кипения жидкой среды, °С;

Для определения количества отдельных продуктов и жидкости, загружаемых в котёл, необходимо знать количество порций приготавливаемого блюда.

Количество порций определяется по формуле

$$\Pi = \frac{kV_K - V_{\text{исп}}}{V_{\Pi}}, \text{ шт} \quad (8)$$

где V_{Π} – объём одной порции по нормам раскладки, л;

$V_{\text{исп}}$ – объём испаряемой жидкости в период разогрева и кипения приготавливаемого блюда, л. Ориентировочно $V_{\text{исп}} = (0,015 \div 0,025)kV_K$.

Количество влаги, удаляемой в процессе варки отдельных блюд, зависит от времени варки и определяется по материальному балансу процесса варки, т.е.

$$\Delta W = G_{\text{см}} + W - G_{\text{г.пр.}},$$

где $G_{\text{г.пр.}}$ – масса готовой продукции (блюда), кг.

$$\Delta W = \Delta W' + \Delta W'', \text{ кг}$$

W определяется по нормам раскладки продуктов на 1 порцию.

Например, масса одной порции – 0,5, кг, а количество продуктов на одну порцию – 0,28 кг, тогда масса жидкости на одну порцию составит $0,5 - 0,28 = 0,22$ кг. Общее количество жидкости будет $W = 0,22 \cdot П$.

Б. Стационарный режим.

Полезно используемая теплота на режим слабого кипения определяется по формуле:

$$Q_1' = \Delta W'' r, \text{ кДж} \quad (9)$$

где $\Delta W''$ – количество влаги, удаляемой в процессе кипения содержимого котла, кг. Оно зависит от продолжительности кипения и может быть принято равным 1,5.. 2,0 % от массы жидкости в котле.

Определение потерь теплоты с уходящими продуктами сгорания

Потери теплоты с уходящими продуктами сгорания для нестационарного и стационарного режимов определяются по следующей формуле:

$$Q_2 = B(J_y - J_B), \text{ кДж} \quad (10)$$

где B – расход газа при соответствующем режиме (нестационарном и стационарном), м^3 ;

J_y – энтальпия уходящих продуктов сгорания, кДж/м^3 газа;

J_B – энтальпия воздуха, кДж/м^3 .

Для определения энтальпии уходящих продуктов сгорания и энтальпии воздуха в заданиях к курсовому проекту указывается название природного газа, коэффициент избытка воздуха в горелке и температура уходящих продуктов сгорания. Если дано только название газа, то состав его следует принимать из справочных таблиц.

По заданному составу газа определяют объемы продуктов сгорания и необходимое количество воздуха.

Теоретически необходимое количество воздуха для полного сгорания 1 м^3 газа определяется по формуле (в $\text{м}^3/\text{м}^3$):

$$V_0 = 0,0476 \left[0,5\text{CO} + 0,5\text{H}_2\text{S} + 2\text{CH}_4 + \sum \left(m + \frac{n}{4} \right) \text{C}_m\text{H}_n - \text{O}_2 \right], \quad (11)$$

где CO, H_2 , H_2S , CH_4 , C_mH_n , – название и процентное содержание отдельных компонентов горючего газа (по объёму);

C_mH_n – группа тяжёлых углеводородов.

Общее количество воздуха, с учётом избыточного

$$V_{\text{общ}} = \alpha V_0; \quad V_{\text{изб}} = (\alpha - 1)V_0 \quad (\text{в } \text{м}^3/\text{м}^2), \quad (12)$$

где α – коэффициент избытка воздуха в газовой горелке теплового аппарата (приведен в задании).

Объём водяных паров в продуктах сгорания определяется по формуле (в $\text{м}^3/\text{м}^2$):

$$V_{\text{в.п.}} = 0,01 \left[\text{H}_2 + \text{H}_2\text{S} + 2\text{CH}_4 + \sum \frac{n}{2} \text{C}_m\text{H}_n + 0,124d_{\Gamma} \right] + 0,016V_{\text{общ}} \quad (13)$$

Здесь влагосодержание газа $d_r = 10 \text{ г/м}^3$.

Объем трехатомных продуктов сгорания (в $\text{м}^3/\text{м}^2$):

$$V_{RO_2} = 0,01(CO_2 + SO_2 + CO + H_2S + CH_4 + \sum m C_m H_n). \quad (14)$$

Минимальный объем азота в продуктах сгорания при $\alpha = 1$

$$V_{N_2}^{\min} = 0,79V_o + 0,01N_2. \quad (15)$$

Действительный объем двухатомных продуктов сгорания:

$$V_{R_2} = V_{N_2}^{\min} + V_o(\alpha - 1). \quad (16)$$

Энтальпия продуктов сгорания:

$$J_y = (V_{RO_2} C_{RO_2} + V_{R_2} C_{R_2} + V_{в.п.} C_{в.п.}) t_y, \quad (17)$$

где C_{RO_2} , C_{R_2} , $C_{в.п.}$ – объёмные теплоёмкости соответствующих газов в $\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$, определяются методом интерполяции по табл. 1.

Таблица 1 – Средние объёмные теплоёмкости продуктов сгорания

$t, ^\circ\text{C}$	$C_{RO_2},$ $\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$	$C_{N_2},$ $\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$	$C_{O_2},$ $\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$	$C_{H_2O},$ $\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$	$C_{\text{воздуха}},$ $\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$
0	1,5943	1,2946	1,3059	1,4943	1,3189
100	1,7133	1,2963	1,3176	1,5056	1,3243
200	1,7962	1,3005	1,3356	1,5220	1,3331
300	1,8712	1,3063	1,3566	1,5425	1,3424
400	1,9377	1,3160	1,3779	1,5655	1,3345

Температура уходящих продуктов сгорания для тепловых аппаратов предприятий питания обычно колеблется в пределах 200...400 $^\circ\text{C}$. Это необходимо учитывать при определении теплоёмкостей отдельных газов.

Энтальпия воздуха:

$$J_b = V_{\text{общ}} C_b t_b, \text{ кДж} \quad (18)$$

где C_b – теплоёмкость воздуха при температура t_b , $\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$, (см. табл. 1)

t_b – температура поступающего воздуха (при установке аппарата в цехе температура поступающего воздуха принимается равной температуре воздуха в помещении).

Потери теплоты с уходящими продуктами сгорания 1 м^3 газа составляют ($\text{кДж}/\text{м}^3$):

$$Q_2 = J_y - J_b \quad (19)$$

Расход газа при режиме разогрева котла (после определения всех составляющих теплового баланса) составит (в м^3):

$$B' = \frac{Q_1' + Q_5' + Q_6'}{Q_H^p - Q_2}, \quad (20)$$

Расход газа при режиме кипения составит (в м^3):

$$B'' = \frac{Q_1'' + Q_5''}{Q_H^p - Q_2} \quad (21)$$

Для расчёта газовых горелок необходимо знать часовой или секундный расходы газа аппаратом в период разогрева и в период кипения.

Часовой и секундный расходы газа в период разогрева аппарата составят

$$V_{\tau}' = V' \frac{3600}{\tau}, \text{ м}^3/\text{ч}; \quad V_{\tau}' = V' / \tau, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (22)$$

Здесь τ' – время нагрева содержимого котла до закипания, с.

Соответственно для стационарного режима:

$$V_{\tau}'' = V'' \frac{3600}{\tau}, \text{ м}^3/\text{ч}; \quad V_{\tau}'' = V'' / \tau, \text{ м}^3/\text{с} \quad (23)$$

где τ'' – время кипения, которое зависит от технологии приготовляемого блюда, с. Как показал опыт эксплуатации пищеварочных котлов с косвенным обогревом, часовой расход газа во время режима кипения составляет 1/6 -1/8 от часового расхода газа в период разогрева аппарата.

Определение потерь теплоты в окружающую среду.

Потери теплоты пищеварочными аппаратами в окружающую среду при нестационарном и стационарном режимах включают в себя:

$$Q_5 = Q_5^{\text{об}} + Q_5^{\text{кр}} + Q_5^{\text{дн}}, \quad (24)$$

где $Q_5^{\text{об}}$ – потери теплоты через обечайку пищеварочного котла в окружающую среду, кДж;

$Q_5^{\text{кр}}$ – потери теплоты через крышку пищеварочного котла в окружающую среду, кДж;

$Q_5^{\text{дн}}$ – потери теплоты через дно пищеварочного котла в окружающую среду, кДж; поскольку эти теплопотери незначительны, то при расчете могут не учитываться.

Потери теплоты ограждениями аппарата определяются по формуле Ньютона (Дж)

$$Q_5 = \alpha_o F (t_{\text{п}} - t_o) \tau, \quad (25)$$

где F – величина поверхности ограждения (крышки, обечайки), м^2 ;

α_o – коэффициент теплоотдачи от поверхности ограждения в окружающую среду, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

$t_{\text{п}}$ – средняя температура поверхности ограждения, $^{\circ}\text{C}$;

t_o – температура окружающей среды, $^{\circ}\text{C}$;

τ – продолжительность периода работы аппарата, с.

В процессе отдачи теплоты ограждениями котла имеет место теплоотдача конвекцией и излучением, поэтому коэффициент теплоотдачи в данном случае определяется по формуле:

$$\alpha_o = \alpha_k + \alpha_{\text{л}}, \quad (26)$$

где α_k – коэффициент теплоотдачи конвекцией, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

$\alpha_{\text{л}}$ – коэффициент теплоотдачи излучением (лучеиспусканием), $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

При определении коэффициента теплоотдачи конвекцией, прежде всего,

необходимо, выяснить характер теплообмена: происходит ли он при вынужденном или свободном движении воздуха относительно теплоотдающей поверхности.

При вынужденном движении воздуха коэффициент теплоотдачи определяется при помощи критериев Рейнольдса Re и Прандтля Pr . Первый из них характеризует динамику потока, второй – физические константы окружающей среды (воздуха).

Необходимо учитывать, что отдача теплоты стенками аппарата в окружающую среду происходит в основном при свободном движении воздуха, поэтому определяющими являются критерии Грасгофа Gr и Прандтля Pr . Первый характеризует интенсивность конвективных потоков, возникающих вследствие разности плотностей рабочего тела (воздуха) и перепада температур между ним и стенкой аппарата с учётом геометрической характеристики теплоотдающей поверхности.

Из основоопределяющих критериев находится критерий Нуссельта Nu , включающий значение коэффициента теплоотдачи конвекцией и характеризующий собой тепловое подобие.

Указанные выше критерии имеют следующий вид:

$$Re = \frac{wl}{\nu}; \quad Pr = \frac{\nu}{a}; \quad Gr = \frac{\beta g l^3 \Delta t}{\nu^2}; \quad Nu = \frac{\alpha_k l}{\lambda} \quad (27, 28, 29, 30)$$

где w – скорость движения падения, м/с ;

λ – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(м·К);

β – коэффициент объёмного расширения воздуха, 1/К;

$$\beta = \frac{1}{T} = \frac{1}{273 + t}$$

t – определяющая температура, °С;

l – определяющий геометрический размер теплоотдающей поверхности, м;

ν – кинематический коэффициент вязкости воздуха, м²/с;

Δt – перепад температур между ограждением и воздухом, К

$$\Delta t = t_{\pi} - t_o.$$

Значения физических параметров сухого воздуха, необходимые при определении Gr , Pr и α_k приведены в таблице 2.

При свободной конвекции в неограниченном пространстве критериальное уравнение для расчета коэффициента теплоотдачи конвекцией имеет вид

$$Nu = c(Gr \times Pr)^n. \quad (31)$$

Величины коэффициента пропорциональности c и показателя степени n для отдельных областей изменения произведения критериев $Gr \cdot Pr$ можно принять из таблицы 3.

Определяющим геометрическим размером теплоотдающей поверхности при этом может являться диаметр котла или высота ограждения.

