

Министерство образования и науки РФ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего образования

«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к контрольной работе

Дисциплина Б1.В.ДВ.2.2. Новые физические методы нагрева пищевых
продуктов

(индекс и наименование дисциплины)

Направление подготовки/специальность 19.03.04 Технология продукции и
организация общественного питания

(код и наименование направления подготовки/специальности)

Направленность (профиль) 19.03.04.01.01Технология организации
ресторанного дела

(код и наименование направленности (профиля))

Форма обучения заочная

Красноярск, 2017

УДК 621.1.016: 638.7

рецензент: доктор технических наук, доцент Е.А. Струпан

Новые физические методы нагрева пищевых продуктов: методические указания
для выполнения контрольной работы
/ ТЭИ СФУ; составитель Марченкова С.Г. Красноярск – 2017.; 32 с.

Оглавление

1. РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АППАРАТА ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ	8
2. РАСЧЕТ ПОЛЕЗНО ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ТЕПЛОТЫ.....	13
3. РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ.....	14
4. РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРЫ СТЕНОК АППАРАТА В КОНЦЕ РАЗОГРЕВА.....	15
5. РАСЧЕТ ПОТЕРЬ ТЕПЛА В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ	16
6. РАСЧЕТ ТЕПЛОТЫ НА НАГРЕВ АППАРАТА	16
7. ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС	17
8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ...	17
9. РАСЧЕТ НАГРЕВАТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА.....	20
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	24
ПРИЛОЖЕНИЯ	26

Условные обозначения

M , кг – масса

$M_{п-г}$, кг – масса воды в парогенераторе

$M_{п-в.с}$, кг – масса пароводяной смеси

$M_{аппарата}$, кг – расчетная масса элементов конструкции аппарата

τ_1 , с – время разогрева аппарата

τ_2 , с – время тепловой обработки продукта в аппарате

τ_{ϕ} , с – время основной загрузки продуктов в аппарат

τ_B , с – время выгрузки продукта из аппарата

$V_{варочного\ сосуда}$, м³ – объём варочного сосуда

$V_{полезный}$, м³ – объём занимаемый продуктом

$F_{жсп}$, м² – площадь жарочной поверхности

ϕ , – коэффициент загрузки рабочей камеры (0,8-0,9)

$Z = \frac{\text{ВЫХОД}}{\text{масса компонентов рецептуры}}$.

ρ , кг/м³ – плотность

a – массовая доля компонента рецептуры

M_p , кг – масса компонентов рецептуры

n_2 , шт – количество протвиней в камере

n_3 , шт – количество камер

m_i , кг – масса одного изделия рецептуры

n , шт – число изделий,

ρ_{cp} , кг/м³ – средняя плотность кулинарного изделия

$V_{пр}$, м³ – объём продукта

$\frac{\delta_{ст}}{\quad}$ – толщина стенки аппарата, м

Q_1 , кДж – полезно используемая теплота при нестационарном режиме

Q_1' , кДж – полезно используемая теплота при стационарном режиме

Q_{max} , кДж – максимальная расчетная теплота потребляемая аппаратом

$\Delta W'$, кг – влага, испарившаяся за период варки

r , Дж/(кг·К). – удельная теплота парообразования при известной температуре

t_n , °С – температура продукта при термической обработке на поверхности

t_0 , °С – температура продукта при термической обработке в центре

C , Дж/(кг·град) – удельная теплоемкость

J , кг – упек

q , Вт/м² - удельный тепловой поток

α_1 , Вт/(м²·К) - коэффициент теплоотдачи со стороны рабочего теплоносителя

α_2 , Вт/(м²·К) - коэффициент теплоотдачи от кожуха в окружающую среду

λ , Вт/(м·К) - коэффициент теплопроводности

l , м – определяющий геометрический размер теплоотдающей поверхности

Gr – число Грасгофа;

Pr – число Прандтля

Nu – число Нуссельта

g , м/с² – ускорение свободного падения

β , 1/К – коэффициент объемного расширения для газов

Δt , °С – перепад температур

t_l , °С - рабочая температура

ν , м²/с – кинематический коэффициент вязкости среды, м²/с

S , м² - площадь

K , Вт/(м²·К) – коэффициент теплопередачи

P_I , кВт – мощность нестационарного режима

P_{II} , кВт – мощность стационарного режима

P_{max} , кВт – наибольшая мощность

η_I , % - коэффициент полезного действия (нестационарный режим)

η_{II} , % - коэффициент полезного действия (стационарный режим)

Индексы

Ж – жир, к – конечная, н – начальная, i – единичный элемент, п – поверхность, о – окружающая среда, к – компонент, в – вода (технологическая среда)

ВВЕДЕНИЕ

Контрольная работа по дисциплине «Новые физические методы нагрева пищевых продуктов» представлена в виде единого расчетного задания по различным темам. Методические указания содержат основные положения расчетной работы, требования к выполнению расчетной работы и тематику.

Целью работы, является закрепление и углубление знаний по дисциплине, для студентов заочной формы обучения, направления подготовки 19.03.04 «Технология продукции и организации общественного питания» всех форм обучения, приобретение ими навыков по поверочному и технологическому расчетам, выбору теплового оборудования для выполнения различных технологических процессов термической обработки продуктов.

Варианты заданий для расчетной и графической части расчетной работы приведены в таблице № 1. При выполнении работы студенты используют знания общетехнических и специальных дисциплин, изучают требования и нужды отрасли и на основе анализа существующих конструкций и произведенных расчетов создают оптимальный вариант конструкции аппарата.

Объем работы определяется расчетно-пояснительной запиской на 25-30 страниц и графическим материалом. Расчетно-пояснительная записка состоит из разделов, указанных в разделе «Содержание пояснительной записки» и должна иметь в числе других следующие разделы:

- оглавление с номерами страниц;
- введение, содержащее связь разрабатываемого вида оборудования с технологией приготовления пищи на предприятиях общественного питания. Краткую характеристику продукта, для которого разрабатывается конкретная машина или тепловое оборудование. Во введении также указываются задачи, которые должны быть решены в расчетной работе;
- обзор машин близких по назначению к разрабатываемому оборудованию с обоснованием необходимости конструктивных проработок и выполнения соответствующих расчетов по расчетному заданию. Описание устройств машин (аппаратов) должно сопровождаться изображением принципиальных и кинематических схем оборудования. Раздел выполняется с использованием интернет – ресурсов;
- теорию процесса и обоснование режимов работы, отражающих сущность процесса применительно к конструкции и работе проектируемой машины (аппарата), на основе проведенного обзора и анализа и с учетом теоретического обоснования режимов работы.
- описание разрабатываемой машины (аппарата),
- расчетную часть ;
- заключение, в котором кратко излагаются результаты работы над расчетным заданием;
- список использованной литературы;

ВЫБОР ВАРИАНТА

Выбор варианта расчетной работы осуществляется по начальной букве фамилии и последней цифре номера зачетной книжки студента *.

