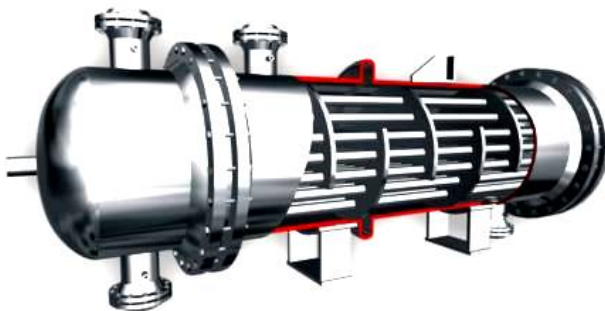


**ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ**

**Кафедра механизации животноводства и переработки  
сельскохозяйственной продукции**

## **ТЕПЛОТЕХНИКА**

**задания и методические указания по  
выполнению контрольной работы**



Новосибирск 2023

**Кафедра механизации животноводства и переработки  
сельскохозяйственной продукции**

УДК 621.1

ББК 31.3

Теплотехника: задания и методические указания по выполнению контрольной работы / Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инженер. ин-т; сост. Е.А. Пшенов – Новосибирск, 2023. – 20 с.

Рецензент:

канд. тех. наук, доцент Е.А. Булаев

задания и методические указания по выполнению контрольной работы предназначены для студентов очной и заочной форм обучения по направлениям подготовки:

Агроинженерия;

Продукты питания животного происхождения;

Технология продукции и организация общественного питания.

Утверждено и рекомендовано к изданию методическим советом Инженерного института (протокол № 8 от 28 марта 2023 г.).

© Новосибирский ГАУ, 2023

## Введение

Значительную роль в развитии отраслей промышленности играют инженерные расчеты, способствующие глубокому пониманию изучаемых процессов, представляющие основу проектирования машин и аппаратов. Базовые знания по расчету процессов и аппаратов будущий бакалавр должен получать в вузе.

Важное место в подготовке высококвалифицированных кадров пищевой промышленности занимает дисциплина «Теплотехника». На ее базе заложены основные принципы расчета тепло-массообменных процессов на основе термодинамики и тепломассообмена. Цель дисциплины – формирование представлений, знаний, умений и практических навыков в области рационального получения, преобразования и использования теплоты.

Расчет теплообменного аппарата является комплексной проверкой знаний и навыков полученных в ходе изучения дисциплины. При выполнении данной контрольной работы у студентов формируется творческое осмысление полученных результатов, анализ и оценка происходящего теплового процесса и работоспособность проектируемого аппарата.

Для проведения расчета необходимо предварительно найти по справочникам физико-химические свойства перерабатываемых веществ (плотность вязкость и т. п.), составить материальные и тепловые балансы.

К расчётам следует приступить только после тщательного изучения теоретического материала по разделам дисциплины. В противном случае, расчёты будут носить формальный алгебраический характер без физического, инженерного понимания их сущности. Кроме того, в таком случае неизбежны многочисленные ошибки.

Пособие предназначено для студентов очной и заочной форм обучения направления подготовки Агроинженерия, Продукты питания животного происхождения, Технология продукции и организация общественного питания.

Рекомендуемый список литературы охватывает все разделы программной дисциплины как по процессу теплопередачи, так и по устройству, принципу действия теплообменных аппаратов и проектированию трубчатых и пластинчатых аппаратов.

## ЗАДАНИЕ

Задача. Спроектировать трубчатый теплообменник непрерывного действия. Исходные данные по вариантам взять из таблицы 1.

Таблица 1. Исходные данные для расчета трубчатого теплообменника

| Последняя цифра шифра | Тип среды | Производительность, $G$ (т/ч) | Внутренний диаметр трубки, $d$ (мм) | Толщина стенки трубки, $\delta$ (мм) | Длина трубки, $l$ (м) | Предварительное число ходов, $z_n$ | Предпоследняя цифра шифра | Начальная температура среды, $t_1$ (°C) | Конечная температура среды, $t_2$ (°C) | Давление греющего пара, $p_n$ (МПа) |
|-----------------------|-----------|-------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|
| 0                     | вода      | 10                            | 32                                  | 2,8                                  | 2                     | 2                                  | 0                         | 14                                      | 90                                     | 0,202                               |
| 1                     | молоко    | 8                             | 25                                  | 2,8                                  | 0,8                   | 4                                  | 1                         | 8                                       | 85                                     | 0,145                               |
| 2                     | сливки    | 4                             | 20                                  | 2,35                                 | 1                     | 4                                  | 2                         | 9                                       | 80                                     | 0,126                               |
| 3                     | вода      | 9                             | 40                                  | 3                                    | 1,2                   | 2                                  | 3                         | 15                                      | 80                                     | 0,275                               |
| 4                     | молоко    | 7                             | 25                                  | 2,8                                  | 2                     | 4                                  | 4                         | 4                                       | 87                                     | 0,146                               |
| 5                     | сливки    | 5                             | 20                                  | 2,5                                  | 0,8                   | 6                                  | 5                         | 8                                       | 78                                     | 0,128                               |
| 6                     | вода      | 15                            | 32                                  | 2,8                                  | 1,8                   | 4                                  | 6                         | 14                                      | 84                                     | 0,237                               |
| 7                     | молоко    | 11                            | 20                                  | 2,35                                 | 1,6                   | 4                                  | 7                         | 8                                       | 83                                     | 0,146                               |
| 8                     | вода      | 12                            | 25                                  | 2,8                                  | 2                     | 2                                  | 8                         | 12                                      | 75                                     | 0,172                               |
| 9                     | молоко    | 8                             | 32                                  | 2,8                                  | 1,4                   | 6                                  | 9                         | 6                                       | 82                                     | 0,144                               |

## МЕТОДИКА РАСЧЁТА ТРУБЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННИКА

Таблица 2. Исходные данные для расчёта

| Показатель                  | Единица измерения | Условное обозначение | Значение |
|-----------------------------|-------------------|----------------------|----------|
| Массовая производительность | т/ч               | $G$                  |          |
| Температуры среды           |                   |                      |          |
| начальная                   | °C                | $t_1$                |          |
| конечная                    | °C                | $t_2$                |          |
| Давление греющего пара      | МПа               | $p_n$                |          |
| Внутренний диаметр трубок   | мм                | $d$                  |          |
| Длина трубок одного хода    | м                 | $l$                  |          |
| Предварительное число ходов | шт.               | $z_n$                |          |
| Вид нагреваемого продукта   |                   |                      |          |
| Материал теплоизоляции      |                   |                      |          |

*Примечание: Материал теплоизоляции выбрать из таблицы 4 приложения в ходе расчета согласно рекомендациям.*

## 1. Гидродинамический расчёт

Целью расчёта является определение режима движения и числа трубок в одном ходу теплообменника.