Определяющей температурой для расчета теплоотдачей является полу-сумма температур рабочего тела (воздуха) и стенки:

$$t = 0,5(t_{\pi} + t_o)$$

Коэффициент теплоотдачи излучением $\alpha_{\text{л}}$ определяется по формуле Стефана - Больцмана:

$$\alpha_{\text{л}} = \frac{\varepsilon C_0}{t_{\text{п}} - t_0} \left[\left(\frac{T_{\text{п}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_0}{100} \right)^4 \right], \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)} \quad (32)$$

где ε – степень черноты полного нормального излучения соответствующей поверхности (табличная величина);

C_0 – коэффициент излучения абсолютно чёрного тела, $C_0 = 5,68 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$;

$t_{\text{п}}$ – температура соответствующей теплоотдающей поверхности при данном режиме, °С;

t_0 – температура окружающего воздуха, °С;

$T_{\text{п}}$ – абсолютная температура соответствующей поверхности ограждения при данном режиме, К:

$$T_{\text{п}} = t_{\text{п}} + 273;$$

T_0 – абсолютная температура окружающей среды, К

$$T_0 = t_0 + 273.$$

Таблица 2 – Физические параметры сухого воздуха

$t, ^\circ\text{C}$	Коэффициент теплопроводности $\lambda \times 10^2, \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$	Кинематический коэффициент вязкости, $\nu \times 10^6, \text{ м}^2/\text{с}$	Критерий Прандтля Pr
20	2,59	15,06	0,703
30	2,67	16,00	0,706
40	2,76	16,98	0,696
50	2,83	17,95	0,698
60	2,9	18,97	0,696
70	2,96	20,02	0,694
80	3,05	21,09	0,692
90	3,13	22,10	0,690
100	3,21	23,13	0,688
120	3,34	25,45	0,686
140	3,49	27,80	0,684
160	3,64	30,09	0,682

При нестационарном режиме работы для расчёта потерь теплоты от отдельных поверхностей котла в окружающую среду формула (25) принимает вид

$$Q_5' = \alpha_o' F (t_{\text{п}}' - t_0) \tau' / 1000, \text{ кДж},$$

где τ' – время разогрева аппарата, с;

α_o' – коэффициент теплоотдачи от поверхности ограждения в окружающую среду, Вт/(м²·К) (26);

$t_{\text{п}}'$ – средняя температура поверхности ограждения за время разогрева, °С;

$$t_{\text{п}}' = \frac{t_{\text{п}}'' + t_{\text{н}}}{2} = \frac{t_{\text{п}}'' + t_0}{2}$$

t_n'' – средняя температура поверхности ограждения к концу разогрева, °С;
 t_n – начальная температура поверхности ограждения, принимается равной температуре окружающей среды, °С.

Таблица 3 - Величины коэффициента пропорциональности c и показателя степени n для отдельных областей изменения произведения критериев $Gr \cdot Pr$

$Gr \cdot Pr$	c	n
$< 5 \times 10^2$	1,18	1/8
$5 \times 10^2 \dots 2 \times 10^7$	0,54	1/4
$> 2 \times 10^7$	0,135	1/3

Среднюю температуру отдельных поверхностей котла с пароводяной рубашкой к концу разогрева t_n'' можно принять:

- а) для обечайки – 50...55°С;
- б) для одностенной крышки котла – 85...90 °С;
- в) для двустенной крышки котла – 70...75 °С.

При определении коэффициента теплоотдачи конвекцией определяющая температура для воздуха, окружающего корпус (ограждение), будет равна:

$$t' = \frac{t_n' + t_o}{2}.$$

При стационарном режиме потери теплоты в окружающую среду от отдельных поверхностей котла определяются выражением:

$$Q_5'' = \alpha_o'' F (t_n'' - t_o) \tau'' / 1000, \text{ кДж},$$

где α_o'' – коэффициент теплоотдачи при стационарном режиме от поверхности в окружающую среду, Вт/(м²·К)

t_n'' – постоянная температура поверхности ограждения при стационарном режиме, °С;

τ'' – продолжительность стационарного режима работы котла, с.

При определении коэффициента теплоотдачи конвекцией, определяющая средняя температура воздуха, соприкасающегося с ограждением, будет равна:

$$t'' = \frac{t_n'' + t_o}{2}$$

Приведём пример определения температуры обечайки, определяющей температуры воздуха, критериев подобия, коэффициента теплоотдачи конвекцией, коэффициента теплоотдачи излучением и суммарного коэффициента теплоотдачи для режима разогрева

Средняя температура поверхности при нестационарном режиме для обечайки

$$t_n' = \frac{t_n'' + t_o}{2} = \frac{50 + 20}{2} = 35 \text{ °С}$$

$$\Delta t' = t_n' - t_o = 35 - 20 = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Температура воздуха, окружающего обечайку, нагретую до $40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (определяющая температура):

$$t' = \frac{t_n' + t_o}{2} = \frac{35 + 20}{2} = 27,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Значение } b' = \frac{1}{273 + 27,5} = \frac{1}{300,5}, 1/\text{K}$$

При температуре воздуха $27,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ выпишем из таблицы 2 физические параметры сухого воздуха и определим критерий Грасгофа.

Далее находим значения произведения $\text{Gr} \cdot \text{Pr}$, критерия Нуссельта Nu' и α_k' .

По значению критерия Нуссельта определяется коэффициент теплоотдачи конвекцией для обечайки при стационарном режиме:

$$a_k' = \frac{\text{Nu}' l}{l}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K}) \quad (33)$$

Коэффициент теплоотдачи излучением α_l' при режиме разогрева котла для обечайки определяется по формуле Стефана-Больцмана и составит

$$a_l' = \frac{\epsilon C_o}{t_n' - t_o} \left[\left(\frac{T_n'}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_o}{100} \right)^4 \right],$$

Общий коэффициент теплоотдачи от обечайки будет $a_o' = a_k' + a_l'$

Для стационарного режима средняя температура для обечайки

$$t_n' = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t'' = t_n'' - t_o = 50 - 20 = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Температура воздуха, окружающего обечайку, нагретую до $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ равна:

$$t'' = \frac{(50 + 20)}{2} = 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

При температуре воздуха $35 \text{ }^{\circ}\text{C}$ выпишем из таблицы 2 физические параметры сухого воздуха: коэффициент температуропроводности a , коэффициент теплопроводности λ , кинематический коэффициент вязкости ν , критерий Прандтля Pr , затем находим произведение $(\text{Gr} \cdot \text{Pr})$, s , n (таблица 3) и численную величину критерия Nu'' .

Определение расхода теплоты на разогрев конструкции.

Расчет расхода теплоты на разогрев конструкции ведётся только для нестационарного режима работы аппарата. Расход теплоты на разогрев конструкции котла и парообразование в пароводяной рубашке определяется следующим выражением:

$$Q_6 = Q_6^M + Q_6^H + Q_6^П,$$

где Q_6^M – теплота, расходуемая на нагревание металлических конструкций котла, кДж;

$Q_6^И$ – теплота, расходуемая на нагревание изоляции котла, кДж;

$Q_6^П$ – теплота, расходуемая на нагревание воды в парогенераторе и парообразование в пароводяной рубашке, кДж;

Составляющие этого расхода определяются следующими формулами

$$Q_6^М = \sum G_{M_i} c_{M_i} (t_{M_i} - t_o), \quad (34)$$

где G_{M_i} – масса i -го элемента металлической конструкции (крышки, постамент, арматуры, внутреннего котла и т.п.), кг. Для каждого элемента масса рассчитывается по формуле

$$G_{M_i} = V_i \rho_i$$

где V_i – объём элемента i -й конструкции, m^3 ;

ρ_i – плотность материала элемента конструкции, $кг/м^3$;

c_{M_i} – удельная теплоемкость материала конструкции, $кДж/(кг \cdot K)$;

t_{M_i} – средняя конечная температура нагрева металлоконструкции котла, $^{\circ}C$.

Конечную температуру по элементам конструкции можно принять:

внутренний котел – $100^{\circ}C$;

наружный котел – $110^{\circ}C$;

наружная обечайка (кожух) – $50...55^{\circ}C$;

постамент – $30^{\circ}C$;

арматура – $40^{\circ}C$;

крышка котла – $85^{\circ}C$.

t_o – начальная температура металлоконструкции котла, $^{\circ}C$.

$$Q_6^И = G_{и} c_{и} (t_{и} - t_o); \quad (35)$$

где $G_{и}$ – масса изоляционной конструкции котла, кг;

$$G_{и} = \delta_{и} F_{и} \rho_{и},$$

где $\delta_{и}$, $F_{и}$, $\rho_{и}$ – толщина (м), площадь слоя изоляции (m^2), плотность материала изоляции ($кг/м^3$) соответственно;

$c_{и}$ – теплоемкость изоляции, $кДж/(кг \cdot K)$;

$t_{и}$ – средняя температура нагрева изоляции, $^{\circ}C$;

$$t_{и} = \frac{t_{вн} + t_{кож}}{2},$$

где $t_{вн}$ – температура частей изоляции, касающихся наружного котла, $^{\circ}C$;

$t_{кож}$ – температура частей изоляции, касающихся кожуха, $^{\circ}C$;

t_o – начальная температура изоляции, равная температуре окружающей среды, $^{\circ}C$.

$$Q_6^П = W_{пг} c_{в} (t_{пг} - t_o) + G_{пг} r_{пг} \quad (36)$$

где $W_{пг}$ – масса воды, заливаемой в парогенератор котла, кг;

$c_{в}$ – теплоёмкость воды, $кДж/(кг \cdot K)$; $c_{в} = 4,19$ $кДж/(кг \cdot K)$;

$t_{пг}$ – температура кипения воды ($^{\circ}C$), зависящая от давления в пароводяной рубашке котла (см. таблицу 4 приложения).

t_o – начальная температура воды, °С;

G_{Π} – масса пароводяной смеси, кг;

$$G_{\Pi} = V_{\Pi} \rho_{\Pi};$$

где V_{Π} – объём пароводяной рубашки котла, м³:

$$V_{\Pi} = H \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2).$$

Здесь D – диаметр наружного котла, м;

d – диаметр внутреннего котла, м;

H – высота пароводяной рубашки (от крана уровня), м;

ρ_{Π} – плотность пароводяной смеси, кг/м³.

$$\rho_{\Pi} = \frac{1}{v''}$$

v'' – удельный объём сухого насыщенного пара, м³/кг;

r_{Π} – скрытая теплота парообразования при рабочем давлении в пароводяной рубашке, кДж/кг.

Величины ρ_{Π} , v'' , r_{Π} находятся из таблицы “Параметры водяного пара” по принятому давлению в пароводяной рубашке.

Итоги

Результаты теплового расчета сводим в табл. 4.

Таблица 4

Расход теплоты, кДж	Режим разогрева	Стационарный режим
Полезно используемая теплота	Q_1'	Q_1''
Потери теплоты с уходящими продуктами сгорания газа	Q_2'	Q_2''
Потери теплоты аппаратом в окружающую среду	Q_5'	Q_5''
Потери теплоты на разогрев конструкции аппарата и парообразование в пароводяной рубашке	Q_6'	-
ИТОГО:	$\Sigma Q'$	$\Sigma Q''$

По полученным значениям $\Sigma Q'$ и $\Sigma Q''$ определяют расходы газа аппаратом при режиме разогрева V' и стационарном режиме V'' (смотри определение потерь теплоты с уходящими продуктами сгорания).

Учитывая, что аппарат должен быть снабжен автоматикой регулирования теплового режима, выбирают количество инжекционных горелок таким образом, чтобы при режиме разогрева работали все горелки или одна с суммарным расходом газа V_{τ}' , а при стационарном режиме – одна либо две горелки с расходом газа V_{τ}'' .

Пример:

$$V'_\tau = 5 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$V''_\tau = 2 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

В данном случае можно выбрать две горелки со следующими расходами:

1 горелка с расходом газа $2 \text{ м}^3/\text{ч}$.

1 горелка с расходом газа $3 \text{ м}^3/\text{ч}$.

При стационарном режиме будет работать только одна горелка с расходом газа $2 \text{ м}^3/\text{ч}$.

При оснащении котла автоматикой 2АРБ выбирается только одна горелка с большим расходом газа. После выбора количества инжекционных газовых горелок производят их расчёт по методике, приведенной в [1] на с. 184-190, [2] на с. 133-139 или [10] на с. 106-117.

4.1.2. Электрические пищеварочные котлы

Исходные данные для проектирования

Наименование блюд	Номер варианта и марка аппарата					
	4	5	6	7	8	9
Щи из свежей капусты	КЭ-100	КПЭ-40	КПЭ-60	КПЭ-100	УЭВ-40	УЭВ-60
Борщ украинский						
Борщ						
Суп харчо		УЭВ-40	УЭВ-60	УЭВ-40	УЭВ-60	УЭВ-60
Борщ сибирский						
Борщ с фасолью						

При проектировании электрических пищеварочных котлов определяются часовые расходы электрической энергии и расчеты электрических нагревательных элементов. При выполнении этой темы в основу расчета следует брать нестационарный режим работы котла, в виду того, что в период разогрева к котлу подводится значительно больше теплоты, чем в период кипения.