Варианты расчетного задания

Табл.№ 1

Начальная буква фамилии	Последняя цифра номера зачетной книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
А	1	4	7	47	13	16	19	46	25	35
Б	2	5	8	11	14	17	20	23	26	28
В	3	6	9	12	43	18	21	24	27	30
Г	4	7	10	13	44	19	50	25	28	31
Д	5	8	11	14	45	49	23	26	29	32
Е	6	9	12	15	42	21	24	27	30	33
Ж	7	10	13	16	19	22	40	28	31	34
З	8	11	14	17	20	23	26	29	22	25
И	9	12	15	48	21	24	27	39	23	26
К	10	50	16	19	22	25	49	31	24	27
Л	11	14	17	20	23	26	29	32	25	28
М	12	15	18	21	24	27	30	33	36	29
Н	13	16	19	47	25	38	31	34	27	30
О	14	17	20	23	37	29	32	46	27	48
П	15	18	21	24	27	30	33	16	29	32
Р	16	19	22	25	50	31	34	27	10	33
С	17	20	23	26	29	32	15	17	20	49
Т	18	21	24	27	30	33	45	28	11	34
У	25	22	29	30	33	34	27	24	21	18
Ф	29	30	26	31	43	27	24	21	18	15
Х	26	38	4	7	44	40	16	19	22	25
Ц	42	39	37	8	11	14	17	20	23	26
Ч	31	3	6	9	12	15	18	21	24	41
Ш	35	36	7	10	13	16	19	22	25	28
Щ	30	5	8	11	14	17	20	23	26	29
Э	32	6	9	12	15	18	21	24	26	30
Ю	33	7	10	13	16	19	22	25	27	31
Я	34	8	11	14	17	20	23	26	28	32

*- если не оговорено иначе

Варианты расчетной работы

1. Плита ПЭСМ-4.
2. Плита ПЭСМ-4ШБ.
3. Плита ПЭСМ-2К.
4. Плита ПЭ-0,51Ш.
5. Плита ПНЭК-2.
6. Устройства варочное УЭВ-40.
7. Устройство варочное УЭВ-60.

8. Жарочный шкаф ШЖЭСМ-2К.
9. Жарочный шкаф ШЖЭ-0,85М-01.
10. Жарочный шкаф ШЖЭ-0,51М-01.
11. Жарочный шкаф ШЖЭ-1,36.
12. Аппарат конвекционный «Сюрприз» АК-100.
13. Шкаф пекарный ШПЭСМ-3.
14. Сковорода СЭСМ-0,2.
15. Сковорода СЭСМ-0,5.
16. Сковорода СЭ-0,22.
17. Сковорода СЭ-0,45.
18. Фритюрница электрическая ФЭ-20М-01.
19. Котел КПЭ-100.
20. Котел КПЭ-100-1М.
21. Котел КПЭСМ-60 М.
22. Котел КПЭ-40.
23. Котел КПЭ-60-1А.
24. Котел КПЭ-160 М.
25. Котел КПЭ-250 М.
26. Котел КЭ-100.
27. Котел КЭ-160.
28. Котел КЭ-250.
29. Аппарат пароварочный АПЭ-0,23АМ.
30. Аппарат пароварочный АПЭСМ-1.
31. Кипятильник электрический КНЭ-25 М.
32. Кипятильник электрический КНЭ-50 М.
33. Кипятильник электрический КНЭ-100 МН.
34. Плита электрическая ПЭТ-0,17.
35. Плита электрическая ПЭТ - 0,17 В*
36. Плита электрическая ПЭТ – 0,34 В*
37. Плита электрическая ПЭТ – 0,51 В*
38. Сковорода электрическая СЭ- 0,25 В*
39. Сковорода электрическая СЭ- 0,45 В*
40. Сковорода электрическая СЭЧ – 0,25*
41. Сковорода электрическая СЭЧ – 0,45*
42. Котел электрический ФЗКПЭ*
43. Котел электрический КЭ- 60Ц*
44. Котел электрический КЭ - 100К*
45. Котел электрический КЭ- 160 К*
46. Котел электрический КЭ – 250 К*
47. Сковорода электрическая ЭСЧ 9-05-12*
48. Шкаф жарочный электрический ЭШВ -1-5*
49. Шкаф жарочный электрический ЭШВ -2-10*
50. Шкаф жарочный электрический ЭШВ -3- 15*

*- варианты с элементами углубленного самостоятельного исследования

РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АППАРАТА ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Перед началом расчета необходимо выбрать рецептуру, возможную для реализации в рассчитываемом аппарате. Записать номер рецептуры, количество и массу компонентов, выход, технологию приготовления, с указанием времени тепловой обработки.

Производительность тепловых аппаратов определяется по формуле

$$G_{ТА} = \frac{3600 \cdot M_c}{\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_B} Z \quad (1.1)$$

Продолжительность каждой стадии процесса тепловой обработки принимается на основе практических данных, а также рецептуры.

Массу одновременно загружаемых продуктов в аппарат находят в зависимости от коэффициента заполнения варочного сосуда или площади противней (жарочный шкаф) и т. д.

Для **пищеварочных котлов** (автоклавов, варочных устройств, наплитных ёмкостей) общая масса загружаемых продуктов, (включая воду), равна:

$$M_c = V_K \cdot \varphi (\rho_1 a_1 + \rho_2 a_2 + K + \rho_n a_n). \quad (1.2)$$

Масса одного из компонентов (m_k) исходного сырья, загружаемого в рабочую камеру (варочный сосуд) согласно рецептуре равна

$$m_k = V_{в.с.} \cdot \varphi \cdot \rho_k \cdot a_k, [7] \quad (1.3)$$

Производительность пищеварочного котла в конечном итоге следует выразить в единице порций.

ч

Массовая доля компонента определяется из выражения: $a_i = \frac{m_k}{M_p}$

Для расчета производительности **жарочно-пекарных шкафов** определяют количество изделий на противне (n_1) исходя из их размеров, (на основе рецептуры и практических данных), а затем рассчитывают число изделий в камере (n) по формуле

$$n = n_1 \cdot n_2 \cdot n_3, \quad (1.4)$$

Тогда масса сырья :

$$M_c = m_i \cdot n, \quad (1.5)$$

Для **плит** загружаемая масса продуктов определяется из емкости посуды, устанавливаемой на жарочную поверхность в соответствии с формулой (1.2). Характеристика некоторых наплитных котлов и кастрюль из нержавеющей стали приведена в прил. 1.

В случае **сковород** берут практические размеры одного изделия, количество изделий на поде сковороды находят расчетом и производят расчет массы исходного сырья по формуле

$$M_c = m_i \cdot n, \quad (1.6)$$

Для случая жарения не отдельными порциями (например, омлета), следует найти объем продукта на поде чаши (умножив площадь пода на высоту продукта), а затем рассчитать число порций уместившихся на сковороде по формуле

$$n = \frac{\rho_{сп} \cdot V_{np}}{m_i}, \quad (1.7)$$

1. РАСЧЕТ ПОЛЕЗНО ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ТЕПЛОТЫ

Полезно используемая теплота в основном идет на нагрев продуктов и технологической среды (вода, бульон, жир, воздух и т. д.), а также на испарение влаги из продукта и технологической среды. Определение же ее количества для процессов жарки и варки имеет свои особенности.

Варка в жидкостях идет в две стадии

1. Нагрев продуктов до температуры кипения, определяемой давлением в рабочей камере (нестационарный режим)

$$Q_1 = \sum c_k m_k (t_{k_i} - t_{n_i}) + c_g W_g (t_k - t_n) + \Delta W r, \quad (2.1)$$

2. Варка до кулинарной готовности (стационарный режим)

$$Q'_1 = \Delta W' \cdot r, \quad (2.2)$$

В процессе нагрева продукта его теплоемкость меняется и поэтому ее значение следует брать по некоторой средней температуре [2].