1.1. Определяем режим движения жидкости в нагревательных трубках при выбранной оптимальной технологической скорости из диапазона (0,6...1 м/с).

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}, \quad (1.1)$$

где  $v$  – средняя скорость движения продукта, м/с;

$d$  – внутренний диаметр нагревательных трубок, м;

$\nu$  – коэффициент кинематический вязкости среды при средней температуре, м<sup>2</sup>/с.

$$t_{cp} = 0,5 (t_1 + t_2) \quad (1.2)$$

В таблице физических свойств продукта (см. Приложение) при  $t_{cp}$  методом интерполяции определяем значение  $\nu$ .

Объёмный расход продукта, м<sup>3</sup>/с:

$$V_c = \frac{G \cdot 1000}{3600 \cdot \rho}, \quad (1.3)$$

где  $\rho$  – плотность продукта при средней температуре, кг/м<sup>3</sup>.

Значение  $\rho$  определяем интерполяцией по табличным данным в интервале температур.

1.2. Рассчитываем число трубок в одном ходу теплообменника ( $n_x$ ) из уравнения постоянства расхода:

$$V_c = v \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} n_x. \quad (1.4)$$

откуда определяем искомую величину

$$n_x = \frac{4 \cdot V_c}{\pi \cdot d^2 \cdot v}. \quad (1.5)$$

## 2. Тепловой расчёт

Целью расчёта является определение тепловых нагрузок в теплообменнике, расхода греющего пара и площади поверхности теплопередачи.

2.1. Необходимый расход тепла ( $Q$ , Вт) определяем по уравнению тепловой нагрузки:

$$Q = G \cdot c \cdot (t_2 - t_1) \quad (2.1)$$

где  $G$  – массовая производительность, кг/с;

$c$  – средняя удельная теплоёмкость продукта при  $t_{cp}$ , Дж /кг·К.

2.2. С другой стороны, эта же тепловая нагрузка, определяемая по основному уравнению теплопередачи, будет передана греющим паром продукту через боковые поверхности всех трубок

$$Q = K \cdot F \cdot \Delta t_{cp} \quad (2.2)$$

где  $K$  – коэффициент теплопередачи, Вт/м<sup>2</sup>·К;

$F$  – площадь поверхности теплопередачи, м<sup>2</sup>;

$\Delta t_{cp}$  – средняя логарифмическая разность температур, °С.

2.3. Определяем среднюю логарифмическую разность температур  $\Delta t_{cp}$ .

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_m}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_m}}, \quad (2.3)$$

где  $\Delta t_{\delta}$  – большая разность температур пара и продукта,

$\Delta t_m$  – меньшая разность температур пара и продукта.

$$\Delta t_{\delta} = t_n - t_1; \quad \Delta t_m = t_n - t_2 \quad (2.4)$$

$t_n$  – температура греющего пара, которую определяем по таблице свойств водяного насыщенного пара по величине заданного давления.

2.4. Коэффициент теплопередачи  $K$ , Вт/(м<sup>2</sup>·К):

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (2.5)$$

где  $\alpha_1$  – коэффициент теплоотдачи от пара к стенке, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\delta_{cm}$  – толщина стенки трубки, м;

$\lambda_{cm}$  – коэффициент теплопроводности стенки, ( $\lambda_{cm} = 16 \dots 18$ ), Вт/(м·К);

$\alpha_2$  – коэффициент теплоотдачи от внутренней поверхности стенки к жидкому продукту, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

2.5 Определяем температуру конденсата:

$$t_k = \frac{t_n + t_{cm}}{2}, \quad (2.6)$$

где  $t_{cm}$  – средняя температура стенки, °С.

$$t_{cm} = 0,5 \cdot (t_n + t_{cp}) \quad (2.7)$$

2.6. Рассчитываем  $\alpha_1$ , Вт/(м<sup>2</sup>·К):

$$\alpha_1 = 0,728 \cdot \varepsilon \sqrt{\frac{\lambda_k^3 \cdot \rho_k^2 \cdot g \cdot r \cdot 1000}{\mu_k \cdot (t_n - t_{cm}) \cdot d_{нар}}}, \quad (2.8)$$

где  $\lambda_k$  – теплопроводность конденсата, Вт/(м·К);

$\rho_k$  – плотность конденсата, кг/м<sup>3</sup>;

$\mu_k$  – динамическая вязкость конденсата, Па·с;

$r$  – теплота парообразования, кДж/кг;

$d_{нар}$  – наружный диаметр трубки, м.

$$d_{нар} = d + 2 \cdot \delta_{cm}, \quad (2.9)$$

$\varepsilon$  – поправочный коэффициент:

$$\varepsilon = \sqrt[8]{\left(\frac{\lambda_{k \ t_{cm}}}{\lambda_k}\right)^3 \cdot \frac{\mu_k}{\mu_{k \ t_{cm}}}},$$

здесь  $\lambda_{k \ t_{cm}}$  – теплопроводность конденсата, при температуре стенки, Вт/(м·К);

$\mu_{\kappa t_{cm}}$  – динамическая вязкость конденсата, при температуре стенки, Па·с;

2.6. Рассчитываем  $a_2$  из критериального уравнения Нуссельта:

- для ламинарного движения жидкости ( $Re < 2300$ ):

$$Nu = 0,15 \cdot Re^{0,33} \cdot Pr^{0,43} \cdot Gr^{0,1} \cdot \left( \frac{Pr}{Pr_{cm}} \right)^{0,25} \quad (2.10)$$

- для турбулентного движения жидкости ( $Re > 2300$ ):

$$Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot \left( \frac{Pr}{Pr_{cm}} \right)^{0,25} \quad (2.11)$$

где  $Pr$  – критерий Прандтля в потоке жидкого продукта;

$Pr_{cm}$  – критерий Прандтля в пристеночном слое, который характеризуется более высокой температурой.

$$Pr = \frac{c \cdot \mu}{\lambda}, \quad (2.12)$$

здесь  $c$ ,  $\mu$ ,  $\lambda$  определяем по таблицам физических свойств среды в положении.