Тепловой баланс электрического пищеварочного котла можно выразить следующим равенством:

$$Q = Q_1 + Q_5 + Q_6, \text{ кДж},$$

где Q – подведенная теплота, кДж;

Q_1 – полезно используемая теплота, кДж;

Q_5 – потери теплоты наружными поверхностями котла в окружающую среду, кДж;

Q_6 – теплота, расходуемая на нагревание конструкции котла и на парообразование в пароводяной рубашке, кДж.

В дальнейшем тепловой расчет электрического котла проводится также, как и расчет газового пищеварочного котла, рассмотренный в первой части методуказаний, т.е. отдельно для периода разогрева.

Результаты теплового расчета сводятся в таблицу:

Расход теплоты, кДж	Режим разогрева	Стационарный режим
Полезно используемая теплота	Q_1'	Q_1''
Потери теплоты в окружающую среду	Q_5'	Q_5''
Потери теплоты на разогрев конструкции котла и парообразование в пароводяной рубашке	Q_6	-
ИТОГО:	$\Sigma Q'$	$\Sigma Q''$

Полная мощность ТЭНов при режиме разогрева может быть определена по уравнению:

$$P' = \frac{Q'}{\tau}, \text{ кВт}$$

Мощность, необходимая для стационарного режима, т.е. для поддержания слабого кипения:

$$P'' = \frac{Q''}{\tau}, \text{ кВт}$$

где τ' и τ'' – соответственно продолжительность разогрева и продолжительность слабого кипения, с.

Для равномерной нагрузки на все фазы количество трубчатых электронагревателей (ТЭНов) следует выбирать кратным трем (три, шесть, девять и т.д.). Приняв количество ТЭНов, далее необходимо определить мощность одного ТЭНа по выражению:

$$P_1 = \frac{P'}{n}$$

где n – количество принятых ТЭНов, шт. Далее необходимо провести расчет ТЭНа мощностью P_1 по методике, приведенной в [1] на с. 214-216; [2] на с. 101-108 или [10] на с. 103-106.

4.1.3 Паровые пищеварочные котлы

Тепловой баланс парового пищеварочного котла для периода разогрева описывается уравнением:

$$Q = Q_1 + Q_5 + Q = D(i'' - i'), \text{ кДж},$$

где Q – подведенная теплота, кДж;

Q_1 – полезно используемая теплота, кДж;

Q_5 – потери теплоты наружными поверхностями котла в окружающую среду, кДж;

Q_6 – расход теплоты на разогрев конструкции аппарата, кДж;

D' – полный расход пара котлом, кг;

i'' – энтальпия пара, входящего в паровую рубашку котла, кДж/кг;

i' – энтальпия конденсата, кДж/кг; (энтальпии определяются по таблице “Параметры водяного пара”).

Исходные данные для проектирования

Наименование блюд	Номер варианта и марка аппарата			
	10	11	12	13
Уха (бульон рыбный)	КПП-40	КПП-60	КПП-160	КПП-250
Каша гречневая рассыпчатая				
Суп молочный с пшеном				
Суп с бобами				

В дальнейшем тепловой расчет парового пищеварочного котла производится так же, как и расчет газового пищеварочного котла, рассмотренный нами ранее, т.е. отдельно для двух режимов его работы

Результаты теплового расчета сводятся в таблицу:

Расход теплоты, кДж	Режим разогрева	Стационарный режим
Полезно используемая теплота	Q_1'	Q_1''
Потери теплоты в окружающую среду	Q_5'	Q_5''
Потери теплоты на нагревание конструкции	Q_6'	-
ИТОГО:	$\Sigma Q'$	$\Sigma Q''$

Расход пара при разогреве можно определить, используя уравнение:

$$D' = \frac{Q_1'}{i'' - i'}, \text{ кг}$$

Расход пара при стационарном режиме можно определить из аналогичного уравнения:

$$D'' = \frac{Q_1''}{i'' - i'}, \text{ кг}$$

Полный расход пара котлом D определяется как сумма D' и D'' . После этого производится расчет и подбор конденсатоотводчика по методике, приведенной в [3] на с. 364-366.

Часовой (или секунднй) расходы пара при соответствующих режимах определяются формулами:

$$D_4' = \frac{D'}{\tau_{\text{ч}}}, \text{ кг/ч}; \quad D_c' = \frac{D'}{\tau_{\text{с}}}, \text{ кг/с}$$

$$D_4'' = \frac{D''}{\tau_{\text{ч}}}, \text{ кг/ч}; \quad D_c'' = \frac{D''}{\tau_{\text{с}}}, \text{ кг/с}$$

где $\tau'_ч$ и $\tau'_с$ – время разогрева котла соответственно в часах и секундах;
 $\tau''_ч$ и $\tau''_с$ – время варки соответственно в часах и секундах.

4.1.4. Автоклавы

Исходные данные для проектирования

Наименование блюд	Номер варианта и марка аппарата		
	14	15	16
Бульон мясной	АГ-60	АП-60	АЭ-1
Бульон из кур			
Бульон из кур			

4.1.4.1. Газовые пищеварочные автоклавы

Тепловой расчет производится для двух режимов – режима нагревания содержимого автоклава до кипения и режима слабого кипения. Уравнения теплового баланса для указанных режимов необходимо составлять в соответствии с выражением (1):

$$Q' = Q'_1 + Q'_2 + Q'_5 + Q'_6, \text{ кДж},$$

$$Q'' = Q''_1 + Q''_2 + Q''_5, \text{ кДж},$$

Определение полезно используемой теплоты.

А. Режим разогрева

Например, в автоклаве готовится костный бульон.

При приготовлении костного бульона расход теплоты на нагрев загруженных костей и воды необходимо определить по формуле:

$$Q'_1 = G_K c_K (t_K - t_H) + W c_B (t_K - t_H), \text{ кДж} \quad (37)$$

где G_K – масса костей, кг;

c_K – теплоемкость костей, кДж/(кг·К);

W – количество залитой в автоклав воды, кг;

c_B – теплоемкость воды, кДж/(кг·К);

t_K – температура нагрева содержимого автоклава (зависит от давления внутри автоклава), °С;

t_H – начальная температура костей и воды, °С.

Б. Стационарный режим

При стационарном режиме полезно используемая теплота расходуется на слабое кипение содержимого автоклава.

Так как по окончании процесса варки производится продувка автоклава с целью снижения давления внутри автоклава до атмосферного, то полезно используемую теплоту при стационарном режиме необходимо определять как расход теплоты на испарение с зеркала воды при продувке. Необходимо пом-

нить, что парообразование при продувке происходит вследствие разности давлений внутри и вне автоклава и составляет примерно 4% от полезно используемой теплоты при режиме нагрева, т.е.

$$Q_1'' = 0,04 \cdot Q_1', \text{ кДж}$$

В дальнейшем расчет газового автоклава необходимо производить аналогично расчету газового пищеварочного котла, рассмотренному ранее, но с учетом специфических особенностей автоклавов (необходимо учесть теплоту, расходуемую на разогрев сетчатой корзины, более высокое давление, а следовательно, и температуру в автоклаве). Результаты расчета сводятся в таблицу:

Расход теплоты, кДж	Режим разогрева	Стационарный режим
Полезно используемая теплота	Q_1'	Q_1''
Потери теплоты с уходящими продуктами сгорания газа	Q_2'	Q_2''
Потери теплоты в окружающую среду	Q_5'	Q_5''
Потери теплоты на нагревание конструкции	Q_6'	-
ИТОГО:	$\Sigma Q'$	$\Sigma Q''$

По полученным значениям Q' и Q'' следует определить расходы газа аппаратом при разогреве B' и стационарном режиме B'' . Затем необходимо произвести выбор количества инжекционных горелок и их расчет ([1] с. 184-190).

4.1.4.2. Электрические пищеварочные автоклавы

Уравнения теплового баланса для режима разогрева и стационарного режима следует составить в соответствии с выражением (1):

$$Q' = Q_1' + Q_5' + Q_6', \text{ кДж},$$

$$Q'' = Q_1'' + Q_5'', \text{ кДж},$$

В дальнейшем тепловой расчет электрического автоклава необходимо провести ориентируясь на расчет газового автоклава и газового пищеварочного котла, а результаты теплового расчета свести в итоговую таблицу:

Расход теплоты, кДж	Режим разогрева	Стационарный режим
Полезно используемая теплота	Q_1'	Q_1''
Потери теплоты в окружающую среду	Q_5'	Q_5''
Потери теплоты на нагревание конструкции	Q_6'	-
ИТОГО:	$\Sigma Q'$	$\Sigma Q''$

По полученным значениям Q' и Q'' необходимо определить максимальную мощность нагревательных элементов (ТЭНов):

а) разогрев аппарата $P' = \frac{Q'}{\tau}$, кВт

б) стационарный режим $P'' = \frac{Q''}{\tau}$, кВт

где τ' и τ'' – соответственно продолжительность режимов разогрева и стационарного, с.

Для равномерной нагрузки на все фазы количество ТЭНов рекомендуем выбирать кратным трем. Приняв количество ТЭНов, затем следует определить мощность одного ТЭНа, из выражения:

$$P_{\text{э}} = \frac{P'}{n}$$

где n – принятое количество ТЭНов, шт.

Далее осуществляется расчет ТЭНа мощностью $P_{\text{э}}$ по методике, приведенной в [1] на с. 214-216.

4.1.4.3. Паровые автоклавы

Тепловой расчет парового автоклава необходимо проводить, ориентируясь на методику расчетов газового автоклава и парового пищеварочного котла, рассмотренных нами ранее, но с учетом специфической особенности автоклавов (необходимо учесть теплоту, пошедшую на разогрев сетчатой корзины, более высокое давление, а, следовательно, и температуру в автоклаве).

Результаты теплового расчета необходимо представить в таблице:

По полученным значениям Q' и Q'' необходимо определить часовые (или секундные) расходы пара для режима разогрева D' и для стационарного режима D'' . По расходу пара затем проводится расчет и подбор конденсатороотводчиков по методике, приведенной в [1] на с. 364-366.

Расход теплоты, кДж	Режим разогрева	Стационарный режим
Полезно используемая теплота	Q_1'	Q_1''
Потери теплоты в окружающую среду	Q_5'	Q_5''
Потери теплоты на нагревание конструкции	Q_6'	-
ИТОГО:	$\Sigma Q'$	$\Sigma Q''$

4.2. Электрические жарочно-кондитерские шкафы

Исходные данные для проектирования

Наименование блюда	Номер варианта и марка аппарата					
	17	18	19	20	21	22
Зразы рубленые	ШЖЭСМ-2	ЭШ-3М	ШЖЭ-0,85	ШЖЭ-1,36	ШПЭСМ-3	КЭП-400
Булочки						
Расстегаи						
Булочки						
Булочки						
Булочки						

Основным элементом жарочно-кондитерского и пекарского шкафов является рабочая камера (жарочная или пекарная), поэтому в данной методике рассматривается как определение производительности рабочей камеры (шкафа в целом), так и тепловой баланс рабочей камеры шкафа.

Определение часовой производительности следует проводить в соответствии с методикой, приведенной в [3] на с. 160-161. При этом следует учитывать время разогрева до максимальной температуры и внутренние размеры рабочих камер шкафов, которые необходимо принимать из технических характеристик этих аппаратов.

Тепловой баланс камеры шкафа составляется на 1 кг горячей продукции, так как при остывании готовая продукция в зависимости от ассортимента, времени, способа хранения значительно изменяет свою массу (до 3%).

Уравнение теплового баланса рабочей камеры жарочно-кондитерского шкафа можно составить, пользуясь выражением (в кДж/кг горячей продукции):

$$q = q_1 + q_5 + q_6,$$

где q – количество теплоты, передаваемой в камеру на 1 кг горячей продукции;

q_1 – теоретический расход теплоты, т.е. полезно используемая теплота на выпечку 1 кг горячей продукции;

q_5 – потери теплоты в окружающую среду стенками и через дверцы камеры;

q_6 – потери теплоты на нагрев конструкции камеры, кондитерских листов, противней и другой тары.

В дальнейшем тепловой расчет рабочей камеры необходимо производить параллельно для двух режимов – режима разогрева камеры и стационарного режима. Индексом ' обозначаются параметры, относящиеся к периоду разогрева камеры, а индексом " – к стационарному режиму.

Определение полезно используемой теплоты.