Конечная температура продукта при варке определяется средней по объему температурой продукта в конце процесса (прил. 5). Условно минимальную среднюю температуру продукта при его кулинарной готовности можно принять :

$$t_k = \frac{t_n + t_{ii}}{2}. \quad (2.3)$$

За период нагрева в пищеварочных котлах за 1 час испаряется порядка 2 % влаги (воды) [11]. Поэтому массу испарившейся влаги за период нагрева можно определить следующим образом:

$$\Delta W = W \frac{\tau_1}{3600} 0,02, \quad (2.4)$$

За период варки, ΔW , (испаряется 5...7 % влаги за 1 час работы пищеварочного котла, тогда в формуле (2.4) изменится так же время на τ_2 . Следует учесть, что масса жидкости в процессе варки уменьшается на величину испарившейся влаги в процессе разогрева.

Жарка и выпечка проводится в одну стадию до кулинарной готовности и характеризуется температурой в центре и на поверхности изделия, а также образованием корочки. Полезная теплота в этом случае складывается из теплоты, пошедшей на нагрев продуктов до заданной температуры, и на испарение влаги из него:

$$Q_1 = \sum [m_k C_k (t_v - t_n)] + M_{ж} C_{ж} (t_k^* - t_n) + M_c (1 - Z) \varepsilon_r r, \quad (2.5)$$

(для выпечки $\varepsilon_r = 1$, для жарки $\varepsilon_r = 0,6...0,7$); r – удельная теплота парообразования при 100 °С ($\sim 2,26 \cdot 10^6$ Дж / кг).

Температура нагрева жира (количество жира берется при основном способе жарки 3...5 % от массы продукта или согласно рецептуре) изменяется в процессе жарки от 150 до 190 °С.

Содержание корки в продукте зависит от обрабатываемого сырья: для котлет, шницелей – около 20 %, для картофеля, обжаренного до полуготовности – около 15 % [5], для кондитерских изделий – 5...17 %.

Температура корки в конце выпечки составляет 120...140 °С. При выпекании испарившаяся влага из теста образует пар, который затем нагревается до температуры среды рабочей камеры. В этом случае в правой части формулы (2.5) появляются два новых слагаемых:

$$M_{корки} C_{корки} (t_{корки} - t_n) + J (i_{шп} - i_n^{100^\circ C}), \quad (2.6)$$

Где: $i_{шп}$ – энтальпия перегретого пара при температуре среды пекарной камеры и атмосферном давлении, Дж/кг (прил. 16); $i_n^{100^\circ C}$ – энтальпия пара при 100 °С.

Удельная массовая теплоемкость корки (принимается как теплоемкость сухого вещества, равная 1670 Дж/(кг·К); Величина упека (J) при выпечке хлебо-булочных изделий может колебаться в пределах 6—14% в зависимости от рода, формы и развеса изделия и режима выпечки.

2. РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ

Для дальнейших расчетов необходимо определить коэффициенты теплоотдачи, коэффициент теплопередачи через многослойную стенку и удельный тепловой поток.

Удельный тепловой поток через многослойную стенку аппарата от теплоносителя к внешней среде (обычно окружающий аппарат воздух) определяют по формуле

$$q = K(t_1 - t_f), \quad (3.1)$$

Формула для расчета коэффициента теплопередачи через плоскую стенку имеет вид

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (3.2)$$

Толщина рабочей камеры ТА (варочного сосуда, наружной обечайки котла, автоклавов, камеры жарочно-пекарных шкафов) составляет обычно 1-2 мм, а толщина кожуха (облицовки) – 0,8-1 мм. Толщина изоляционного слоя – 40...60 мм. Толщина пароводяной рубашки 2мм, Толщина чугуна (сковороды) 2-3 см. Плотность, теплоемкость и λ различных материалов приведены в прил.6.

При конденсации водяного пара на вертикальной поверхности в условиях ламинарного движения конденсатной пленки и одинаковой температуры стенки по всей ее высоте H коэффициент теплоотдачи от теплоносителя (пароводяная смесь в рубашке котла) определяют из уравнения

$$\alpha_1 = 0,9434 \sqrt[4]{\frac{r \rho_{\text{ж}}^2 g \lambda_{\text{ж}}}{v_{\text{ж}} (t_1 - t_{\text{ст}1}) H}} = \frac{1,163A}{\sqrt[4]{(t_1 - t_{\text{см}1}) H}}, \quad (3.3)$$

где $A = 5500 + 65t_{\text{конд}} - 0,2t_{\text{конд}}^2$; $t_{\text{конд}}$ – температура конденсации пара (определяется по таблице водяного пара в зависимости от его давления, прил. 12); $(t_1 - t_{\text{см}1})$ – задается в пределах 0,08...0,4 °С; H – высота варочного сосуда котла или автоклава, м.

Для жарочных шкафов и сковород расчет α_1 проводится по формулам (3.4)- (3.9) с учетом технологических сред (воздух или жир). Свойства воздуха и жира приведены в приложениях 9,11

При расчете α_2 , необходимо учитывать, что в процессе теплообмена между наружными нагретыми стенками аппарата (кожух, облицовка, крышка и т. д.) и окружающей средой имеет место одновременно конвективный и лучистый теплообмен. Поэтому коэффициент теплоотдачи определяется по формуле

$$\alpha_2 = \alpha_{\text{к}} + \alpha_{\text{л}}, \quad (3.4)$$

Коэффициент $\alpha_{\text{к}}$ находится из критерия Нуссельта

$$\text{Nu} = \alpha_{\text{к}} \frac{l}{\lambda}, \quad (3.5)$$

геометрический размер теплоотдающей поверхности в данном случае численно равен высоте кожуха или облицовки, коэффициент теплопроводности окружающей среды (воздуха) определяется при

температуре $\frac{t_{\text{к}} + t_2}{2}$, Вт/(м·К). На данном этапе необходимо задаться первоначальным значением температуры кожуха (облицовки), которая нормируется и находится в пределах 35-55 С.

Критерий Нуссельта Nu находится из соответствующего критериального уравнения [4–6, 10]. При свободной конвекции капельных жидкостей и газов можно использовать эмпирическое уравнение Михеева для любой поверхности

$$Nu = C(Gr \cdot Pr)^n, \quad (3.6)$$

C и n определяются по произведению $(Gr \cdot Pr)$ (табл. 2).

Таблица 2

Значения C и n при различных значениях $Gr \cdot Pr$

$Gr \cdot Pr$	Режим	C	n
$10^{-3} \dots 5 \cdot 10^2$	Ламинарный	1,18	0,125
$5 \cdot 10^2 \dots 2 \cdot 10^7$	Переходный	0,54	0,25
$2 \cdot 10^7 \dots 10^{13}$	Турбулентный	0,135	1/3

Число Прандтля берется из таблиц или определяется по формуле

$$Pr = \frac{c_p \rho v}{\lambda}, \quad (3.7)$$

где c_p , ρ , v , λ – свойства среды

Число Грасгофа определяется по формуле

$$Gr = \frac{g \beta \Delta t l^3}{\nu^2}, \quad (3.8)$$

Определение ν по приложению 11.

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

$$\alpha_{\text{л}} = \frac{\varepsilon C_0}{t_n - t_0} \cdot \left[\left(\frac{t_n + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_0 + 273}{100} \right)^4 \right], [5. С.72] \quad (3.9)$$

где ε – степень черноты теплоотдающей стенки (прил. 6); $C_0 = 5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ – коэффициент излучения абсолютно черного тела;

При решении частных задач для определения коэффициентов теплоотдачи конвекцией от горизонтальной облицовки аппарата к окружающему воздуху можно использовать формулу Жуковского [4. С.173]

$$\alpha_k = 3,42(t_n - t_n)^{0,25}, \quad (3.10)$$

при условии что $15 \text{ }^\circ\text{C} < (t_n - t_0) < 90 \text{ }^\circ\text{C}$, (для котлов, кипятильников), в случае естественной конвекции от горизонтальной поверхности вверх (при $t_n \leq 150 \text{ }^\circ\text{C}$ для сковород, фритюрниц) в закрытых помещениях определяют по приближенной формуле

$$\alpha_2 \approx 9,70 + 0,07(t_n - t_n), [5. С.73]. \quad (3.11)$$

Следует отметить, что формула (3.11) дает несколько завышенные значения коэффициента теплоотдачи α_2 . И имеет ограничения при использовании.

3. РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРЫ СТЕНОК АППАРАТА В КОНЦЕ РАЗОГРЕВА

Используя схематический разрез и предыдущие расчеты определяем температуру слоев:

$$t_{\text{ст1}} = t_1 - q \frac{1}{\alpha_1}; \quad (4.1)$$

$$t_{ст2} = t_{ст1} - q \frac{\delta_{ст1}}{\lambda_{ст1}}; \quad (4.2)$$

$$t_{ст3} = t_{ст2} - q \frac{\delta_{из}}{\lambda_{из}}; \quad (4.3)$$

$$t_{к} = t_{ст3} - q \frac{\delta_{к}}{\lambda_{к}}. \quad (4.4)$$

Для проверки расчетов нужно определить температуру теплоносителя t_1

$$t_1 = t_o + q \left(\frac{\delta_{ст1}}{\lambda_{ст1}} + \frac{\delta_{из}}{\lambda_{из}} + \frac{\delta_{к}}{\lambda_{к}} + \frac{1}{\alpha_2} \right). \quad (4.5)$$

Расхождение должно быть не более 15 %.

Если температура облицовки значительно ниже, или превышает нормативную, делают перерасчет с другими значениями толщины теплоизоляции.

4. РАСЧЕТ ПОТЕРЬ ТЕПЛА В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Потери теплоты нагретыми наружными поверхностями аппарата в окружающую среду определяют по формуле

$$Q_5 = \sum [\alpha_2 S (t_k - t_n) \tau], \quad (5.1)$$

Расчет Q_5 необходимо произвести для двух периодов: для нестационарного – Q_5 ; для стационарного – Q'_5 .

В процессе разогрева ТА температура i -го элемента изменяется от t_n до t_k . Поэтому в расчете учитывается усредненная температура i -го элемента

$$t_{сп.} = \frac{t_n + t_k}{2}. \quad (5.2)$$

По формуле (5.2) находят средние расчетные температуры слоя воздуха около i -го элемента для нахождения критерия Gr и Pr. Коэффициент теплоотдачи α_2 для нестационарного режима рассчитывается для усредненной температуры $t_{сп.}$

Для периода тепловой обработки продуктов (стационарный режим) α_2 рассчитывается по конечной температура t_k (для кожуха берется температура, рассчитанная по формуле (4.4)). Неучтенные потери теплоты для каждого периода принимают в пределах 10...30 % от Q_5 и Q'_5

Для сковород во время жарения приоткрывается ее крышка. Поэтому следует учесть потери от нагретой поверхности продукта $Q_{п.н.п.} = q \cdot S_{продукта} \cdot \tau_{открытой\ крышки}$

5. РАСЧЕТ ТЕПЛОТЫ НА НАГРЕВ АППАРАТА

Для проведения данного расчета нужно выделить в аппарате конструктивные элементы (детали), имеющие одинаковые материалы и конечную температуру нагрева. Конечную температуру определяют расчетом (формулы 3.1-3.4).

Начальную температуру элемента ТА (t_n) рекомендуется принять равной температуре окружающего аппарат воздуха (18...20 °С).

Расход тепла на нагрев i -го элемента аппарата определяется по формуле

$$Q_i = c_i m_i (t_k - t_n), \quad (6.1)$$

где массу i -го элемента определяют по формуле

$$m_i = \rho_i V_i = \rho_i S_i \delta_i, \quad (6.2)$$

Для расчета S_i , V_i , δ_i приводят эскиз элементов, указывают их размеры согласно исходных данных.

Расчет теплоты на нагрев пищеварочного котла имеет следующие составляющие

$$Q_6 = Q_{\text{аа.н}} + Q_{i.е} + Q_{\text{с}} + Q_{\text{д}} + Q_{\text{еа}} + Q_{i.т} + Q_{i-а}. \quad (6.3)$$

Для жарочного шкафа уравнение можно записать так

$$Q_6 = Q_{\text{в.к}} + Q_{\text{н.к}} + Q_{\text{из}} + Q_{\text{н.п}} + Q_{\text{вент}}, \quad (6.4)$$

$Q_{\text{вент}}$ – теплота на вентиляцию рабочей камеры шкафа, которая определяется из следующего выражения

$$Q_{\text{вент}} = V_{\text{к}} n c_{\text{возд}} \Delta t, \quad n \text{ – кратность вентиляции } (n = 8 \dots 10 \text{ вентиляций в час})$$

рассчитывается по формуле $n_{\text{дл.в.т}} = \frac{n \cdot \tau_1}{3600}$, раз

Результаты расчетов оформить в виде таблицы (прил. 8).

Теплота, расходуемая на нагрев воды в парогенераторе электрического ТА до температуры кипения и парообразования в пароводяной рубашке, определяется из выражения

$$Q_{\text{п-г}} = [M_{\text{п-г}} \cdot c_{\text{в}} (t_{\text{п-г}} - t_{\text{н}}) + M_{\text{п-в.с}} \cdot r], \quad (6.5)$$

$$M_{\text{п-в.с}} = \frac{V_{\text{п-г}}}{\rho_{\text{п}}}, \quad (6.45)$$

где $V_{\text{п-г}}$ – объем парогенератора, м³; $\rho_{\text{п}} = \frac{1}{V''}$ – плотность сухого насыщенного пара, кг/м³; V'' – удельный объем сухого насыщенного пара при заданном давлении, м³ (прил. 12).

6. ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС

Уравнения теплового баланса составляются для нестационарного и стационарного режимов.

Нестационарный режим:

$$Q_1 = Q_1 + Q_5 + Q_6 \quad (7.1)$$

Стационарный режим:

$$Q_{\text{п}} = Q'_1 + Q'_5 \quad (7.2)$$

7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Основной технико-экономический показатель работы теплового аппарата – коэффициент полезного действия. Тепловой коэффициент полезного действия ТА по периодам его работы можно определить по формулам:

Нестационарный режим:

$$\eta_I = \frac{Q_I}{Q_I} \cdot 100, \% ; \quad (8.1)$$

Стационарный режим:

$$\eta_{II} = \frac{Q'_I}{Q_{II}} \cdot 100, \% , \quad (8.2)$$

Общий КПД аппарата рассчитывается по среднему значению.