Аналогично определяем  $c_{cm}$ ,  $\mu_{cm}$ ,  $\lambda_{cm}$ .

$Gr$  – критерий Грасгофа.

$$Gr = \frac{g \cdot d^3}{\nu^2} \cdot \Delta t \cdot \beta, \quad (2.13)$$

здесь  $\Delta t$  – разность температур стенки и продукта:  $\Delta t = t_{cm} - t_{cp}$ ;

$\beta$  – коэффициент температурного расширения среды, 1/К.

$$\beta = \frac{1}{T}. \quad (2.14)$$

здесь  $T = 0,5(T_{cm} + T_{cp})$  – определяющая температура, К;

Зная величину  $Nu$ , определяем  $a_2$

$$\alpha_2 = \frac{Nu \cdot \lambda}{d}, \quad (2.15)$$

2.7. Рассчитываем площадь теплопередачи  $F$  из основного уравнения теплопередачи:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{cp}}, \quad (2.16)$$

2.8. Фактическая площадь теплопередачи с учётом коэффициента использования поверхности нагрева  $\varphi = 0,8$  составит:

$$F_{\phi} = \frac{F}{\varphi}. \quad (2.17)$$

2.9. Определяем массовый расход греющего пара  $G_n$

$$G_n = \frac{Q}{i' - i''}, \quad (2.18)$$

где  $i'$  – энтальпия греющего пара, Дж/кг;

$i''$  – энтальпия конденсата, Дж/кг.

2.10. Удельный расход греющего пара  $d_n$

$$d_n = G_n / G \quad (2.19)$$

### 3. Конструкторский расчёт

Цель расчёта - определение точного общего числа нагревательных трубок и габаритных размеров теплообменника.

3.1. Определяем фактическое число ходов  $z_\phi$ :

$$z_\phi = \frac{F_\phi}{\pi \cdot d_n \cdot 2 \cdot l \cdot n_x} \quad (3.1)$$

3.2. Общее предварительное число трубок  $n_0$ :

$$n_0 = n_x \cdot z_\phi \quad (3.2)$$

Нагревательные трубки в аппарате располагают по сторонам правильных вписанных шестиугольников.

3.3. Число вписанных правильных шестиугольников, по сторонам которых располагают нагревательные трубки ( $a$ ) определяем решением квадратного уравнения вида:

$$n_0 = 3a^2 + 3a + 1 \rightarrow 3a^2 + 3a + (1 - n_0) = 0 \quad (3.3)$$

3.4. В приложении находим ближайшее стандартное ( $n_{oc}$ ) общее число трубок при  $a = n_{oc}$ .

3.5. Количество трубок, попавших под перегородки при диагональном размещении последних  $n_{nep} = a$ .

3.6. Фактическое общее количество трубок ( $n_{of}$ ):

$$n_{of} = n_{oc} - n_{nep} \quad (3.4)$$

3.7. Рассчитываем внутренний диаметр корпуса теплообменника

$$D = 1,15 \cdot \varphi_1 \cdot d_n \cdot n_{of}^{0,5} \quad (3.5)$$

где  $\varphi_1 = 1,40 \dots 1,65$  - коэффициент, учитывающий шаг размещения трубок.

3.8. Определяем толщину стенки корпуса  $\delta_k$ :

$$\delta_k = \frac{3 \cdot p_n \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_2} \quad (3.6)$$

где  $[\sigma] = 80$  МПа – среднее допустимое напряжение при деформации растяжения стенок корпуса.

$\varphi_2 = 0,75$  – коэффициент ослабления корпуса за счёт сварного шва.

3.9. Наружный диаметр  $D_n$  корпуса аппарата, который включает в себя два барабана:

$$D_n = D + 2\delta_k \quad (3.7)$$

3.10. Общая длина каждого барабана пастеризатора с учётом длин торцовых крышек ( $L$ ):

$$L = l + 2 \cdot 0,15 \cdot l \quad (3.8)$$

3.11. Проверяем конструктивное соотношение по устойчивости для корпуса (барабана).



$$L/D_H \leq 10 \quad (3.9)$$

3.12. Рассчитываем диаметры патрубков в теплообменнике по формулам из уравнения расхода:

- для подачи и отвода продукта

$$d_1 = d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot V_c}{\pi \cdot v}} \quad (3.10)$$

- для подачи греющего пара

$$d_n = \sqrt{\frac{4 \cdot G_n}{\pi \cdot \rho_n \cdot v_n}}, \quad (3.11)$$

где  $v_n$  – скорость движения пара, принимается 30 м/с;

- для отвода конденсата

$$d_k = \sqrt{\frac{4 \cdot G_n}{\pi \cdot \rho_k \cdot v_k}}, \quad (3.12)$$

где  $v_k$  – скорость движения конденсата (принимается равной от 1...2 м/с).

#### 4. Изоляционный расчёт

Цель расчёта - определение оптимальной толщины слоя изоляционного материала. По Правилам противопожарной безопасности температура наружной поверхности корпуса не должна превышать значения  $t_2 = 40^\circ\text{C}$ . По нормам БЖД температура воздуха в цехе в среднем должна составлять  $t_g = 22^\circ\text{C}$ .

Толщина слоя тепловой изоляции должна быть такой, чтобы потери тепла, происходящие в результате конвекции и лучеиспускания, были минимальными и не превышали 5% от тепла, поступающего с греющим паром, что соответствует технико-экономическим требованиям, предъявляемым к тепловому оборудованию. Расчёты показывают, что в большинстве случаев теплотери существенно менее 5% процентов от поступившего тепла.