Теоретический расход теплоты на выпечку изделий имеет место при стационарном режиме. При этом теплота расходуется на нагрев теста до оптимальной температуры, обеспечивающей готовность и доброкачественность из-

делий (принимается из технологических справочников или на основании опытных данных), на испарение влаги из теста и на дальнейший перегрев пара до температуры воздуха камеры при выходе из нее. Например, при определении теоретического расхода теплоты на выпечку 1 кг пшеничных булок развесом 0,5 кг из муки 1 сорта можно принять:

упек	7 %
влажность булки в горячем состоянии	42 %
содержание мякиша	84 %
содержание корки	16 %
температуру теста, поступающего в камеру	30 °С
температуру мякиша горячей булки при выходе из камеры	98 °С
температуру корки	130 °С

Теоретический расход теплоты на выпечку 1 кг булок можно определить из уравнения:

$$q_1'' = \omega_{\text{и}}(i_{\text{п}} - i_{\text{в}}) + g_{\text{к}}c_{\text{к}}(t_{\text{к}} - t_{\text{м}}) + (g_{\text{м}}c_{\text{м}} + \omega_{\text{м}}c_{\text{в}})(t_{\text{м}} - t_{\text{т}}), \quad (38)$$

где первое слагаемое – расход теплоты на испарение влаги из теста (упек) и перегрев получившегося пара до температуры среды пекарной камеры;

второе слагаемое – расход теплоты на образование корки;

третье слагаемое – расход теплоты на образование выпеченного мякиша;

$\omega_{\text{и}}$ – упек относительно горячих булок в кг/кг; определяется по разности масс теста и готовой продукции и колеблется для различных изделий от 0,04 до 0,25 кг/кг (4...25 %);

$i_{\text{п}}$ – энтальпия перегретого пара при температуре камерной смеси на выходе из камеры и атмосферном давлении, кДж/кг; определяется по I-S диаграмме для водяного пара.

$i_{\text{в}}$ – энтальпия воды в тесте при температуре теста, поступающего в пекарную камеру, кДж/кг:

$q_{\text{к}}$ – содержание корки в 1 кг изделия, кг/кг; корка может быть принята за абсолютно сухое вещество, а ее количество от 0,05 до 0,17 кг/кг (5...17%).

$c_{\text{к}}$ – удельная теплоемкость корки, кДж/(кг·К), может быть принята как теплоемкость сухого вещества равной 1,67 кДж/(кг·К);

$t_{\text{к}}$ – средняя температура корки в °С; можно принять равной среднеарифметической между температурами поверхности корки (обычно 160 °С) и слоя, граничащего с мякишем (100 °С);

$t_{\text{т}}$ – температура теста, поступающего в пекарную камеру, °С; принимается равной температуре расстойки теста – 30 °С;

$g_{\text{м}}$ – содержание сухого вещества в мякише 1 кг горячего изделия, кг/кг. Для определения сухого вещества можно использовать уравнение:

$$g_{\text{м}} = 1 - (\omega_{\text{м}} - g_{\text{к}}),$$

где ω_m – содержание общей влаги в 1 кг изделий (мякиша) в момент выхода из камеры, кг/кг. Средняя влажность, отнесенная ко всему изделию (мякиш, корка) для разных сортов различная и определяется анализом. Для данного расчета влажность булки можно принять равной 6,42 кг/кг;

c_m – удельная теплоемкость сухого вещества мякиша, кДж/(кг·К), принимается равной 1,67 кДж/(кг·К).

c_v – удельная теплоемкость влаги в изделиях, кДж/(кг·К), которая может быть принята как теплоемкость воды равной 4,19 кДж/(кг·К);

t_m – средняя температура мякиша в момент выгрузки изделия из камеры, °С; может быть принята в пределах 95...98°С.

Определение потерь теплоты в окружающую среду стенками и через дверцы камеры.

Потери теплоты в окружающую среду обуславливаются разностью температур стенок камеры и окружающего воздуха. Кроме того, при открывании дверцы камеры шкафа имеют место потери излучением и потери на нагрев вентиляционного воздуха.

При известных суммарных потерях теплоты в окружающую среду Q_5 (Вт) и часовой производительности камеры M (кг/ч), потери теплоты, отнесенные к 1 кг горячей продукции, следует определять по уравнению:

$$q_5 = 3,6 \frac{Q_5}{M}, \text{ кДж/кг.}$$

Производительность камеры шкафа (в кг/ч) определяется формулой:

$$M = \frac{(60 \cdot a \cdot m \cdot n \cdot n_1)}{\tau}, \quad (39)$$

где a – число изделий на листе (противне), шт; m – масса 1 изделия, кг;

n – число листов (противней) на поду или полке, шт;

n_1 – число подов или полок, шт;

τ – время подооборота, равное сумме времени загрузки, тепловой обработки и выгрузки изделий, мин.

А. Нестационарный режим

Так как при режиме разогрева верхней камеры шкафа дверца камеры закрыта, то суммарные потери в окружающую среду складываются только из потерь теплоты четырьмя вертикальными стенками и одной верхней горизонтальной стенкой камеры. Потери теплоты вниз следует не учитывать, так как работает и нижняя камера.

Среднюю температуру отдельных наружных поверхностей жарочно-кондитерского шкафа при стационарном режиме можно принять:

а) для вертикальных поверхностей 50 °С;

б) для горизонтальных поверхностей 60...65 °С;

Для удобства расчета следует определять теплоотдачу отдельно вертикальными и горизонтальными стенками, применяя формулу:

$$Q'_5 = \alpha'_v \cdot F_v \cdot (t'_v - t_o) + \alpha'_r \cdot F_r \cdot (t'_r - t_o), \text{ Вт}$$

Первое слагаемое определяет теплоотдачу вертикальными стенками, второе – горизонтальными. Коэффициенты теплоотдачи α_v и α_r в этом выражении учитывают теплоотдачу конвекцией и излучением и определяются по формуле:

$$\alpha = \alpha_k + \alpha_l,$$

где α_k – коэффициент теплоотдачи конвекцией, Вт/(м²·К);

α_l – коэффициент теплоотдачи излучением, Вт/(м²·К).

Коэффициенты теплоотдачи следует определять по методике, изложенной при рассмотрении теплового баланса газового пищеварочного котла.

Получаем

$$q_5' = 3,6 \frac{Q_5'}{M}, \text{ кДж/кг.}$$

Б. Стационарный режим

Потери теплоты в окружающую среду при стационарном режиме работы рабочей камеры следует определять из выражения:

$$q_5'' = q_5^{ст} + q_5^{возд} + q_5^{изл}, \text{ кДж/кг}$$

В этом выражении первое слагаемое – потери теплоты в окружающую среду четырьмя вертикальными и одной верхней горизонтальной стенками камеры (определяются по методике, изложенной при рассмотрении теплового баланса газового пищеварочного котла и q_5'). Второе слагаемое – потери теплоты на нагрев вентиляционного воздуха. Третье слагаемое – потери теплоты излучением через дверцу камеры шкафа.

Потери теплоты на нагрев вентиляционного воздуха $q_5^{возд}$ имеют место вследствие значительной разности температуры парогазовой среды пекарной камеры (180-300 °С) и температуры окружающего воздуха (20...25 °С) и происходят при открывании дверцы и через вентиляционное отверстие.

Расход теплоты на нагрев вентиляционного воздуха можно рассчитать, пользуясь приближенной формулой:

$$q_5^{возд} = \frac{\omega_{и} + D}{d_{п} - d_{о}} C_v (t_r - t_x), \text{ кДж/кг} \quad (40)$$

где C_v – средняя массовая удельная теплоемкость воздуха, равная 1,005 кДж/(кг·°С);

t_r – температура влажного воздуха на выходе из камеры; °С; $t_r = 180...200$ °С;

t_x – температура воздуха, поступающего в пекарную камеру $t_x = 20...25$ °С;

$\omega_{и}$ – количество пара, образующегося при выпечке за счет испарения влаги из выпекаемого изделия (упек), кг/кг;

D – количество пара, поступающего в пекарную камеру для увлажнения, кг/кг. Так как увлажнение паром в жарочно-кондитерских шкафах не производится, то $D = 0$.

d_{Π} – влагосодержание воздуха (т.е. количество кг влаги, содержащейся в 1 кг сухого вентиляционного воздуха) при выходе из пекарной камеры, кг/кг. Определяется по $I - d$ диаграмме для влажного воздуха по принятым температуре среды пекарной камеры и ее относительной влажности;

d_o – влагосодержание воздуха, поступающего в пекарную камеру, кг/кг. Определяется по $I - d$ диаграмме для влажного воздуха и по заданным или принятым температуре воздуха и его относительной влажности.

При температуре воздуха, поступающего в камеру, равной 20 °С и его относительной влажности 70 % значение влагосодержания $d_o = 0,01$ кг/кг.

При температуре воздуха, выходящего из камеры, равной 180 °С и его относительной влажности 40 % величина влагосодержания будет 0,418 кг/кг.

Потери теплоты излучением $q_5^{\text{изл}}$ имеют место при открывании дверцы шкафа. Потери излучением через открытую дверцу следует определять, используя уравнение:

$$q_5^{\text{возд}} = \varepsilon C_o F \varphi \tau \left[(0,01 T_r)^4 - (0,01 T_o)^4 \right] \frac{3,6}{M}, \text{ кДж/кг} \quad (41)$$

где ε – степень черноты излучающего отверстия;

C_o – коэффициент излучения абсолютно черного тела; $C_o = 5,68$ Вт/м²·К⁴); F – площадь излучаемого отверстия, м²; $F = a \cdot b$

a – внутренняя ширина камеры шкафа, м;

b – внутренняя высота камеры, м;

φ – угловой коэффициент излучения, можно принять $\varphi = 0,76$;

τ – время, в течение которого отверстие (дверца шкафа) открыто; можно принять $\tau = 0,14$ ч;

T_r – абсолютная температура среды камеры шкафа, К;

T_o – абсолютная температура окружающего воздуха, К;

M – производительность камеры, кг/ч.

Определение потерь теплоты на нагрев конструкции камеры и конденсаторских листов.

А. Нестационарный режим

Потери теплоты на разогрев конструкции камеры, происходящие при разогреве шкафа, необходимо определять по выражению

$$q_6' = q_6^M + q_6^И, \text{ кДж/кг},$$

где q_6^M – расход теплоты на разогрев металлических конструкций камеры;

$q_6^И$ – расход теплоты на разогрев теплоизоляции камеры.

Эти слагаемые следует определять, пользуясь выражением:

$$q_6' = \left[G_1 c_1 (t_1 - t_o) + G_2 c_2 (t_2 - t_o) \right] \frac{1}{M \cdot \tau},$$

где G_1 – масса металлических конструкций камеры, кг;

c_1 – теплоемкость металла камеры, кДж/(кг·°С);

t_1 – средняя температура нагрева металлических частей камеры, °С;

можно принять $t_1 = 180$ °С;

t_0 – начальная температура металлических конструкций камеры и тепловой изоляции, °С;

M – часовая производительность камеры, кг/ч;

τ' – время разогрева шкафа в часах – принимается из технической характеристики аппарата;

G_2 – масса теплоизоляции камеры, кг (определить из описания конструкции аппарата и технической характеристики);

C_2 – теплоемкость материала теплоизоляции камеры, кДж/(кг·°С);

t_2 – средняя температура нагрева теплоизоляции, °С, может быть определена из выражения:

$$t_2 = 0,5(t_{\text{вн}} + t_{\text{кож}}), \text{ °С}$$

$t_{\text{вн}}$ – температура частей изоляции, касающихся внутренней камеры, принимается равной 180 °С;

$t_{\text{кож}}$ – температура слоя изоляции, касающегося наружных листов кожуха камеры, принимается равной 60 °С;

Б. Стационарный режим

При стационарном режиме имеют место потери теплоты на разогрев кондитерских листов, противней и другой тары. Эти потери теплоты следует определять, пользуясь формулой:

$$q_6'' = gC(t_1 - t_0), \text{ кДж/кг},$$

где q – масса кондитерских листов, приходящаяся на 1 кг выпекаемых изделий, кг/кг.

$$g = \frac{g_{\text{л}}}{\epsilon_{\text{л}}}$$

$q_{\text{л}}$ – масса одного листа, кг;

$\epsilon_{\text{л}}$ – масса изделий на 1 листе, кг. Ориентировочно можно принять значение равное $g = 0,5$ кг/кг;

C – средняя теплоемкость материала листов, кДж/(кг·°С); можно принять как для стали – $C = 0,46$ кДж/(кг·°С);

t_1 – средняя температура листов на выходе из камеры, °С ($t_1 = 115 - 170$ °С);

t_0 – начальная температура листов или форм во время посадки в камеру, °С ($t_0 = 25 - 30$ °С).