Мощность для аппаратов с электрическим обогревом (общая) определяется из выражений:

– для периода разогрева

$$P_I = \frac{Q_I}{\tau_I}, \text{ Вт}, \quad (9.1)$$

– для стационарного периода

$$P_{II} = \frac{Q_{II}}{\tau_{II}}, \text{ Вт}, \quad (9.2)$$

Другими технико-экономическими показателями, позволяющими произвести сравнение аппаратов, независимо от их мощности и вместимости, а так же для выявления преимуществ и недостатков являются:

Общие для всех аппаратов:

1. Соотношение расчётной массы всех конструктивных элементов с паспортной (кроме плит).

$$M_{аппарата} (> \leq) M_{паспортная}$$

2. Удельная энергоёмкость, кВт/м³, кВт/м² (в зависимости от вида ТА):

$$P_{уд} = P_{max} / F_{жп}$$

$$P_{уд} = P_{max} / V_{варсосуда}, \quad P_{уд} = P_{max} / V_{раб.камеры}, \quad (8.3)$$

3. Удельный расход энергоносителя, кВтч/кг:

$$Q_{уд} = P_{max} / G_{ТА}, \quad (8.4)$$

4. Удельный расход теплоносителя кДж/кг:

$$q_{уд} = Q_{max} / M_{готового\ продукта} \quad (8.5)$$

5. Коэффициент использования ТА:

$$Ku = n_i (\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5) / 3600 \tau_{см} \quad (8.6)$$

Где: τ_5

- время санитарной обработки аппарата, с

$\tau_{см}$

- продолжительность рабочей смены, ч

n_i - количество циклов работы ТА в смену, шт

6. Объёмный расход теплоносителя, кДж/м³:

$$q_v = Q_{max} / V_{раб.камеры} \quad q_v = Q_{max} / V_{функциональной\ ёмкости}$$

Частные для конкретных аппаратов:

Для котлов :

7. Удельная металлоёмкость , кг/м³:

$$m_{уд} = M_{аппарата} \setminus V_{сосуда} \quad (8.7)$$

$$m_{удпол} = M_{аппарата} \setminus V_{пол} ,$$

$$m'_{м} = M_{аппарата}$$

Для сковород:

6. Удельный расход жира:

$$m_{уд.жира} = M_{жира} / M_{готового\ продукта} \quad (8.8)$$

7. Коэффициент загрузки жарочной поверхности:

$$\varphi_{жп} = \sum f_{изд} / F_{жп} , \quad (8.9)$$

Где $f_{изд}$ - площадь, занимаемая продуктом, м², Теплосъём жарочной поверхности:

8. Теплосъём жарочной поверхности, кДж/м²с:

$$D_n = (Q_1 + Q_1') / (F_{жп} (\tau_1 + \tau_2)) \quad (8.10)$$

9. Удельная металлоёмкость, кг/м²:

$$m'_{м} = M_{аппарата} / F_{жп} , \quad (8.11)$$

Для электрических плит:

6. Теплосъём жарочной поверхности кДж/м²с:

$$D_n = (Q_1 + Q_1') / (F_n (\tau_1 + \tau_2)) \quad (8.12)$$

8. Энергетический показатель:

$$\mathcal{E}_{ж} = t_1 / t_n^{\max} , \quad (8.13)$$

Где t_n^{\max} – максимальная рабочая температура жарочной поверхности, °С

9. Удельная металлоёмкость:

$$m_{м} = M_{пл} / F_{ж}^{общ} , \quad (8.14)$$

Где $M_{пл}$ – масса плиты по паспорту, кг; $F_{ж}^{общ}$ – площадь всех конфорок, м²

10. Удельная металлоёмкость для расчетной площади:

$$m'_{м} = M_{пл} / F_{пл} ,$$

Где: $F_{пл}$ – площадь дна наплитной посуды, м²

Для жарочно - пекарных шкафов:

6. Энергетический показатель:

$$\mathcal{E}_{ш} = t_1 / t_{ш}^{\max} , \quad (8.15)$$

Где: $t_{ш}^{\max}$ - максимальная рабочая температура, °С

Для пароварочных аппаратов:

6. Удельный расход пара, м³ч:

$$m'_{\text{пара}} = M_{\text{ПВС}} \cdot V_{\text{рабкам}} / G_{\text{эн}} \quad (8.16)$$

7. Общий расход влажного насыщенного пара в первом и во втором периодах определяется из уравнений, кг/с

$$D_1 = \frac{Q_1}{i_{\text{п}} - i_{\text{к}}} \cdot \tau_1, \quad ; \quad (8.17)$$

$$D_{\text{II}} = \frac{Q_{11}}{i'_{\text{п}} - i'_{\text{к}}} \cdot \tau_{\text{II}}, \quad , \quad (8.18)$$

Где $i_{\text{п}}$ и $i_{\text{к}}$ – энтальпия пара и конденсата, Дж/кг (прил. 12), для нестационарного и стационарного режимов соответственно.

8. РАСЧЕТ НАГРЕВАТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА

Расчет электронагревательного элемента (спирали, ТЭНа) производится для периода с наибольшим $Q_{\text{затр}}$ (соответственно и большей мощностью) – как правило, для периода разогрева.

Электрическая мощность одного ТЭНа (P_{T}) или спирали ($P_{\text{с}}$) определяется по формуле

$$P_{\text{T}} (P_{\text{с}}) = \frac{P_{\text{max}}}{n}, \quad (9.3)$$

где n – число ТЭНов или спиралей в данном аппарате (по технической характеристике), которое задается из следующих условий:

1) с целью регулирования теплового режима при трехфазном напряжении n кратно 3;

2) мощность ТЭНов, используемых в ТА, находится в пределах $P_{\text{T}} = 0,2 \dots 5$ кВт, т. е.

необходимо выполнить условие $P_{\text{T}} \leq 5$ кВт.

Рассчитываем активную длину трубки, см:

$$L_a = \frac{P_{\text{T}}}{\pi D W}, \quad (10.1)$$

где D – наружный диаметр трубки, см (рекомендуемые диаметры в мм : 6,5; 8,0 ;8,5 ;9,5 ;10,0;13,0 ;16,0);

W – удельная мощность на поверхности трубки ТЭНа (см. прил. 2 - а)

Рассчитываем полную длину трубки ТЭНа после опрессовки:

$$L = L_a + 2L_K \quad (10.2)$$

где L_K – длина контактного стержня трубки ТЭНа, см (рекомендуемая 40; 65; 100 мм)

Определяем длину трубки ТЭНа до опрессовки, см:

$$L_{a.o.} = \frac{L}{y}, \quad (10.3)$$

где y – коэффициент удлинения трубки ТЭНа в результате опрессовки методом отсадки ($y = 1,15$)

Рассчитываем ток потребляемый одним ТЭНом, А:

$$I = \frac{P_{\text{T}}}{U}, \quad (10.4)$$

где U – номинальное напряжение ТЭНа, В (220 В)

Рассчитываем электрическое сопротивление проволоки ТЭНа, Ом:

$$R = \frac{U}{I}, \quad (10.5)$$

Рассчитываем электрическое сопротивление проволоки внутри трубки до опрессовки, Ом:

$$R_0 = R * a_r, \quad (10.6)$$

где a_r – коэффициент изменения электрического сопротивления проволоки в

результате опрессовки методом отсадки ($a_r = 1,3$)

Определяем длину проволоки спирали, м:

$$l = \frac{0,785 * R_0 d^2}{\rho}, \quad (10.7)$$

где d – диаметр проволоки спирали, мм

ρ – удельное сопротивление спирали ($\rho = 1,0 - 1,5 \frac{\text{Ом*мм}^2}{\text{м}}$)

Определяем диаметр проволоки спирали и задаемся диаметром стержня намотки спирали (для $d = 0,2 - 0,7$ мм $d_{ст} = 6 - 9$ мм, для $d = 0,8 - 1$ мм $d_{ст} = 4 - 6$ мм)

$$d = \sqrt[3]{\left[\frac{4 \cdot \rho \cdot 10^{-6} \cdot P_T^2}{\pi^2 \cdot W \cdot U^2} \cdot 10^5 \right]}. \quad (10.8)$$