В качестве изоляционного материала выбираем либо совелит, либо асбозурит или другие материалы, имеющие относительно низкие значения коэффициентов теплопроводности  $\lambda_2$ . Наружная поверхность изоляции будет покрашена масляной краской светлых тонов слоем толщиной  $\delta_3 = 1$  мм с  $\lambda_3 = 0,233$  Вт/(м·К).

4.1. Рассчитываем коэффициент теплоотдачи ( $a_k$ ) конвекцией при свободном движении газов (воздуха) от наружной поверхности изоляции к воздуху в цехе. С этой целью решаем критериальное уравнение Нуссельта (в первом приближении - для турбулентного режима).

$$Nu = 0,15 \cdot (Gr \cdot Pr)^{0,333} \quad (4.1)$$

где  $Nu$  - критерий Нуссельта, характеризующий интенсивность теплоотдачи конвекцией.

$Gr$  – критерий Грасгофа, характеризующий подъёмную силу при конвекции воздушных потоков.

$Pr$  – критерий Прандтля, характеризующий физические свойства воздуха.

$$Gr = \frac{g \cdot d^3}{\nu^2} \cdot \Delta t \cdot \beta, \quad (4.2)$$

где  $l$  – определяющий линейный размер для потока воздуха. Для горизонтального двухбарабанного пастеризатора (теплообменника)

$$l = 2 \cdot D_n \quad (4.3)$$

$\beta$  – коэффициент температурного расширения воздуха,  $1/^\circ\text{C}$ :

$$\beta = \frac{1}{273 + t_g}, \quad (4.4)$$

$\Delta t$  – средний температурный напор между поверхностью и воздухом.

$$\Delta t = t_2 - t_g \quad (4.5)$$

$\nu$  – кинематический коэффициент вязкости воздуха при  $t_g$ ,  $\text{м}^2/\text{с}$ .

По таблице физических свойств воздуха в Приложении при  $t_g$  находим значение  $Pr$ . Вычисляем произведение  $(Gr \cdot Pr)$ . Если  $(Gr \cdot Pr) > 1 \cdot 10^9$ , то имеет место турбулентный режим движения воздуха. Если  $(Gr \cdot Pr) < 1 \cdot 10^9$ , то имеет место ламинарный режим движения воздуха. В этом случае используют критериальное уравнение Нуссельта вида:

$$Nu = 0,54 \cdot (Gr \cdot Pr)^{0,25} \quad (4.6)$$

при этом зная величину  $Nu$  определяем  $\alpha_k$

$$Nu = \frac{\alpha_k \cdot l}{\lambda}, \quad (4.7)$$

откуда коэффициент теплоотдачи конвекцией ( $\alpha_k$ ):

$$\alpha_k = \frac{Nu \cdot \lambda}{l}, \quad (4.8)$$

4.3. Рассчитываем коэффициент теплоотдачи лучеиспускание ( $\alpha_l$ ) от наружной поверхности пастеризатора.

Действительная константа лучеиспускания ( $C$ ) при  $\epsilon = 0,86$ :

$$C = 4,96 \cdot \epsilon \quad (4.9)$$

Температурный коэффициент ( $\beta$ ):

$$\beta = \frac{\left(\frac{273 + t_2}{100}\right)^4 - \left(\frac{273 + t_{cm}}{100}\right)^4}{t_2 - t_{cm}}, \quad (4.10)$$

Коэффициент теплоотдачи лучеиспусканием  $\alpha_l$

$$\alpha_l = c \cdot \beta \quad (4.11)$$

4.4. Определяем суммарный коэффициент теплоотдачи ( $\alpha$ ,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$ )

$$\alpha = \alpha_k + \alpha_l \quad (4.12)$$

4.5. Средняя разность температур греющего пара и воздуха в цехе.

$$t_{cp} = t_n - t_g \quad (4.13)$$

4.6. Удельные потери теплоты в окружающую среду ( $q$ ), Вт/м<sup>2</sup>:

$$q = \alpha \cdot (t_2 - t_6) \quad (4.14)$$

4.7. Коэффициент теплоотдачи от пара к воздуху ( $K$ )

$$K = q/t_{cp} \quad (4.15)$$

4.8. Рассчитываем толщину слоя изоляции ( $\delta_2$ )

$$\delta_2 = \lambda_2 \cdot \left( \frac{1}{K} - \frac{1}{\alpha} - \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right). \quad (4.16)$$

## 5. Расчёт теплопотерь

5.1. Определяем изолированную суммарную боковую поверхность двухбарабанного пастеризатора ( $F_{бок}$ ).

$$F_{бок} = \pi \cdot (D_n + 2 \cdot \delta_{из}) \cdot L \quad (5.1)$$

5.2. Определяем изолированную суммарную торцевую поверхность двухбарабанного пастеризатора ( $F_{тор}$ ).

$$F_{тор} = 2 \cdot \pi \cdot (D_n^2 / 4) \quad (5.2)$$

5.3. Определяем потери теплоты с изолированной поверхности пастеризатора ( $Q^{из}_{nom}$ ).

$$Q^{из}_{nom} = q \cdot (F_{бок} + F_{тор}) \quad (5.3)$$

5.4. Коэффициент теплоотдачи от неизолированной поверхности

$$\alpha_n = 9,74 + 0,07 \cdot \Delta t \quad (5.4)$$

5.5. Определяем потери теплоты с неизолированной поверхности пастеризатора ( $Q^u_{nom}$ ).

$$Q^u_{nom} = \alpha_n \cdot F_{тор} \cdot (t_2 - t_6) \quad (5.5)$$

5.6. Суммарные потери теплоты со всей поверхности теплообменника

$$Q_{nom} = Q^{из}_{nom} + Q^u_{nom} \quad (5.6)$$

5.7. Относительные потери теплоты составляют ( $Q_{отн}$ )

$$Q_{отн} = Q_{nom} / Q \quad (5.7)$$

Должно выполняться соотношение  $Q_{отн} < 5\%$ . В противном случае выполняют перерасчёт толщины изоляционного слоя и затем перерасчёт теплопотерь.