Результаты теплового расчета пекарной камеры сводятся в таблицу:

Расход теплоты, кДж	Режим разогрева	Стационарный режим
Теоретический расход теплоты на выпечку 1 кг продукции		” q_1
Потери теплоты в окружающую среду стенками и через дверцы камеры	q_5	” q_5
Потери теплоты на нагревание конструкции камеры и кондитерских листов	q_6	” q_6
ИТОГО:	Σq	Σq

По результатам теплового расчета следует определить:

Q' – часовой расход теплоты при режиме разогрева конструкции камеры

$$Q' = q' \cdot M, \text{ кДж/ч}$$

P' – мощность нагревательных элементов, расходуемую в режиме разогрева

$$P' = Q' / 3600, \text{ кВт}$$

Q'' – часовой расход теплоты при стационарном режиме (период выпечки)

$$Q'' = q'' \cdot M, \text{ кДж/ч}$$

P'' – мощность нагревательных элементов, расходуемую в период выпечки

$$P'' = Q'' / 3600, \text{ кВт}$$

Обычно необходимая мощность для периода выпечки больше мощности, необходимой для периода разогрева. Поэтому для дальнейших расчетов принимается максимальная мощность по стационарному режиму. Затем необходимо определить мощность одного нагревателя из уравнения:

$$P_{\text{э}} = P'' / n, \text{ кВт},$$

где n – число нагревательных элементов, принимаемых для нагрева одной камеры.

При расчете ТЭНов для получения конструктивных данных необходимо вычертить в трех проекциях камеру шкафа в соответствующем масштабе. Из чертежа следует определить число и размеры трубчатых нагревательных элементов, установленных под потолком и под подовым листом камеры.

Активную длину трубки нагревательных элементов, после ее определения, следует уточнить и принять такой, чтобы она занимала всю длину камеры шкафа, обеспечивая более равномерную передачу теплоты.

Методика расчета трубчатых нагревательных элементов приведена в [1] на с. 214-216. Расчет можно выполнить, используя ПЭВМ по программе, имеющейся на ВЦ ДонГУЭТа.

4.3. Электрические фритюрницы

Наименование блюд	Номер варианта и марка аппарата			
	23	24	25	26
Рыба в тесте	ФНЭ-40	ФНЭ-10	ФЭ-20	ФЭСМ-20
Пончики				
Картофель				
Крокеты картофельные				

Прежде всего, следует определить:

G_o – количество одновременно загружаемого продукта для жарки во фритюрнице из выражения (в кг):

$$G_o = \frac{k_z \cdot V_{\text{ч}} \cdot \rho_{\text{п}} \cdot \rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{ж}} + 4\rho_{\text{п}}} \quad (42)$$

M – массовую часовую производительность (в кг/ч), используя выражение:

$$M = \frac{60 \cdot G_o}{\tau}$$

где $V_{\text{ч}}$ – объем загрузочной чаши фритюрницы, дм^3 (л);

k_z – коэффициент заполнения фритюрницы ($k_z = 0,6 - 0,7$);

$\rho_{\text{п}}$ – истинная плотность загружаемого продукта, кг/дм^3 ;

$\rho_{\text{ж}}$ – плотность жира, кг/дм^3 ;

G_o – количество одновременно загружаемого продукта для жарения, кг;

M – часовая производительность фритюрницы, кг/ч;

τ – продолжительность цикла обработки, мин. Далее следует составить уравнение теплового баланса для фритюрницы, при этом рекомендуем использовать равенство:

$$Q = Q_1 + Q_5 + Q_6, \text{ кДж/ч}$$

где Q – общий расход теплоты (подведенная теплота), кДж/ч;

Q_1 – полезно используемая теплота, необходимая для жарки продукта, кДж/ч;

Q_5 – потери теплоты в окружающую среду наружными поверхностями, кДж/ч;

Q_6 – потери теплоты на нагрев конструкции аппарата, кДж/ч.

Тепловой расчет фритюрницы предлагаем производить параллельно для двух режимов:

- 1) нестационарного или режима разогрева;
- 2) стационарного или режима жарки.

Так как методики определения потерь теплоты в окружающую среду наружными поверхностями аппарата и потерь теплоты на нагрев конструкции аппарата подробно изложены при рассмотрении тепловых расчетов газового пищеварочного котла и жарочно-кондитерского шкафа, то здесь они не приведены.

Определение полезно используемой теплоты.

А. Нестационарный режим

При режиме разогрева аппарата полезно используемая теплота расходуется на нагрев пищевого жира, при этом рекомендуется пользоваться формулой:

$$Q_1' = M_{\text{ж}} c_{\text{ж}} (t_1 - t_0) \frac{1}{\tau}, \text{ кДж/ч}$$

где $M_{\text{ж}}$ – масса пищевого жира, кг. При жарении во фритюре рекомендуется соотношение между количеством жира и загружаемого продукта в него 4:1;

$c_{\text{ж}}$ – теплоемкость пищевого жира; можно принять равной 1,676 кДж/(кг·К) для растительного масла);

t_1 – температура нагрева жира (равная температуре жарки), принимается равной 160 - 170 °С;

t_0 – начальная температура пищевого жира, °С;

τ – время разогрева аппарата до стационарного режима, ч.

Б. Стационарный режим

Следует иметь в виду, что при стационарном режиме полезно используемая теплота состоит из отдельных статей расхода и ее рекомендуется определить, по формуле:

$$Q_1'' = M \cdot C(t_2 - t_4) + 0,01x \cdot M \cdot r + 0,01k \cdot M \cdot c_k(t_3 - t_2) + 0,01m \cdot M \cdot c_{\text{ж}}(t_1 - t_0) \quad (43)$$

где первое слагаемое – расход теплоты на нагрев продукта, второе – расход теплоты на испарение влаги из продукта, третье – расход теплоты на образование корочки на продукте, четвертое – расход теплоты на нагрев доливаемого в процессе работы пищевого жира. В формуле (43) приняты следующие обозначения:

M – часовая производительность фритюрницы по сырью, кг/ч;

C – теплоемкость продукта, кДж/(кг·К);

t_2 – температура нагрева продукта, принимаемая равной – 100 °С;

t_4 – начальная температура продукта, °С;

x – истинный процент у жарки. Эту величину можно принять в пределах: для мяса, жаренного порционными кусками 20 - 38 %; овощей (картофеля) жареных 17 - 60 %;

r – скрытая теплота испарения при атмосферном давлении, кДж/кг;

k – процентное содержание корки в продукте, рекомендуем в расчетах принимать в пределах от 15 до 25 %;

c_k – теплоемкость корочки, можно принять как теплоемкость сухого вещества равной 1,67 кДж/(кг·К);

t_3 – температура образования корочки, °С (135 - 140 °С);

m – расход пищевого масла на обжаривание сырья в %; определяется из нормативной документации; ориентировочно рекомендуем принимать в пределах от 15 до 20 %.

Результаты теплового расчета фритюрницы предлагаем свести в таблицу:

Расход теплоты, кДж	Режим разогрева	Стационарный режим
Полезно используемая теплота	Q_1'	Q_1''
Потери теплоты в окружающую среду	Q_5'	Q_5''
Потери теплоты на нагревание конструкции	Q_6'	–
ИТОГО:	$\Sigma Q'$	$\Sigma Q''$

Необходимая мощность электронагревателей фритюрницы определяется так же, как рекомендовано в методике расчета жарочно-кондитерского шкафа.

4.4. Электрические сковороды

Наименование блюд	Номер варианта и марка аппарата					
	27	28	29	30	31	32
Перец, фаршированный овощами	СЭ-0,22	СНЭ-0,2	СЭСМ-0,2	СЭСМ-0,5	СКЭ-0,3	СКГ-0,3
Котлеты картофельные						
Антрекот с гарниром						
Сырники						
Рыба жареная						
Чебуреки жареные						

Процесс жарения в электрических сковородах может производиться различными способами: с небольшим количеством жира и во фритюре, насыпным способом или в ряд. Поэтому необходимо, приступая к расчету, уяснить себе, как будет размещаться продукт жарения (насыпным слоем или в ряд на поду), так как от этого будет зависеть качество жарения и количество одновременно загружаемого полуфабриката.

Для определения количества одновременно загружаемого полуфабриката и часовой производительности сковороды рекомендуем использовать уравнения:

– для полуфабрикатов обжариваемых насыпным слоем:

$$M_o = S \cdot h \cdot \rho, \text{ кг}; \quad (44)$$

– для штучных полуфабрикатов:

$$M_o = S \cdot K_{\text{и}} \frac{1}{S_{\text{изд}}}; \text{ шт} \quad (45)$$

– часовой производительности:

$$M = \frac{60 M_o}{\tau}, \text{ кг/ч (шт/ч)} \quad (46)$$

где M_o – количество одновременно загружаемого полуфабриката, кг (шт.);

S – площадь пода сковороды, м^2 ;

h – высота загружаемого слоя полуфабриката (картофель, морковь, бефстроганов и т.д.), м;

ρ – плотность полуфабриката, кг/м³;

$S_{\text{изд}}$ – площадь, занимаемая штучным полуфабрикатом, м²;

$K_{\text{и}}$ – коэффициент использования площади пода ($K_{\text{и}} = 0,8$).

Далее следует составить уравнение теплового баланса для электрической сковороды и произвести ее тепловой расчет, ориентируясь на методику теплового расчета электрической фритюрницы, газового пищеварочного котла и электрического жарочно-кондитерского шкафа.

4.5. Кипятильники непрерывного действия

Тип кипятильника	Номер варианта и марка аппарата				
	33	34	35	36	37
Электрический	КНЭ-25	КНЭ-50	КНЭ-100	КНГ-200	КНП-100
Электрический					
Электрический					
Газовый					
Паровой					

Прежде всего, необходимо хорошо разобраться в конструктивном устройстве и принципе действия кипятильников непрерывного действия и определении часовой производительности.

Рекомендуем для кипятильников, работающих на различных видах энергоносителей, применять для составления тепловых балансов следующие выражения:

а) для твердотопливных:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6;$$

б) для газовых кипятильников:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_5 + Q_6;$$

в) для электрических и паровых:

$$Q = Q_1 + Q_5 + Q_6,$$

где Q – подведенная теплота, кДж/ч;

Q_1 – полезно используемая теплота, необходимая для нагрева воды в кипятильном резервуаре до кипения, кДж/ч;

Q_2 – потери теплоты с уходящими продуктами сгорания топлива, кДж/ч;

Q_3 – потери теплоты от химической неполноты сгорания топлива, кДж/ч;

Q_4 – потери теплоты от механической неполноты сгорания топлива ($Q_4 = (0,02 \div 0,06)Q_1$), кДж/ч.

Q_5 – потери теплоты наружными поверхностями кипятильника в окружающую среду, кДж/ч;

Q_6 – теплота, расходуемая на нагревание конструкции кипятильника, кДж/ч.

В дальнейшем тепловой расчет следует производить для двух режимов – режима разогрева (до появления первых порций кипятка) и стационарного режима. Следовательно, и уравнения тепловых балансов необходимо составлять для двух режимов.

4.5.1. Паровые кипятильники

Уравнение теплового баланса для режима разогрева следует записать так:

$$Q' = Q_1' + Q_5' + Q_6'$$

Уравнение теплового баланса кипятильника для стационарного режима

$$Q'' = Q_1'' + Q_5'' + Q_6''$$

Определение полезно используемой теплоты.

А. Режим разогрева

Для определения полезно используемой теплоты при нагреве воды в кипятильном резервуаре до температуры кипения можно пользоваться следующей формулой:

$$Q_1' = G_B c_B (t_K - t_H) \frac{1}{\tau} \text{ кДж/ч}$$

Здесь $G_B = V \cdot \rho_B$,

где G_B – количество нагреваемой воды, кг;

V – объем кипятильного резервуара, заполненного водой, определяется обмером из чертежа, м³;

ρ_B – плотность воды (при температуре воды 80 °С равна 971,8 кг/м³);

c_B – теплоемкость воды; (можно принять равной 4,195 кДж/(кг·К));

t_K – температура кипения воды при атмосферном давлении, °С;

t_H – начальная температура воды, °С;

τ – время разогрева кипятильника, ч;

Б. Стационарный режим

При установившемся тепловом режиме полезно используемую теплоту можно определить, пользуясь выражением:

$$Q_1'' = D_d \cdot c_B (t_K - t_H), \text{ кДж/ч} \quad (47)$$

где D_d – действительная производительность кипятильника, кг/ч;

c_B – средняя теплоемкость воды, кДж/(кг·К);

t_K – температура горячей воды, получаемой из разборного крана (по опытным данным 86 - 90 °С), °С;

t_H – температура питательной холодной воды, поступающей в кипятильник, °С;

Определение потерь теплоты в окружающую среду.