Проволочную спираль навивают на стержень требуемого диаметра. При навивании на стержень средний диаметр витка увеличивается примерно на 7 % ввиду пружинности проволоки. Поэтому длина одного витка спирали в среднем равна, мм:

$$l_B = \pi d_B * 1,07, \quad (10.9)$$

где d_B – диаметр витка, мм

$$d_s = d_{cm} + d$$

Определяем число витков спирали, шт:

$$n = l * 1000 / l_B, \quad (10.10)$$

Рассчитываем расстояние между витками, мм:

$$a = \frac{(L_a * 10 - nd)}{n}, \quad (10.11)$$

Определяем коэффициент шага спирали, мм:

$$k = \frac{a + d}{d}, \quad (10.12)$$

Шаг витка проволочной спирали, мм $h = kd$

Потребное количество проволоки для одного ТЭНа:

$$\lambda_{номр} = \lambda + (2 * 20 * \lambda_s)$$

Находим геометрические характеристики спирали для определения перепада температуры в изоляционном слое:

$$X = \frac{d}{D_{ВН}}; Y = \frac{d}{d_B}; Z = \frac{D_{ВН}}{d_B}; \quad (10.13)$$

где d – диаметр проволоки спирали, мм

$D_{ВН}$ – внутренний диаметр трубки ТЭНа, мм

$$D_{ВН} = D - 2\delta \quad (10.14)$$

где δ – толщина стенки трубки после опрессовки ($\delta = 0,8 - 1,5$ мм)

d_B – диаметр витка спирали, мм

По монограмме (прил. 3) определяют перепад температуры в изоляционном слое на единицу теплового потока $\frac{\Delta t}{q_l}$ при известной величине коэффициента теплопроводности изоляции

Определяем удельный тепловой поток на единицу длины ТЭНа, $\frac{\text{Вт}}{\text{см}}$:

$$q_l = \frac{P_T}{L_a}, \quad (10.15)$$

Определяем перепад температуры в изоляционном слое, °С:

$$\Delta t = \left[\frac{\Delta t}{q_l} \right] * q_l \quad (10.16)$$

Определим рабочую температуру спирали, °С:

$$t_c = \Delta t + t_1, \quad (10.17)$$

(Сравнить с рекомендуемой, рекомендуемая рабочая температура спирали 950°С, максимальная 1150°С)

По образцу сделать условное обозначение рассчитанного ТЭНа используя полученные выше характеристики.

Структура условного обозначения ТЭНа:

ТЭН-L-Lк-D/P_TXU,

где:

ТЭН – трубчатый электронагреватель;

L – полная длина трубки ТЭНа, см

L_к – буквенное обозначение заделки контактного стержня L_к (табл. 1 приложение 13)

D - диаметр оболочки ТЭНа, мм;

/ - разделитель;

P_T - номинальная мощность, кВт;

X – буквенное обозначение нагреваемой среды и материала оболочки ТЭНа (табл. 2 приложение 13)

U - номинальное напряжение, В.

Пример обозначения ТЭНа:

ТЭН-100-A-13/3,5J220

где:

100 - развернутая длина ТЭН по оболочке, см;

A - обозначение заделки контактного стержня (табл.1);

13 - диаметр оболочки ТЭН, мм;

3,5 - номинальная мощность, кВт;

J - нагреваемая среда – вода; материал оболочки - нержавеющая сталь; (табл. 2);

220 - номинальное напряжение, В.

Расчитать максимальную мощность ТЭНа

Площадь активной поверхности : см²:

$$S = 3,14 * D * L_a \quad (10.18)$$

где: 3,14 * D длина оболочки ТЭН по окружности.

Максимальная мощность P_{max}, кВт:

$$P_{max} = P_{уд. max} * S \quad (10.19)$$

P_{уд. max} выбирается по таблице 3 приложения 13

Максимальная мощность ТЭНа не должна превышать 5,65 кВт.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Вобликова, Т. В. Процессы и аппараты пищевых производств [Текст] / Т. В. Вобликова. - Ставрополь : Ставропольский государственный аграрный университет ; Ставрополь : Издательство "АГРУС", 2013. - 212 с. Режим доступа: <http://znanium.com/go.php?id=514571>
- 2 Жуков, В. И. Процессы и аппараты пищевых производств [Текст] / В. И. Жуков. - Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), 2013. - 188 с. Режим доступа: <http://znanium.com/go.php?id=546590>
3. Ботов, М. И. Лабораторные работы по технологическому оборудованию предприятий общественного питания. Механическое и тепловое оборудование [Текст] : учебное пособие / М. И. Ботов, В. Д. Елхина. - Изд. 4-е, испр. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2015. - 158 с. 10
4. Драгилев, А. И. Технологическое оборудование кондитерского производства [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. И. Драгилев, Ф. М. Хамидулин. - СПб. : Троицкий мост, 2011. - 360 с.
- 5 .Кашенко, В.Ф.Оборудование предприятий общественного питания [Текст] : учебное пособие для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования / В. Ф. Кашенко, Р. В. Кашенко. - Москва : Альфа-М : ИНФРА-М, 2016. - 412 с. Режим доступа: <http://znanium.com/go.php?id=538703>
- 6 .Драгилев, А. И. Технологическое оборудование кондитерского производства [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. И. Драгилев, Ф. М. Хамидулин. - СПб. : Троицкий мост, 2011. - 360 с.
7. Гайворонский , К.Я. Технологическое оборудование предприятий общественного питания и торговли : практикум / К.Я. Гайворонский. — М. : ИД «ФОРУМ» : ИНФРА-М, 2017. — 104 с. Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=809878>
9. Единая система конструкторской документации Под ред. Говердовской Р.Г.– М.: Издательство стандартов, 2004. – 160 с.
10. Теплофизические характеристики пищевых продуктов : справочник / под ред. А. С. Гинзбурга. – М. : Пищевая пром-сть, 1990.
11. "Оборудование предприятий общественного питания Тепловое оборудование Том(часть) 2.: Учебник для студ. высш. учеб. заведений - ("Высшее профессиональное образование-Пищевое производство") (ГРИФ) /Кирпичников В.П., Ботов М.И."- М.: Академия. 2010. -496 с.
12. Беляев М. И. Оборудование предприятий общественного питания / М. И. Беляев. – М. : Экономика. 1990. – Т. 3. – 559 с.
13. Дорохин В. А. Тепловое оборудование предприятий общественного питания / В. А. Дорохин. – Киев. : Вища шк., 1987. – 406 с.
14. Белобородов В. В. Тепловое оборудование предприятий общественного питания / В. В. Белобородов, Л. И. Гордон. – М. : Экономика, 1983. – 304 с.

7. Кирпичников В. П. Справочник механика. Общественное питание / В. П. Кирпичников, Г. Х. Леенсон. – М. : Экономика, 1990. – 382 с.

8. Оформление дипломных и курсовых проектов: Метод.указания для студентов спец. 260501.65 «Технология продуктов общественного питания» всех форм обучения» / Сост. Е.О. Никулина; КГТЭИ; Кафедра технологии и организации питания. – Красноярск. 2004 – 45 с.

9. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М. : Химия, 1971. – 784 с.