## Приложения

**Таблица 1. Свойства насыщенного водяного пара в зависимости от давления**

| Давление<br>$p_n$ , МПа | Давление<br>$p_n$ , атм | Температура,<br>$t_n$ , °C | Плотность<br>$\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup> | Энтальпия<br>жидкости<br>$i''$ , кДж/кг | Энтальпия<br>пара<br>$i'$ , кДж/кг | Теплота<br>парообразо-<br>вания<br>$r$ , кДж/кг |
|-------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 0,00981                 | 0,01                    | 6,6                        | 0,00760                                   | 27,7                                    | 2506                               | 2478                                            |
| 0,00147                 | 0,015                   | 12,7                       | 0,01116                                   | 53,2                                    | 2518                               | 2465                                            |
| 0,00196                 | 0,02                    | 17,1                       | 0,01465                                   | 71,6                                    | 2526                               | 2455                                            |
| 0,00245                 | 0,025                   | 20,7                       | 0,01809                                   | 86,7                                    | 2533                               | 2447                                            |
| 0,00294                 | 0,03                    | 23,7                       | 0,02149                                   | 99,3                                    | 2539                               | 2440                                            |
| 0,00392                 | 0,04                    | 28,6                       | 0,02820                                   | 119,8                                   | 2548                               | 2429                                            |
| 0,0490                  | 0,05                    | 32,5                       | 0,03481                                   | 136,2                                   | 2556                               | 2420                                            |
| 0,00589                 | 0,06                    | 35,8                       | 0,04133                                   | 150,0                                   | 2562                               | 2413                                            |
| 0,00785                 | 0,08                    | 41,1                       | 0,05420                                   | 172,2                                   | 2573                               | 2400                                            |
| 0,00981                 | 0,10                    | 45,4                       | 0,06686                                   | 190,2                                   | 2581                               | 2390                                            |
| 0,01177                 | 0,12                    | 49,0                       | 0,07937                                   | 205,3                                   | 2588                               | 2382                                            |
| 0,01471                 | 0,15                    | 53,6                       | 0,09789                                   | 224,6                                   | 2596                               | 2372                                            |
| 0,01962                 | 0,20                    | 59,7                       | 0,1283                                    | 250,1                                   | 2607                               | 2358                                            |
| 0,02943                 | 0,30                    | 68,7                       | 0,1876                                    | 287,9                                   | 2620                               | 2336                                            |
| 0,03924                 | 0,40                    | 75,4                       | 0,2456                                    | 315,9                                   | 2632                               | 2320                                            |
| 0,04905                 | 0,50                    | 80,9                       | 0,3027                                    | 339,0                                   | 2642                               | 2307                                            |
| 0,05886                 | 0,60                    | 85,5                       | 0,3590                                    | 358,2                                   | 2650                               | 2296                                            |
| 0,06867                 | 0,70                    | 89,3                       | 0,4147                                    | 375,0                                   | 2657                               | 2286                                            |
| 0,07848                 | 0,80                    | 93,0                       | 0,4699                                    | 389,7                                   | 2663                               | 2278                                            |
| 0,08829                 | 0,90                    | 96,2                       | 0,5246                                    | 403,1                                   | 2668                               | 2270                                            |
| 0,09810                 | 1,0                     | 99,1                       | 0,5790                                    | 415,2                                   | 2677                               | 2264                                            |
| 0,11772                 | 1,2                     | 104,2                      | 0,6865                                    | 437,0                                   | 2686                               | 2249                                            |
| 0,13734                 | 1,4                     | 108,7                      | 0,7931                                    | 456,3                                   | 2693                               | 2237                                            |
| 0,15696                 | 1,6                     | 112,7                      | 0,898                                     | 473,1                                   | 2703                               | 2227                                            |
| 0,17658                 | 1,8                     | 116,3                      | 1,003                                     | 483,6                                   | 2709                               | 2217                                            |
| 0,1962                  | 2,0                     | 119,6                      | 1,107                                     | 502,4                                   | 2710                               | 2208                                            |
| 0,2943                  | 3,0                     | 132,9                      | 1,618                                     | 558,9                                   | 2730                               | 2171                                            |
| 0,3924                  | 4,0                     | 142,9                      | 2,120                                     | 601,1                                   | 2744                               | 2141                                            |
| 0,4905                  | 5,0                     | 151,1                      | 2,614                                     | 637,7                                   | 2754                               | 2117                                            |
| 0,5886                  | 6,0                     | 158,1                      | 3,104                                     | 667,9                                   | 2768                               | 2095                                            |
| 0,6867                  | 7,0                     | 164,2                      | 3,591                                     | 694,3                                   | 2769                               | 2075                                            |
| 0,7848                  | 8,0                     | 169,6                      | 4,075                                     | 718,4                                   | 2776                               | 2057                                            |
| 0,8829                  | 9,0                     | 174,5                      | 4,556                                     | 740,0                                   | 2780                               | 2040                                            |
| 0,981                   | 10                      | 179,0                      | 5,037                                     | 759,6                                   | 2784                               | 2024                                            |
| 1,0791                  | 11                      | 183,2                      | 5,516                                     | 778,1                                   | 2787                               | 2009                                            |
| 1,1772                  | 12                      | 187,1                      | 5,996                                     | 795,1                                   | 2790                               | 1995                                            |
| 1,2753                  | 13                      | 190,7                      | 6,474                                     | 811,2                                   | 2793                               | 1984                                            |
| 1,3734                  | 14                      | 194,1                      | 6,952                                     | 826,7                                   | 2795                               | 1968                                            |

продолжение таблицы 1.