Для определения потерь теплоты наружными ограждениями кипятильника в окружающую среду при режиме разогрева и стационарном режиме можно пользоваться следующим уравнением:

$$Q_5 = \sum_{i=1}^n \alpha_i F_i (t_n - t_o),$$

где F_i – наружная поверхность элемента ограждения (например, крышка, кипятильный резервуар, сборник кипятка), m^2 ;

α_i – коэффициент теплоотдачи в окружающую среду данным элементом наружного ограждения кипятильника, который учитывает теплоотдачу конвекцией и лучеиспусканием, $Вт/м^2 \cdot К$;

t_n – температура данного элемента ограждения, $^{\circ}C$. Ориентировочно среднюю температуру отдельных поверхностей кипятильника к концу разогрева можно принять:

- а) для крышки – $80...90^{\circ}C$;
- б) для сборника кипятка – $50...60^{\circ}C$;
- в) для кипятильного резервуара – $40...50^{\circ}C$;
- г) для водонагревателя – $25...30^{\circ}C$;

t_o – температура окружающей среды, $^{\circ}C$.

Методика определения потерь теплоты в окружающую среду для режима разогрева и стационарного режима очень подробно изложена при рассмотрении расчета газового пищеварочного котла и поэтому здесь не приводится;

Определение расхода теплоты на разогрев конструкции.

Расчет расхода теплоты на разогрев конструкции следует вести только для нестационарного режима работы кипятильника и при этом можно пользоваться формулой:

$$Q_6 = \sum_{i=1}^n G_i c_i (t_k - t_n) \frac{1}{\tau},$$

где G_i – масса элемента металлической конструкции (крышки, сборника кипятка, постамент и т.п.), кг. Для каждого элемента масса рассчитывается по формуле

$$G_i = V_i \cdot \rho_i, \text{ кг}$$

где V_i – объем элемента конструкции, $м^3$;

ρ_i – плотность материала элемента конструкции, $кг/м^3$. После определения массы отдельных элементов необходимо определить: общую массу кипятильника и сравнить полученный результат с массой данного кипятильника, приведенной в технической характеристике.

c_i – теплоемкость материала конструкций, $кДж/(кг \cdot К)$,

t_k – средняя конечная температура нагрева металлоконструкций кипятильника, $^{\circ}C$;

t_n – начальная температура металлоконструкций кипятильника, °С;
 τ – время разогрева кипятильника, ч.

Итоги теплового расчета сводятся в таблицу:

Расход теплоты, кДж	Режим разогрева	Стационарный режим
Полезно используемая теплота	Q_1'	Q_1''
Потери теплоты в окружающую среду	Q_5'	Q_5''
Потери теплоты на разогрев конструкции	Q_6'	–
ИТОГО:	$\Sigma Q'$	$\Sigma Q''$

По полученным значениям Q' и Q'' следует определить часовые расходы пара кипятильником при соответствующих режимах из выражений:

а) разогреве $D' = \frac{Q'}{i'' - i'}$, кг/ч

б) стационарном $D'' = \frac{Q''}{i'' - i'}$, кг/ч

где i'' – энтальпия пара при входе в паровой теплообменник, кДж/кг;

i' – энтальпия конденсата на выходе из теплообменника, кДж/кг.

При этом следует принять, что паровые кипятильники обогреваются влажным насыщенным паром давлением 150 кПа (температурой около 111°С).

По максимальному значению часового расхода пара кипятильником определяется диаметр отверстия клапана конденсационного горшка по [3] на с. 364 и производится его подбор.

4.5.2. Электрические кипятильники

Тепловой баланс электрического кипятильника непрерывного действия можно выразить следующим уравнением:

$$Q = Q_1 + Q_5 + Q_6, \text{ кДж/кг,}$$

где Q – подведенная теплота, кДж/ч;

Q_1 – полезно используемая теплота, кДж/ч;

Q_5 – потери теплоты наружными поверхностями кипятильника в окружающую среду, кДж/ч;

Q_6 – теплота, расходуемая на нагревание конструкции кипятильника, кДж/ч.

В дальнейшем тепловой расчет электрического кипятильника производится для двух режимов (разогрева и стационарного) по методике, изложенной при рассмотрении парового кипятильника. Результаты теплового расчета сводят в таблицу:

Расход теплоты, кДж	Режим разогрева	Стационарный режим
Полезно используемая теплота	Q_1'	Q_1''
Потери теплоты в окружающую среду	Q_5'	Q_5''
Потери теплоты на разогрев конструкции	Q_6'	–
ИТОГО:	$\Sigma Q'$	$\Sigma Q''$

Мощности, расходуемые электрическим кипятильником в режиме разогрева и стационарном режиме можно определить из следующих формул:

а) разогрев $P' = \frac{Q_1'}{3600}$, кВт;

б) стационарный $P'' = \frac{Q_1''}{3600}$, кВт.

Приняв количество электронагревательных элементов (ТЭНов) n кратным трем, необходимо определить по большей из этих двух мощностей, мощность одного ТЭНа и произвести его расчет

$$P_{\text{э}} = \frac{P_{\text{макс}}}{n}$$

4.5.3. Газовые кипятильники

При расчете газового кипятильника следует пользоваться рекомендациями по методике расчета парового кипятильника и методике расчета пищеварочного котла.

При определении полезно используемой теплоты для режима разогрева следует учесть, что при этом режиме до кипения доводится только вода в кипятильном резервуаре и в поддиафрагмовой камере, а вода в водонагревателе нагревается до температуры 60 - 70 °С.

4.6. Водонагреватели

Тип водонагревателя	Номер варианта и марка аппарата			
	38	39	40	41
Электрический	НЭ-1	НП-200	АГВ-80	АГВ-200
Паровой				
Газовый				
Газовый				

При проектировании и расчете водонагревателей следует иметь в виду, что холодная вода в них нагревается практически до кипения, т.е. до 95 - 98 °С и непрерывно вытесняется из резервуара через верхний патрубок.

Тепловой баланс водонагревателей непрерывного действия следует составлять для двух режимов – разогрева и стационарного. Рекомендуем для во-

донагревателей, работающих на различных видах энергоносителей, применять при составлении тепловых балансов следующие выражения:

Режим разогрева:

для электрических и паровых аппаратов $Q' = Q_1' + Q_5' + Q_6'$

для газовых аппаратов $Q' = Q_1' + Q_2' + Q_5' + Q_6'$

Стационарный режим:

для электрических и паровых аппаратов $Q'' = Q_1'' + Q_5'' + Q_6''$

для газовых аппаратов $Q'' = Q_1'' + Q_2' + Q_5'' + Q_6''$

Далее следует определить значения отдельных статей теплового баланса, используя при этом уравнения, предлагаемые ниже:

А. Режим разогрева

$$Q_1' = G_B c_B (t_K - t_H) \frac{1}{\tau},$$

где Q_1' – полезно используемая теплота в процессе разогрева водонагревателя, кДж/ч;

G_B – масса воды, находящейся в водонагревателе, кг;

c_B – теплоемкость воды, кДж/(кг·К);

t_K – конечная температура нагрева воды в водонагревателе, °С;

t_H – температура холодной воды, поступающей в водонагреватель, °С;

τ – время разогрева водонагревателя в часах (принять из технической характеристики).

$$Q_5' = \sum_{i=1}^n \alpha_i' F_i (t_i' - t_B) \cdot 3,6, \text{ кДж/ч}$$

где α_i – суммарный коэффициент теплоотдачи конвекцией и лучеиспусканием от наружных поверхностей водонагревателя в окружающую среду в период разогрева, Вт/(м²·К);

F_i – общая наружная поверхность водонагревателя, через которую теплота теряется в окружающую среду, м²;

t_i' – осредненная по поверхности температура наружных стенок, °С;

t_B – температура окружающего воздуха, °С.

$$Q_6' = G_M c_M (t_M - t) \frac{1}{\tau} + G_{И} c_{И} (t_{И} - t_o) \frac{1}{\tau}, \text{ кДж/ч}$$

где G_M , $G_{И}$ – масса металлических частей водонагревателя и тепловой изоляции, кг;

c_M , $c_{И}$ – соответствующие теплоемкости материалов, кДж/(кг·К);

t_M , $t_{И}$ – соответствующие средние температуры нагрева материалов, °С;

Q_2' – потери теплоты с уходящими газами для газовых водонагревателей рекомендуем определять так, как изложено в методике расчета для газового пищеварочного котла с косвенным обогревом.

Б. Стационарный режим

$$Q_1'' = D_d \cdot c_v (t_k - t_n),$$

где Q_1'' – полезно используемая теплота в водонагревателе при стационарном режиме, кДж/ч;

D_d – производительность водонагревателя, кг/ч;

c_v – теплоемкость воды, кДж/(кг·К);

t_k – температура горячей воды, выходящей из водонагревателя, °С;

t_n – температура холодной воды, поступающей в водонагреватель, °С.

Потери теплоты в окружающую среду внешними поверхностями водонагревателя необходимо определять в соответствии с методическими указаниями по расчету кипятильников непрерывного действия и газового пищеварочного котла.

Результаты теплового расчета для электрических и паровых водонагревателей сводят в таблицу.

По полученным данным значений Q' и Q'' необходимо определить мощности, расходуемые водонагревателем в этих режимах и произвести расчет ТЭНа.

Для паровых водонагревателей – определить часовые расходы пара и по максимальному значению расхода пара произвести расчет и подбор конденсатоотводчика.

При расчете газового водонагревателя следует учесть потери с уходящими продуктами сгорания в соответствии с методикой расчета газового пищеварочного котла.

Расход теплоты, кДж	Режим разогрева	Стационарный режим
Полезно используемая теплота	Q_1'	Q_1''
Потери теплоты в окружающую среду	Q_5'	Q_5''
Потери теплоты на разогрев конструкции	Q_6'	–
ИТОГО:	$\Sigma Q'$	$\Sigma Q''$

4.7. Пароварочные шкафы

Наименование блюда	Номер варианта и марка аппарата		
	42	43	44
Картофель Свекла отварная Биточки паровые	АПЭСМ-1	АПЭСМ-2	АПЭ-1Б

Прежде всего, рекомендуем хорошо усвоить устройство и принцип работы пароварочных шкафов, разобраться в тепловых процессах, происходящих в продуктах, которые в нем обрабатываются. Основным элементом пароварочного шкафа является рабочая камера, поэтому в данной методике рассматривается как определение производительности рабочей камеры (шкафа в целом), так и тепловой баланс рабочей камеры шкафа. При определении часовой производительности пароварочного шкафа, необходимо уяснить, что количество одновременно загружаемого полуфабриката в рабочую камеру для тепловой обработки будет зависеть от вида и способа укладки обрабатываемого продукта.

Так, для порционных полуфабрикатов (рыбы, мяса кускового, котлет паровых и т.п.), расчет количества одновременно загружаемого продукта (в шт/ч) необходимо производить с учетом полезной площади, занимаемой продуктом в камере в процессе тепловой обработки:

$$M_o = \frac{S \cdot n \cdot k_y}{S_{\text{и}}}.$$

Для полуфабрикатов, обрабатываемых паром в насыпном слое (картофеля, моркови, свеклы и т.п.), количество одновременно загружаемого продукта в камеру (в кг) следует рассчитывать с учетом насыпной плотности продукта и коэффициента заполнения емкости, помещаемой в рабочую камеру шкафа.

$$M_o = V \rho_{\text{п}} k. \quad (48)$$

В этих выражениях:

M_o – количество одновременно загружаемого продукта, порции (кг) в рабочую камеру.

S – площадь пода посуды, загружаемой в рабочую камеру, м^2 ;

n – количество посуды, шт;

k_y – коэффициент укладки полуфабрикатов в посуду ($k_y = 0,75 \dots 0,8$);

k – коэффициент заполнения емкости ($k_y = 0,6 \dots 0,9$);

$S_{\text{и}}$ – площадь, занимаемая одним полуфабрикатом, м^2 ;

V – полезный объем емкости, помещаемой в рабочую камеру шкафа, м^3 ;

$\rho_{\text{п}}$ – насыпная плотность полуфабриката, $\text{кг}/\text{м}^3$;

Часовую производительность пароварочного шкафа необходимо определять, пользуясь равенством:

$$M = \frac{M_o \cdot 60}{\tau_{\text{ц}}}, \frac{\text{порций}}{\text{ч}} \left(\frac{\text{кг}}{\text{ч}} \right) \quad (49)$$

где $\tau_{\text{ц}}$ – время цикла обработки (загрузка, тепловая обработка и разгрузка камеры), мин.