10. Литвина Л. С. Тепловое оборудование предприятий общественного питания / Л. С. Литвина, З. С. Фролова. – М. : Экономика, 1980. – 248 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

**Значения удельной мощности нагревательных элементов
применяемых в электрических аппаратах**

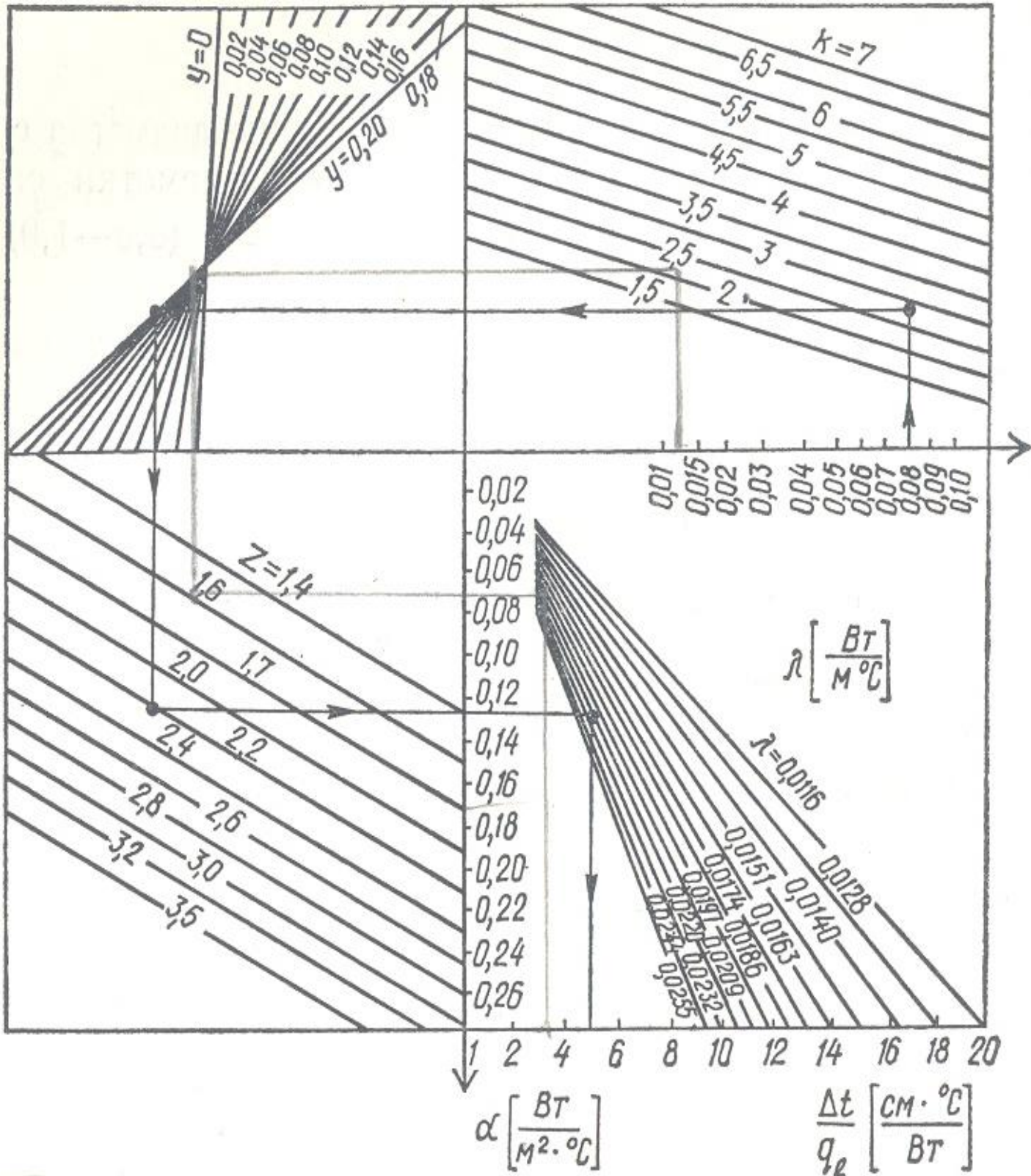
а) ТЭНы

<i>Нагреваемая среда</i>		<i>Материал оболочки ТЭН</i>	<i>Удельная мощность. Вт/см², не более</i>
	<i>Характер нагрева</i>		
Вода, слабый раствор щелочей и кислот (рН от 5 до 9)	Нагревание, кипячение	Нержавеющая жаростойкая сталь	5-15
Воздух и пр. газы и смеси газов	Нагрев в спокойной газовой среде до рабочей температуры на оболочке ТЭН 450°С	Нержавеющая жаропрочная сталь	2,2-6,0
Жиры, масла	Нагрев в ваннах и др. емкостях	Углеродистая сталь	2,5-3,0
Металлические плиты из алюминиевых сплавов (конфорки)	ТЭН залиты в изделия. Работа с термоограничителями с рабочей температурой на оболочке ТЭН до 320°С	Углеродистая сталь	13,0

Б) Электроспирали

Технологический процесс	Форма конфорки	Удельная мощность, Вт/см ²
Варка и жарка в наплитной посуде	Прямоугольная, круглая	2,34-2,92
Жарка на поверхности конфорки (включая сковороды)	Прямоугольная	3,0-4,5

Прил. 3 Номограмма для определения перепада температур в изоляционном слое



Прил.5

**Ориентировочные значения температуры продуктов,
скорости нагрева и теплового потока на поверхности изделий
для некоторых процессов тепловой обработки продуктов**

<i>Процессы</i>	<i>Температура изделий, t, °С</i>		<i>Температура среды, t, °С</i>	<i>Скорость, град/мин</i>	<i>Тепловой поток q, $\frac{Вт}{м^2}$</i>
	<i>поверхность</i>	<i>центр</i>			
Варка овощей	100	88	100	1,5...1,8	2 000
Варка мяса	100	88	100	1,5...2,0	2 000
Жаренье во фритюре	140	95	170	20...40	16 000
Тушение овощных блюд	110	97	200	1,2...1,5	800...1 000
Выпечка булочно-кондитерских изделий	120	95	220	8...10	5 000...10 000
Жаренье мясных полуфабрикатов	140	97	300	12...15	10 000...20 000

Некоторые теплофизические характеристики материалов

<i>Материал</i>	<i>Плотность, $\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$</i>	<i>Максимальная температура применения, $t, ^\circ\text{C}$</i>	<i>Коэффициент теплопроводности в зависимости от средней температуры изоляции, $\lambda, \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{град}}$</i>	<i>Удельная теплоемкость $c, \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$</i>
Алюминий	2 670	0÷100	209,3	0,880
Альфоль гладкая	20÷40	350	0,053 + 0,00022 $t_{\text{ср}}$	0,875
Альфоль гофрированная	20÷40	350	0,059 + 0,00026 $t_{\text{ср}}$	0,900
Асбест листовой	20	–	0,1163	0,818
Медь	8 800	–	384	0,381
Пенопласт	80	–	0,035	1,400
Пеношамотные изделия	950	1 350	0,28 + 0,00023 $t_{\text{ср}}$	–
Перлитокерамические изделия	300	800	0,072 + 0,00019 $t_{\text{ср}}$	–
Стекловолокно	11-30	300	0,046 + 0,00021 $t_{\text{ср}}$	0,84
Совелитные изделия	350	500	0,076 + 0,00019 $t_{\text{ср}}$	–
Нержавеющая сталь	7 900	–	17,5	0,462
Чугун	7 220	–	63,00	0,504
Минеральная вата	20-100	750	0,051 + 0,000125 $t_{\text{ср}}$	2,000
Сталь Ст. 3	7 850	–	52,0	0,460

Степень черноты полного нормального излучения различных материалов

<i>Материал</i>	<i>Температура, $t, ^\circ\text{C}$</i>	<i>Степень черноты теплоотдающей стенки, ε</i>
Алюминий полированный	225÷575	0,039÷0,057
Алюминий шероховатый	26	0,055
Железо полированное	–	0,144÷0,377
Сталь полированная	–	0,520÷0,560
Сталь листовая шлифованная	940÷1100	0,550÷0,610
Латунь прокатанная	–	0,060
Чугун обточенный	830÷990	0,6÷0,70
Чугун окисленный	200÷600	0,64÷0,78
Масляные краски различных цветов	100	0,920÷0,960
Эмаль белая, приплавленная к железу	19	0,897
Латунь тускляя	–	0,220
Сталь окисленная	200÷600	0,800
Вода	0÷100	0,950÷0,963