| Давление    | Давление    | Температура, | Плотность                    | Энтальпия жидкости | Энтальпия пара | Теплота парообразования |
|-------------|-------------|--------------|------------------------------|--------------------|----------------|-------------------------|
| $p_n$ , МПа | $p_n$ , атм | $t_n$ , °C   | $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup> | $i''$ , кДж/кг     | $i'$ , кДж/кг  | $r$ , кДж/кг            |
| 1,4715      | 15          | 197,4        | 7,431                        | 840,9              | 2796           | 1956                    |
| 1,5696      | 16          | 200,4        | 7,909                        | 854,8              | 2798           | 1943                    |
| 1,6677      | 17          | 203,4        | 8,389                        | 867,7              | 2799           | 1931                    |
| 1,7658      | 18          | 206,2        | 8,868                        | 880,3              | 2800           | 1920                    |
| 1,8639      | 19          | 208,8        | 9,349                        | 892,5              | 2801           | 1909                    |
| 1,962       | 20          | 211,4        | 9,83                         | 904,2              | 2802           | 1898                    |
| 2,943       | 30          | 232,8        | 14,7                         | 1002               | 2801           | 1800                    |
| 3,924       | 40          | 249,2        | 19,73                        | 1079               | 2793           | 1715                    |
| 4,905       | 50          | 262,7        | 24,96                        | 1143               | 2780           | 1637                    |
| 5,886       | 60          | 274,3        | 30,41                        | 1199               | 2763           | 1565                    |
| 6,867       | 70          | 284,5        | 36,12                        | 1249               | 2746           | 1497                    |
| 7,848       | 80          | 293,6        | 42,13                        | 1294               | 2726           | 1432                    |
| 8,829       | 90          | 301,9        | 48,45                        | 1337               | 2705           | 1369                    |
| 9,81        | 100         | 309,5        | 55,11                        | 1377               | 2684           | 1306                    |

**Таблица 2. Основные размеры (мм) стальных водогазопроводных труб (ГОСТ 3262-75)**

| Условный проход | Наружный диаметр | Толщина стенки труб |              |           |
|-----------------|------------------|---------------------|--------------|-----------|
|                 |                  | легких              | обыкновенных | усиленных |
| dy              | d                |                     |              |           |
| 6               | 10,2             | 1,8                 | 2            | 2,5       |
| 8               | 13,5             | 2                   | 2,2          | 2,8       |
| 10              | 17               | 2                   | 2,2          | 2,8       |
| 15              | 21,3             | 2,35                | -            | -         |
| 15              | 21,3             | 2,5                 | 2,8          | 3,2       |
| 20              | 26,8             | 2,35                | -            | -         |
| 20              | 26,8             | 2,5                 | 2,8          | 3,2       |
| 25              | 33,5             | 2,8                 | 3,2          | 4         |
| 32              | 42,3             | 2,8                 | 3,2          | 4         |
| 40              | 48               | 3                   | 3,5          | 4         |
| 50              | 60               | 3                   | 3,5          | 4,5       |
| 65              | 75,5             | 3,2                 | 4            | 4,5       |
| 80              | 88,5             | 3,5                 | 4            | 4,5       |
| 90              | 101,3            | 3,5                 | 4            | 4,5       |
| 100             | 114              | 4                   | 4,5          | 5         |
| 125             | 140              | 4                   | 4,5          | 5,5       |
| 150             | 165              | 4                   | 4,5          | 5,5       |

**Таблица 3. Физические свойства теплоизоляционных материалов**

| Наименование материала | Плотность, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | Теплопроводность, $\lambda$ , Вт/м·К | Предельная температура применения, °С |
|------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Асбозурит Д            | 650                                   | 0,186                                | 900                                   |
| Асбозурит ДИ           | 450                                   | 0,093                                | 600                                   |
| Асбозурит Т            | 850                                   | 0,23                                 | 900                                   |
| Вата стеклянная        | 130                                   | 0,0505                               | 450                                   |
| Войлок утеплённый      | 90                                    | 0,052                                | 90                                    |
| Минеральная вата       | 200                                   | 0,058                                | 600                                   |
| Новоасбозурит- 600     | 600                                   | 0,145                                | 600                                   |
| Полихлорвинил          | 100                                   | 0,058                                | 70                                    |
| Пеностекло             | 300                                   | 0,082                                | 300                                   |
| Совелит                | 500                                   | 0,1                                  | 450                                   |
| Шлак котельный         | 850                                   | 0,24                                 | 50                                    |

**Таблица 4. Число труб при разбивке по шестиугольникам для трубчатых теплообменников**

| Число шестиугольников<br>( <i>a</i> ) | Число труб   |                           |                           |
|---------------------------------------|--------------|---------------------------|---------------------------|
|                                       | По диагонали | Общее без учёта сегментов | Общее в аппарате $n_{oc}$ |
| 1                                     | 3            | 7                         | 7                         |
| 2                                     | 5            | 19                        | 19                        |
| 3                                     | 7            | 37                        | 37                        |
| 4                                     | 9            | 61                        | 61                        |
| 5                                     | 11           | 91                        | 91                        |
| 6                                     | 13           | 127                       | 127                       |
| 7                                     | 15           | 169                       | 187                       |
| 8                                     | 17           | 217                       | 241                       |
| 9                                     | 19           | 271                       | 301                       |
| 10                                    | 21           | 331                       | 367                       |
| 11                                    | 23           | 397                       | 439                       |
| 12                                    | 25           | 469                       | 517                       |
| 13                                    | 27           | 547                       | 613                       |
| 14                                    | 29           | 631                       | 721                       |
| 15                                    | 31           | 721                       | 823                       |
| 16                                    | 33           | 817                       | 931                       |
| 17                                    | 35           | 919                       | 1045                      |
| 18                                    | 37           | 1027                      | 1165                      |
| 19                                    | 39           | 1141                      | 1303                      |
| 20                                    | 41           | 1261                      | 1459                      |