А. Режим разогрева

Уравнение теплового баланса пароварочного шкафа на электрическом обогреве можно составить, используя выражение:

$$Q' = Q_1' + Q_5' + Q_6,$$

где Q' – общий расход теплоты на период разогрева, кДж/ч;

Q_1' – расход теплоты на нагрев продукции, кДж/ч;

Q_5' – потери теплоты шкафом в окружающую среду внешними поверхностями, кДж/ч;

Q_6 – расход теплоты на разогрев конструкции шкафа и сеток (корзин), кДж/ч.

Затем необходимо определить отдельные статьи теплового баланса.

Так, расход теплоты на нагрев продукта следует определять, используя выражение:

$$Q_1' = M \cdot c_{\text{пр}}(t_{\text{с}} - t_0),$$

где M – часовая производительность, кг/ч;

$c_{\text{пр}}$ – теплоемкость продукта, кДж/(кг·К);

$t_{\text{с}}$ – температура нагрева продукта, которую необходимо принять равной температуре насыщенного пара в рабочей камере, °С;

t_0 – начальная температура продукта, °С.

Потери теплоты внешними поверхностями шкафа в окружающую среду необходимо определять, пользуясь уравнением:

$$Q_5' = \alpha_o' F(t_{\text{ст}}' - t_0) \cdot 3,6, \text{ кДж/ч}$$

где F – суммарная поверхность пароварочного шкафа, от которой теплота теряется в окружающую среду, м²;

α_o' – суммарный коэффициент теплоотдачи конвекцией и лучеиспусканием от наружных поверхностей в окружающую среду, Вт/(м²·К);

$t_{\text{ст}}$ – средняя температура наружных стенок шкафа при разогреве, °С;

t_0 – температура окружающего воздуха, °С;

Потери теплоты, пошедшей на разогрев металлических частей шкафа, воды в парогенераторе, тепловой изоляции и сеток (корзин), следует определять, используя выражения:

$$Q_6 = Q_6^{\text{пг}} + Q_6^{\text{из}} + Q_6^{\text{м}} + Q_6^{\text{с}};$$

$$Q_6^{\text{м}} = G_{\text{м}} c_{\text{м}} (t_{\text{м}}^{\text{ср}} - t_0) \frac{1}{\tau};$$

$$\begin{aligned}
Q_6^c &= G_c c_c \left(t_c^{cp} - t_o \right) \frac{1}{\tau}; \\
Q_6^{из} &= G_{из} c_{из} \left(t_{из}^{cp} - t_o \right) \frac{1}{\tau}; \\
Q_6^{пг} &= \left[W_{пг} c_{пг} \left(t_{пг}^k - t_{пг}^H \right) + V_{пг} \rho_{пг} r_{пг} \right] \cdot \frac{1}{\tau}, \quad (50)
\end{aligned}$$

где $Q_6^{пг}$ – теплота, пошедшая на нагрев воды в парогенераторе до кипения и на парообразование, кДж/ч;

$W_{пг}$ – масса воды в парогенераторе, кг;

c_B – теплоемкость воды, $c_B = 4,19$ кДж/(кг·К);

$t_{пг}^k$ – температура кипения воды в парогенераторе, °С;

$t_{пг}^H$ – начальная температура воды, поступающей в парогенератор, °С;

$V_{пг}$ – объем парового пространства в рабочих камерах и парогенераторе (следует определять из чертежа), м³;

$\rho_{пг}$ – плотность пара при давлении в парогенераторе, кг/м³ (следует определить из таблицы водяного насыщенного пара, зная давление);

$r_{пг}$ – скрытая теплота парообразования при давлении пара в парогенераторе, кДж/кг;

τ – время разогрева шкафа, ч;

$Q_6^{из}$ – теплота, пошедшая на разогрев тепловой изоляции, кДж/ч;

$G_{из}$ – масса изоляции, кг;

$c_{из}$ – теплоемкость изоляции, кДж/(кг·К);

$t_{из}^{cp}$ – средняя температура нагрева изоляции, °С;

Q_6^M – теплота, пошедшая на нагрев металлических частей шкафа, кДж/ч;

G_M – масса металлических частей шкафа, кг;

c_M – теплоемкость материала металлических частей (для стали $c_M = 0,46...0,5$ кДж/(кг·К);

t_M^{cp} – осредненная температура металлических частей шкафа, °С;

t_o – начальная температура камеры (принимается равной температуре в помещении), °С;

Q_6^c – теплота, пошедшая на нагрев сеток (корзин), кДж/ч;

G_c – масса сеток, кг;

c_c – теплоемкость нержавеющей стали, кДж/(кг·К);

t_c – температура нагрева сеток (корзин), °С.

Б. Стационарный режим

Следует иметь в виду, что при стационарном режиме работы пароварочного шкафа теплота расходуется только на компенсацию потерь в окружающую среду путем конвекции и лучеиспускания, т.е.

$$Q'' = Q_5''$$

Эту теплоту необходимо определить, применяя выражение:

$$Q_5'' = \alpha_o'' F (t_{cm}'' - t_o) \cdot 3,6, \text{ кДж/ч}$$

где F – наружная поверхность шкафа в м^2 , через которую теряется теплота в окружающую среду;

α_o'' – суммарный коэффициент теплоотдачи конвекцией и лучеиспусканием, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

t_{cm}'' – средняя температура стенок шкафа при стационарном режиме, $^{\circ}\text{C}$.

Результаты теплового расчета пароварочного шкафа сводят в таблицу:

Расход теплоты, кДж	Режим разогрева	Стационарный режим
Полезно используемая теплота	Q_1'	–
Потери теплоты в окружающую среду	Q_5'	Q_5''
Потери теплоты на разогрев конструкции	Q_6'	–
ИТОГО:	$\Sigma Q'$	$\Sigma Q''$

По результатам теплового расчета необходимо определить:

мощность нагревательных элементов, расходуемую при разогреве:

$$P' = Q' / 3600, \text{ кВт}$$

мощность нагревательных элементов, расходуемую при стационарном режиме:

$$P'' = Q'' / 3600, \text{ кВт}$$

Для равномерной нагрузки на все фазы количество ТЭНов необходимо выбирать кратным трем.

Приняв количество ТЭНов, далее следует определить мощность одного ТЭНа по выражению:

$$P_{\text{э}} = P / n, \text{ кВт}$$

где n – количество принятых ТЭНов, шт.

4.8. Жарочные аппараты непрерывного действия

Наименование блюда	Номер варианта и марка аппарата					
	45	46	47	48	49	50
Котлеты Блинные п/ф Блинные п/ф Блинные п/ф Оладьи Пончики	ПКЖ	ЖВЭ-720	ВЖШЭ-675	ВЖШГ-675	МПО	АП-3М

Конструкции жарочных аппаратов непрерывного действия основаны на применении различного типа устройств, перемещающих обрабатываемый продукт в рабочей камере аппарата. Поэтому при осуществлении расчетов этих аппаратов рекомендуются следующие формулы определения производительности. Для аппаратов со шнековым транспортирующим органом (например, фритюрницы ФНЭ-40):

$$G = 3600 \cdot F_o \cdot V_o \rho, \text{ кг/ч} \quad (51)$$

где F_o – площадь поперечного сечения внутренней полости жарочной камеры в месте расположения первого витка шнека, занятая продуктом, м^2 :

$$F_o = \frac{\pi(d_o^2 - d_1^2)}{4} \varphi$$

здесь d_o , d_1 – наружный и внутренний диаметры шнека, м;

φ – коэффициент заполнения; $\varphi = 0,25 - 0,3$;

$V_o = \frac{nS}{60}$ – скорость поступательного перемещения продукта вдоль шнека, м/с;

n – частота вращения шнека, об/мин;

S – шаг первого витка шнека, м;

ρ – плотность продукта, кг/м^3 .

Для конвейерных жарочных аппаратов при обработке сыпучего груза (например – картофеля):

$$G = 3600 \cdot B \cdot h \cdot \varphi \cdot V \cdot \rho, \text{ кг/ч} \quad (52)$$

где B – ширина пластинчатого конвейера, м;

h – высота слоя материала, м;

φ – коэффициент заполнения конвейера (может быть принят равным 0,6-0,7);

V – скорость движения конвейера, м/с, $V = \frac{1}{60} \cdot \tau$;

l – путь перемещения продукта в масле (длина ванны), м;

τ – продолжительность обжаривания, мин.

Для конвейерных жарочных аппаратов (например печи ЖКХ) при обработке штучных грузов типа котлет, шницелей, бифштексов:

$$G = 3600 \left(\frac{m}{t} \right) N \cdot k, \text{ кг/ч} \quad (53)$$

где m – масса одного изделия, кг;

t – шаг между изделиями, м;

k – количество изделий в одном ряду.

Для жарочных аппаратов роторного типа (например, автоматов по приготовлению пончиков АП-3М, пирожков АЖП-800):

$$G = 60 \cdot n \cdot z \cdot \omega \cdot \varphi \cdot \rho, \text{ кг/ч} \quad (54)$$

где n – частота вращения барабана, об/мин;

z – число ячеек или секций в барабане;

ω – емкость одной ячейки или секции, м³;

φ – коэффициент заполнения ячейки (может быть принят равным 0,75-0,8);

В общем виде тепловые балансы для нестационарного и стационарного режимов работы жарочных аппаратов непрерывного действия рекомендуется выражать соответственно уравнениями (1):

$$Q' = Q_1' + Q_2' + Q_3' + Q_4' + Q_5' + Q_6'$$

$$Q'' = Q_1'' + Q_2'' + Q_3'' + Q_4'' + Q_5'' + Q_6''$$

Обозначения составляющих теплового баланса приведены при рассмотрении теплового расчета газового пищеварочного котла. В зависимости от того, на каком виде энергоносителя работает аппарат, те или другие составляющие теплового баланса могут отсутствовать.

При режиме разогрева аппарата полезно используемая теплота расходуется на нагрев пищевого жира, находящегося в аппарате. Для его определения рекомендуется формула, приведенная в расчете электрической фритюрницы:

$$Q_1' = M_{\text{ж}} c_{\text{ж}} (t_1 - t_0) \frac{1}{\tau}, \text{ кДж/ч}$$

Этот расход теплоты имеет место при расчете шнековой жарочной машины с косвенным обогревом, фритюрницы ФНЭ-40.

При расчете режима разогрева таких аппаратов, как ПКЖ, ВЖШЭ-675, ЖВЭ-720, МПО-400 полезно используемая теплота отсутствует.

При стационарном режиме полезно используемая теплота складывается из статей расхода теплоты на нагрев продукта, испарения влаги, образование корочки, нагрев добавляемого в процессе работы пищевого жира:

$$Q_1'' = G_1 \cdot c_1 (t_2 - t_3) + 0,01x \cdot G_1 \cdot r + 0,01k \cdot G_1 \cdot c_k (t_n - t_2) + 0,01m \cdot G_1 \cdot c_{\text{ж}} (t_1 - t_0), \text{ кДж/ч}$$

где G_1 – часовая производительность аппарата по сырью, кг/ч;

t_2 – температура нагрева продукта (принимается равной 100 °С);

t_3 – начальная температура продукта, поступающего на жарку;

x – истинный процент у жарки. Его величину можно принять для: картофеля обжаренного до полуготовности – 17 %; котлет – 19 %; шницелей – 30 %; блинчиков – 23 %; оладий – 15 %;

r – скрытая теплота испарения при атмосферном давлении, кДж/кг;

k – процентное содержание корки в продукте. Величину можно принять для: картофеля обжаренного до полуготовности – 15 %; котлет, шницелей – 28 %, блинчиков, оладий – 35 %;

c_k – теплоемкость корочки, которую можно принять равной 1,67 кДж/(кг·К);

t_4 – температура образования корочки (135 – 140 °С);

m – расход пищевого масла на обжаривание сырья, %. Рекомендуется принять следующие значения m : для картофеля 4 %; для котлет – 5 %; для шницелей – 8 %; для блинчиков – 7 %; для оладий – 8 %.

Методика расчетов потерь теплоты Q_2 , Q_3 , Q_4 , Q_5 и Q_6 подробно изложена при рассмотрении теплового баланса газового пищеварочного котла.

Результаты теплового расчета следует свести в таблицу, после чего определить часовой расход газового топлива (для аппаратов ВЖШГ-675 и шнековой жаровни) или мощность электронагревателей (аппараты ВЖШЭ-675, ЖВЭ-720, ПКЖ, МПО-400). Следует учитывать, что обогрев ВЖШЭ-675 и ЖВЭ-720 осуществляется ТЭНами, ПКЖ-инфракрасными лампами, МПО-400 – закрытыми нагревательными элементами – конфорками.