Таблица 11

Физические свойства воды на линии насыщения [2 и 13]

$t, ^\circ\text{C}$	$p \cdot 10^{-5}, \text{Па}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$i, \text{кДж/кг}$	$c_p, \text{кДж/}$ $(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$	$\lambda \cdot 10^3, \text{Вт/}$ $(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$	$\alpha \cdot 10^7, \text{м}^2/\text{с}$	$\mu \cdot 10^6, \text{Па} \cdot \text{с}$	$\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	$\beta \cdot 10^{-4}, \text{К}^{-1}$	$\sigma \cdot 10^3, \text{Н/м}$	Pr
0	1,013	999,9	0,00	4,212	55,1	13,1	1788	1,789	-0,63	756,4	13,67
10	1,013	999,7	42,04	4,191	57,4	13,2	1306	1,306	+0,70	741,6	9,52
20	1,013	998,2	83,91	4,183	59,9	14,3	1004	1,003	1,82	726,9	7,02
30	1,013	995,7	125,7	4,174	61,8	14,9	801,5	0,805	3,21	712,2	5,42
40	1,013	992,2	167,5	4,174	63,5	15,3	653,3	0,659	3,87	696,5	4,31
50	1,013	988,2	209,3	4,174	64,8	15,7	549,4	0,556	4,49	676,9	3,54
60	1,013	983,2	251,1	4,179	65,9	16,0	469,9	0,478	5,11	662,2	2,98
70	1,013	977,8	293,0	4,187	66,8	16,3	406,1	0,413	5,70	643,5	2,55
80	1,013	971,8	335,0	4,198	67,4	16,6	355,1	0,365	6,32	625,9	2,21
90	1,013	965,8	377,0	4,208	68,0	16,8	314,9	0,326	6,95	607,2	1,95
100	1,013	958,4	419,1	4,220	68,3	16,9	282,5	0,295	7,52	588,6	1,75
110	1,43	951,0	461,4	4,233	68,5	17,0	259,0	0,272	8,08	569,0	1,60
120	1,98	943,1	503,7	4,250	68,6	17,1	237,4	0,262	8,64	548,4	1,47
130	2,70	934,8	546,4	4,266	68,6	17,2	217,8	0,233	9,19	526,8	1,36
140	3,61	926,1	589,1	4,287	68,5	17,2	201,1	0,217	9,72	507,2	1,26
150	4,76	917,0	632,2	4,313	68,4	17,3	186,4	0,203	10,3	486,6	1,17
160	6,18	907,4	675,4	4,346	68,3	17,3	173,6	0,191	10,7	466,0	1,10
170	7,92	897,3	719,3	4,380	67,9	17,3	162,8	0,181	11,3	443,4	1,05
180	10,03	886,9	763,3	4,417	67,4	17,2	153,0	0,173	11,9	422,8	1,00
190	12,55	876,0	807,8	4,459	67,0	17,1	144,2	0,165	12,6	400,2	0,96
200	15,53	863,0	852,5	4,505	66,3	17,0	136,4	0,158	13,3	376,7	0,93
210	19,08	852,8	897,7	4,556	65,5	16,9	130,5	0,153	14,1	354,1	0,91
220	23,20	840,3	943,7	4,614	64,5	16,6	124,6	0,148	14,8	331,6	0,89
230	27,98	827,3	990,2	4,681	63,7	16,4	119,7	0,145	15,9	310,0	0,88

Расчет площадей и объемов

<i>Основные элементы</i>	<i>Размеры i-го элемент</i>	<i>Площадь, S, м</i>	<i>Расчёт площади, м²</i>	<i>Объём i-го элемента, м</i> <i>V, м³</i>	<i>Расчёт объёма, м³</i>	<i>Расчет Массы, т, кг</i>
1. Варочный сосуд	a=1,098 b=0,560 h= 0,450	$S1=a*h*2+b*h*2+a*b$	2,15	$S1*\delta1$	$2,15*0,002=0,0043$	$m=V*\rho,$ $m_{bc}=0,0043*7900=$
2. Наружный сосуд	a=1,152 b=0,586 h=0,420	$S2=a*h*2+b*h*2+a*b$	2,1	$S2*\delta2$	$2,1*0,002=0,0041$	
3. Крышка	a=1,098 b=0,560	$S3=a*b$	0,61	$S3*\delta3$	$0,61*0,001=0,00061$	
4. Кожух	a=1,50 b=0,560 h=0,552	$S4=a*h*2+b*h*2+a*b$	3,07	$S4*\delta4$	$3,07*0,001=0,00307$	
5. Теплоизол.	$\delta5=0,05$	$S5 = S4$	2,1	$S5*\delta5$	$2,1*0,05=0,105$	

Прил. 9 Таблица теплофизических характеристик рафинированного подсолнечного масла.

<i>Температура, °С</i>	<i>Плотность, кг/м³</i>	<i>Удельная теплоемкость, кДж/(кг*К)</i>	<i>Коэффициент теплопроводности, Вт/(м*К)</i>	<i>Кинематический коэффициент вязкости, $\nu * 10^6, м^2/с$</i>	<i>Значения критерия Прандтля, Pr</i>
25	921	1,8	0,166	49,8	497,0
30	919	1,82	0,166	41,6	418,8
40	911	1,86	0,163	30,4	316,0
50	904	1,9	0,164	22,7	238,0
80	884	2,03	0,159	10,4	117,3
100	871	2,11	0,156	7,21	84,7
150	836	2,32	0,149	3,41	44,4
180	814	2,45	0,145	2,36	32,5
190	807	2,49	0,143	2,11	29,6
200	800	2,53	0,141	1,90	27,12
220	787	2,61	0,139	1,56	23,0
230	778	2,66	0,137	1,43	21,5
240	771	2,70	0,136	1,30	19,85
250	764	2,74	0,135	1,19	18,5

№ п/ п	Наименование аппарата	Теплоизоляция		Мас с вод ы в паро гене рато ре,к г
		Тип	Тол щи на, мм	
1	2	3	4	5
1	Котёл КПЭ-40	альфоль	42	7
2	Котёл КПЭ-60	альфоль	48	8
3	Котёл КПЭСМ-60	альфоль	46	8
4	Котёл КПЭ-100	шлаковата	50	9
5	Котёл КПЭ-160	альфоль	50	10
6	Котёл КПЭ-250	Шлаковата	48	12
7	Котёл КПП-100	Шлаковата	44	-
8	Котёл КПП-160	альфоль	42	-
9	Котёл КПП-250	альфоль	46	-
10	Автоклав АЭ-1	Шлаковата	60	8
11	Котёл КЭ-100	Шлаковата	46	9
12	Котёл КЭ-160	альфоль	50	10
13	Котёл КЭ-250	Шлаковата	46	13
14	УЭВ-40	Шлаковата	40	7
15	УЭВ-60	альфоль	44	8
16	АПЭСМ-1	воздух	-	10
17	АПЭСМ-2	Воздух	-	20
24	ШЖЭСМ-2К	алфоль	50	-
25	ШЖЭ-0,85	асбест	60	-
26	ШЖЭ-0,51	Шлаковата	60	-
27	ШПЭСМ-3	Шлаковата	55	-
28	ШЖЭ-1,36	Асбест	60	-

Дополнительные исходные
данные по оборудованию