**Таблица 5. Основные физические свойства воды**

| <b>t,<br/>°C</b> | <b><math>\rho</math>,<br/>кг/м<sup>3</sup></b> | <b><math>c</math>,<br/>кДж/(кг·К)</b> | <b><math>\lambda</math>,<br/>Вт/(м·К)</b> | <b><math>\mu \cdot 10^{-6}</math>,<br/>Па·с</b> | <b><math>\nu \cdot 10^{-6}</math>,<br/>м<sup>2</sup>/с</b> | <b>Pr</b> |
|------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------|
| 0                | 999,8                                          | 4,24                                  | 0,551                                     | 1788,5                                          | 1,79                                                       | 13,7      |
| 5                | 999,7                                          | 4,228                                 | 0,563                                     | 1528,8                                          | 1,540                                                      | 11,3      |
| 10               | 998,9                                          | 4,211                                 | 0,586                                     | 1127                                            | 1,100                                                      | 8,15      |
| 15               | 998,55                                         | 4,209                                 | 0,5925                                    | 1063,3                                          | 1,05                                                       | 7,605     |
| 20               | 998,2                                          | 4,207                                 | 0,599                                     | 999,6                                           | 1,000                                                      | 7,06      |
| 25               | 996,9                                          | 4,207                                 | 0,608                                     | 896,7                                           | 0,910                                                      | 6,2       |
| 30               | 995,6                                          | 4,203                                 | 0,618                                     | 800,7                                           | 0,805                                                      | 5,5       |
| 35               | 993,9                                          | 4,203                                 | 0,626                                     | 715,4                                           | 0,72                                                       | 4,85      |
| 40               | 992,2                                          | 4,203                                 | 0,634                                     | 652,7                                           | 0,659                                                      | 4,3       |
| 45               | 990,1                                          | 4,203                                 | 0,641                                     | 602,7                                           | 0,615                                                      | 3,9       |
| 50               | 988                                            | 4,203                                 | 0,648                                     | 548,8                                           | 0,556                                                      | 3,56      |
| 55               | 985,6                                          | 4,203                                 | 0,654                                     | 504,7                                           | 0,515                                                      | 3,25      |
| 60               | 983,2                                          | 4,207                                 | 0,659                                     | 470,4                                           | 0,479                                                      | 3         |
| 65               | 980,5                                          | 4,211                                 | 0,664                                     | 436,1                                           | 0,445                                                      | 2,75      |
| 70               | 977,7                                          | 4,215                                 | 0,668                                     | 405,7                                           | 0,413                                                      | 2,56      |
| 75               | 974,8                                          | 4,215                                 | 0,671                                     | 377,3                                           | 0,385                                                      | 2,35      |
| 80               | 971,8                                          | 4,219                                 | 0,675                                     | 355,7                                           | 0,366                                                      | 2,23      |
| 85               | 968,5                                          | 4,224                                 | 0,678                                     | 347,9                                           | 0,347                                                      | 2,1       |
| 90               | 965,3                                          | 4,228                                 | 0,68                                      | 314,6                                           | 0,326                                                      | 1,95      |
| 95               | 961,8                                          | 4,23                                  | 0,6815                                    | 298,4                                           | 0,3105                                                     | 1,85      |
| 100              | 958,3                                          | 4,232                                 | 0,683                                     | 282,2                                           | 0,295                                                      | 1,75      |

**Таблица 6. Основные физические свойства молока**

| <b>t,<br/>°C</b> | <b><math>\rho</math>,<br/>кг/м<sup>3</sup></b> | <b><math>c</math>,<br/>кДж/(кг·К)</b> | <b><math>\lambda</math>,<br/>Вт/(м·К)</b> | <b><math>\mu \cdot 10^{-6}</math>,<br/>Па·с</b> | <b><math>\nu \cdot 10^{-6}</math>,<br/>м<sup>2</sup>/с</b> | <b>Pr</b> |
|------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------|
| 5                | 1032,6                                         | 3,868                                 | 0,486                                     | 2965,6                                          | 2,87                                                       | 30,20     |
| 10               | 1031,7                                         | 3,870                                 | 0,489                                     | 2469,6                                          | 2,39                                                       | 20,00     |
| 15               | 1030,7                                         | 3,880                                 | 0,492                                     | 2097,2                                          | 2,04                                                       | 17,00     |
| 20               | 1028,7                                         | 3,890                                 | 0,495                                     | 1784,0                                          | 1,74                                                       | 14,30     |
| 25               | 1027,3                                         | 3,895                                 | 0,499                                     | 1529,0                                          | 1,50                                                       | 11,80     |
| 30               | 1024,8                                         | 3,900                                 | 0,500                                     | 1323,0                                          | 1,30                                                       | 10,60     |
| 35               | 1023,2                                         | 3,906                                 | 0,501                                     | 1196,0                                          | 1,16                                                       | 9,05      |
| 40               | 1020,9                                         | 3,910                                 | 0,506                                     | 1078,0                                          | 1,02                                                       | 7,50      |
| 45               | 1018,8                                         | 3,918                                 | 0,510                                     | 940,8                                           | 0,92                                                       | 7,00      |
| 50               | 1015,9                                         | 3,870                                 | 0,516                                     | 852,6                                           | 0,84                                                       | 6,50      |
| 55               | 1014,0                                         | 3,867                                 | 0,517                                     | 764,4                                           | 0,76                                                       | 6,00      |
| 60               | 1011,1                                         | 3,850                                 | 0,518                                     | 705,6                                           | 0,70                                                       | 5,35      |
| 65               | 1008,7                                         | 3,850                                 | 0,520                                     | 646,8                                           | 0,65                                                       | 5,00      |
| 70               | 1005,2                                         | 3,850                                 | 0,524                                     | 617,4                                           | 0,62                                                       | 4,65      |
| 75               | 1003,0                                         | 3,850                                 | 0,528                                     | 588,0                                           | 0,58                                                       | 4,40      |
| 80               | 1000,3                                         | 3,850                                 | 0,530                                     | 568,4                                           | 0,56                                                       | 4,20      |
| 85               | 996,0                                          | 3,850                                 | 0,530                                     | 558,6                                           | 0,54                                                       | 4,12      |
| 90               | 999,0                                          | 3,850                                 | 0,531                                     | 548,8                                           | 0,52                                                       | 4,07      |
| 95               | 990,0                                          | 3,850                                 | 0,538                                     | 539,0                                           | 0,49                                                       | 4,00      |
| 100              | 887,0                                          | 3,850                                 | 0,542                                     | 529,2                                           | 0,48                                                       | 3,84      |