Рекомендуемая литература

1. Беляев М.И. Оборудование предприятий общественного питания. Т. 3.: Тепловое оборудование. - М.: Экономика, 1990. – 550 с.
2. Дорохин В.А. Тепловое оборудование предприятий общественного питания. – Киев: Вища школа, 1987. – 406 с.
3. Вышелесский А.Н. Тепловое оборудование предприятий общественного питания. – М.: Экономика, 1976. – 399 с.
4. Кирпичников В.П., Леенсон Г.Х. Справочник механика. - М.: Экономика, 1990. – 382 с.
5. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. – М.: Энергия, 1997. – 344 с.
6. Теплофизические характеристики пищевых продуктов: справочник / А.С. Гинзбург и др. – М.: Агропромиздат, 1990. – 286 с.
7. Сборник рецептур блюд и кулинарных изделий для предприятий общественного питания. – М.: Экономика, 1982. – 720 с.
8. Литвина Л.С., Фролова З.С. Тепловое оборудование предприятий общественного питания и торговли. – М.: Экономика, 1987. – 272 с.
9. Методические указания по оформлению курсовых и дипломных проектов. - Донецк, 1992. – 24 с.
10. Курсове проектування устаткування підприємств харчування: навч. посібник / За ред. О.І. Черевка, Г.В. Дейниченка. – Харків: ХДАТОХ 1998. – 155 с.
11. Расчет теплообменной аппаратуры с применением ПЭВМ / А.Н. Поперечный и др. – Донецк: ДонГУЭТ, 1999. – 46 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1 – Насыпная плотность и удельная теплоемкость пищевых продуктов

Продукт	Насыпная плотность, кг/м ³	Удельная теплоемкость, кДж/(кг·К)
1	2	3
Абрикосы	550...640	3,77...3,88
Айва	620	3,75...3,77
Апельсины	490	3,73...3,77
Арбузы	400	3,77...3,935
Баклажаны	400	3,77...3,98
Бобы какао	510...610	2,26
Виноград	425...640	3,45...3,89
Вишня	700...770	3,60...3,85
Говядина	950	2,51...3,35
Горошек зеленый	350...400	3,52...3,68
Горох целый	750...800	1,84
Груши	350...600	3,60...3,81
Дыня	400	3,81
Земляника	500...650	3,68...3,98
Кабачки	400	3,77...4,02
Какао-порошок	510...720	1,99
Капуста кочанная	400...650	3,89...3,90
Картофель	640...750	3,43...3,68
Клубника	500...650	3,81...3,85
Клюква	410	3,77...3,81
Крахмал картофельный	630...700	1,14...1,88
Крахмал кукурузный	540...650	1,14...1,8
Крупа:		
гречневая	580...710	2,43...2,81
манная	650	1,84
овсяная	500...580	1,67
перловая	680...730	2,81...2,85
пшеничная	730...850	1,38...1,88
пшеничная	730	1,84
рисовая	600...800	1,76... 1,84
ячневая	680	1,84
Крыжовник	400...600	3,81...3,89
Кукуруза в зерне	600...820	1,59...2,22
Кукуруза в початках	770	3,22
Лимоны	490	3,77

Продолжение табл. 1

1	2	3
Лук репчатый	600...740	2,64...3,64
Макаронные изделия (без утряски)	305...461	1,84
Малина	350...650	3,82...3,89
Мандарины	500	3,77
Маргарин столовый	930	3,18...3,27
Масло:		
кукурузное	920...928	2,01
оливковое	914...929	2,01
подсолнечное	925...927	1,93
хлопковое	921	1,93
Молоко: сгущенное без сахара	1100	1,94...3,15
сухое	600...659	1,93...2,09
цельное	1029...1032	3,85
Морковь	550...650	3,14...3,94
Мука:		
кукурузная	560	1,67...1,88
пшеничная в. с.	500...520	1,67...1,88
пшеничная 1 с.	610	1,67...1,88
ржаная	550	1,67...1,88
Огурцы	620	3,89...4,08
Патока крахмальная	1450	2,60
Перец сладкий	300	3,77...3,90
Персики	520...650	3,48...3,85
Петрушка-корень	350	3,60
Рябина	420	3,44...3,74
Сахар-песок	720...900	0,71...1,26
Сахарная пудра	660	0,88
Сахар-рафинад	1600	1,36
Свекла	600...780	3,35...3,90
Свинина	935...945	2,13...3,81
Сельдерей	350	3,81
Слива	600...720	3,31...3,81
Смородина	680	3,64...3,89
Соль пищевая	2160	0,92...1,34
Томаты	600	4,02...4,05

Продолжение табл. 1

1	2	3
Томатопродукты при содержа- нии сухих веществ:		
5%	1020,4	4,049
9%	1037,4	3,938
12%	1050,2	3,855
18%	1072,3	3,689
30%	11,26	3,357
Укроп	120	3,68...3,81
Фасоль (бобы)	750...770	3,68
Черешня	690...700	3,77...3,81
Чеснок	410...600	3,14...3,81
Щавель	130...170	3,68...3,81
Яблоки	585...650	3,77...3,91

Таблица 2 – Физические свойства сухого воздуха при $p = 760$ мм рт. ст. = 98 кПа

t, °C	ρ , кг/м	c, кДж/(кг·K)	$\lambda \cdot 10^2$, Вт/(м·K)	$\mu \cdot 10^6$, Па·с	Pr
-20	1,395	1,009	2,28	16,2	0,716
-10	1,342	1,009	2,36	16,7	0,712
0	1,293	1,005	2,44	17,2	0,707
10	1,247	1,005	2,51	17,6	0,705
20	1,205	1,005	2,59	18,1	0,703
30	1,165	1,005	2,67	18,6	0,701
40	1,128	1,005	2,76	19,1	0,699
50	1,093	1,005	2,83	19,6	0,698
60	1,060	1,005	2,90	20,1	0,696
70	1,029	1,009	2,96	20,6	0,694
80	1,000	1,009	3,05	21,1	0,692
90	0,972	1,009	3,13	21,5	0,690
100	0,946	1,009	3,21	21,9	0,688
120	0,898	1,009	3,34	21,9	0,688
140	0,854	1,013	3,49	23,7	0,684
160	0,815	1,017	3,64	24,5	0,682

Таблица 3 – Теплофизические свойства некоторых технических материалов при $T = (20 \pm 200) ^\circ\text{C}$

Материал	ρ , кг/м ³	λ , Вт/(м·K)	c, кДж/(кг·K)
1	2	3	4
Сталь 20	7830	51,0	0,494
Сталь 45	7830	47,8	0,490

Продолжение табл. 3

1	2	3	4
Нержавеющая сталь	7860	16,3	0,494
Магниеые сплавы	1780	79,1	0,98
Алюминиевые сплавы	2800	163	1,13
Титановые сплавы	4460	8,7	0,524
Латунь	8500	109	0,392
Бронза	8800	48,2	0,368
Асбест	500	0,106	0,037
Асбестовый картон	1000	0,184	0,84
Асбест распушенный	100	0,092	0,84
Графитовые изделия	1600	158	0,837
Кирпич красный	1800	0,77	0,879
Минеральная вата	150	0,075	0,92
Окись алюминия	3740	30,2	0,925
Оргстекло	1180	0,184	1,43
Пенокерамика	1400	1,16	0,84
Пенопласт	200	0,058	-
Пеностекло	400	0,107	0,84
Резина твердая обыкновенная	1200	0,159	1,382
Слюда	2900	0,52	0,879
Стекло обыкновенное	2500	0,74	0,670
Стекловолокно	120	0,11	0,87
Текстолит	1350	0,293	1,47
Фторопласт 4	2150	0,247	1,05

Таблица 4 – Параметры водяного пара в состоянии насыщения (по давлениям)

Давление, МПа	Темпера- тура, °С	Плот- ность, кг/м ³	Удельная энтальпия, кДж/кг		Удельная теплота испарения, кДж/кг
			конденсата	пара	
1	2	3	4	5	6
0,001	6,982	0,0077	29,33	2513,8	2484,5
0,002	17,511	0,0149	73,45	2533,2	2459,8
0,003	24,1	0,0219	101,0	2545,2	2444,2
0,004	28,98	0,0287	121,41	2554,1	2432,7
0,005	32,9	0,0355	137,77	2561,2	2423,4
0,006	36,18	0,0421	151,5	2567,1	2415,6
0,008	41,53	0,0552	173,87	2576,7	2402,8
0,010	45,83	0,0681	191,84	2584,4	2392,6

Продолжение табл. 4

1	2	3	4	5	6
0,012	49,45	0,0809	206,94	2590,9	2384,0
0,015	54,00	0,0998	225,98	2598,9	2372,9
0,020	60,09	0,1307	251,46	2609,6	2358,1
0,025	64,99	0,161	271,99	2618,1	2346,1
0,030	69,12	0,191	289,31	2625,3	2336,0
0 040	75,89	0,25	317,65	2636,8	2319,2
0 050	81,35	0,308	340,57	2646,0	2305,4
0,060	85,95	0,366	359,93	2653,6	2293,7
0,070	89,96	0,423	376,77	2660,2	2283,4
0,080	93,51	0,479	391,72	2666,0	2274,3
0,090	96,71	0,535	405,21	2671,1	2265,9
0,10	99,63	0,59	417,51	2675,7	2258,2
0,11	102,32	0,645	428,84	2680,0	2251,2
0,12	104,81	0,7	439,36	2683,8	2244,4
0,13	107,13	0,754	449,19	2687,4	2238,2
0,14	109,32	0,80	458,42	2690,8	2232,4
0,15	111,37	0,862	467,13	2693,9	2226,8
0,16	113,32	0,916	475,38	2696,8	2221,4
0,17	115,17	0,968	483,22	2699,5	2216,3
0,18	116,93	1,023	490,70	2702,1	2211,4
0,19	118,62	1,076	497,85	2704,6	2206,8
0,20	120,23	1,129	504,7	2706,9	2202,2
0,22	123,27	1,234	517,6	2711,3	2193,7
0,25	127,43	1,391	535,4	2717,2	2181,8
0,30	133,54	1,65	561,4	2725,5	2164,1
0,35	138,88	1,907	584,3	2732,5	2148,2
0,40	143,62	2,163	604,7	2738,8	2133,8
0,45	147,92	2,416	623,2	2743,8	2120,6
0,50	151,85	2,668	640,1	2748,5	2108,4
0,55	155,47	2,919	655,8	2752,7	2096,9
0,60	158,84	3,169	670,4	2756,4	2086,0
0.70	164,96	3,666	697,1	2762,9	2065,8
0,80	170,42	4,161	720,9	2768,4	2047,5
0,90	175,36	4,654	742,6	2773,0	2030,4
1,00	179,88	5,147	762,6	2777,0	2014,4
1,10	184,06	5,637	781,1	2780,4	1999,3
1,15	186,04	5,882	789,9	2782,0	1992,4
1,20	187,96	6,127	798,4	2788,4	1985,0

Таблица 5 – Физические свойства воды на линии насыщения

t, °C	ρ , кг/м ³	c, кДж/(кг·К)	λ , Вт/(м·К)	$\nu \cdot 10^6$, м ² /с	Pr
0	999,8	4,237	0,551	1,790	13,7
5	999,7	4,224	0,563	1,540	11,3
10	999,6	4,212	0,575	1,300	9,56
15	998,9	4,208	0,586	1,100	8,15
20	998,2	4,204	0,599	1,000	7,06
25	996,9	4,204	0,608	0,910	6,20
30	995,6	4,199	0,618	0,805	5,50
35	993,9	4,199	0,626	0,720	4,85
40	992,2	4,199	0,634	0,659	4,30
45	990,1	4,199	0,641	0,615	3,90
50	988,0	4,199	0,648	0,556	3,56
55	985,6	4,199	0,654	0,515	3,25
60	983,2	4,204	0,659	0,479	3,00
65	980,5	4,208	0,664	0,445	2,75
70	977,7	4,212	0,668	0,415	2,56
75	974,8	4,212	0,671	0,385	2,35
80	971,8	4,216	0,674	0,366	2,23
85	968,5	4,220	0,678	0,347	2,10
90	965,3	4,224	0,680	0,326	1,95
95	961,8	4,224	0,682	0,310	1,85
100	958,3	4,229	0,683	0,295	1,75
110	951,0	4,237	0,685	0,268	1,58
120	943,1	4,250	0,686	0,244	1,43
130	934,8	4,271	0,686	0,226	1,32
140	926,1	4,291	0,686	0,212	1,23

Ерёменко Дмитрий Олегович
Покинтелица Николай Иванович
Донец Александр Петрович

**ОБОРУДОВАНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ
ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ**

Часть 1
Тепловое оборудование

*Методические указания
по выполнению курсового проекта*

Редактор - О.В. Дмитриева

Изд. № 102/18. Объем 3,25 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»