**Таблица 7. Основные физические свойства сливок**

| <b>t, °C</b> | <b><math>\rho</math>, кг/м<sup>3</sup></b> | <b>c, кДж/(кг·K)</b> | <b><math>\lambda</math>, Вт/(м·K)</b> | <b><math>\mu \cdot 10^{-3}</math>, Па·с</b> | <b><math>\nu \cdot 10^{-3}</math>, м<sup>2</sup>/с</b> | <b>Pr</b> |
|--------------|--------------------------------------------|----------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------|
| 5            | 1002,2                                     | 3,268                | 0,286                                 | 78,4                                        | 0,07848                                                | 895       |
| 10           | 1002,2                                     | 3,687                | 0,295                                 | 39,2                                        | 0,03924                                                | 490       |
| 15           | 996,9                                      | 4,119                | 0,306                                 | 17,2                                        | 0,01717                                                | 319       |
| 20           | 993,9                                      | 4,022                | 0,317                                 | 11,8                                        | 0,01177                                                | 148       |
| 25           | 991,5                                      | 4,106                | 0,321                                 | 8,9                                         | 0,00883                                                | 114,75    |
| 30           | 988                                        | 3,855                | 0,324                                 | 7,0                                         | 0,00687                                                | 81,50     |
| 35           | 985                                        | 3,687                | 0,329                                 | 5,5                                         | 0,00540                                                | 64,35     |
| 40           | 983                                        | 3,570                | 0,334                                 | 4,5                                         | 0,0044                                                 | 47,20     |
| 45           | 932                                        | 3,612                | 0,340                                 | 4,2                                         | 0,00392                                                | 36,00     |
| 50           | 980                                        | 3,599                | 0,345                                 | 2,6                                         | 0,00255                                                | 26,00     |
| 55           | 980                                        | 3,599                | 0,351                                 | 2,57                                        | 0,00252                                                | 25,55     |
| 60           | 974                                        | 3,603                | 0,358                                 | 2,57                                        | 0,00250                                                | 25,10     |
| 65           | 971                                        | 3,603                | 0,367                                 | 2,54                                        | 0,00247                                                | 23,10     |
| 70           | 965                                        | 3,603                | 0,381                                 | 2,54                                        | 0,00245                                                | 23,10     |
| 75           | 964                                        | 3,603                | 0,390                                 | 2,54                                        | 0,00245                                                | 23,00     |
| 80           | 962                                        | 3,603                | 0,398                                 | 2,55                                        | 0,00245                                                | 23,00     |
| 85           | 960                                        | 3,603                | 0,395                                 | 2,54                                        | 0,00244                                                | 22,50     |
| 90           | 960                                        | 3,603                | 0,395                                 | 2,53                                        | 0,00243                                                | 22,00     |
| 95           | 960                                        | 3,603                | 0,395                                 | 2,52                                        | 0,00242                                                | 21,75     |
| 100          | 960                                        | 3,603                | 0,395                                 | 2,50                                        | 0,00240                                                | 21,63     |

**Таблица 8. Физические свойства сухого воздуха при атмосферном давлении**

| <b>t, °C</b> | <b><math>\rho</math> кг/м<sup>3</sup></b> | <b>c, кДж/кг·K</b> | <b><math>\lambda \cdot 10^{-2}</math>, Вт/м·K</b> | <b><math>\mu \cdot 10^{-6}</math>, Па·с</b> | <b><math>\nu \cdot 10^{-6}</math>, м<sup>2</sup>/с</b> | <b>Pr</b> |
|--------------|-------------------------------------------|--------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------|
| 0            | 1,293                                     | 1,005              | 2,44                                              | 17,17                                       | 13,28                                                  | 0,707     |
| 10           | 1,247                                     | 1,005              | 2,51                                              | 17,66                                       | 14,16                                                  | 0,705     |
| 20           | 1,205                                     | 1,005              | 2,59                                              | 18,15                                       | 15,06                                                  | 0,703     |
| 30           | 1,165                                     | 1,005              | 2,67                                              | 18,64                                       | 16                                                     | 0,701     |
| 40           | 1,128                                     | 1,005              | 2,76                                              | 19,13                                       | 16,96                                                  | 0,699     |
| 50           | 1,093                                     | 1,005              | 2,83                                              | 19,62                                       | 17,95                                                  | 0,698     |
| 60           | 1,06                                      | 1,005              | 2,89                                              | 20,11                                       | 18,97                                                  | 0,696     |
| 70           | 1,029                                     | 1,009              | 2,96                                              | 20,6                                        | 20,02                                                  | 0,694     |
| 80           | 1,000                                     | 1,009              | 3,05                                              | 21,09                                       | 21,09                                                  | 0,692     |
| 90           | 0,972                                     | 1,009              | 3,13                                              | 21,48                                       | 22,1                                                   | 0,69      |



## Библиографический список

1. Еренгалиев А.Е. Проектирование процессов и аппаратов пищевых производств/ А.Е. Еренгалиев, С.Л. Масленников, А.К. Какимов, Н.О. Тусипов (Учебное пособие). – Семей: СГУ имени Шакарима, 2008. – 208 с.
2. Кудинов, В. А. Теплотехника: Учебное пособие / В.А. Кудинов, Э.М. Карташов, Е.В. Стефанюк. - М.: КУРС: НИЦ ИНФРА-М, 2019. - 424 с.: ил. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/977184>
3. Круглов, Г. А. Теплотехника / Г. А. Круглов, Р. И. Булгакова, Е. С. Круглова. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 208 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/263066>
4. Петухов, Н.А. Краткий курс теплотехники / Новосиб.гос. аграр. ун-т; Инж.ин-т. - Новосибирск, 2007. - 231 с.
5. Кудинов, А. А. Тепломассообмен : учебное пособие / А.А. Кудинов. — Москва : ИНФРА-М, 2022. — 375 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1842529> .
6. Ляшков, В. И. Теоретические основы теплотехники: Учеб. пособие для вузов / В.И. Ляшков, 2-е изд., испр. и доп. - М.: КУРС: ИНФРА-М, 2019. -с: ил. - ISBN 978-5-905554-85-8. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1002345> .
7. Семенов, Ю. П. Теплотехника : учебник / Ю. П. Семенов, А. Б. Левин. — 2-е изд. — Москва : ИНФРА-М, 2019. — 400 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1014755> .

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                            | Стр. |
|--------------------------------------------|------|
| Введение                                   | 3    |
| ЗАДАНИЕ                                    | 4    |
| МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТРУБЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННИКА | 4    |
| 1. Гидродинамический расчёт                | 5    |
| 2. Тепловой расчет аппарата                | 5    |
| 3. Конструкторский расчет аппарата         | 7    |
| 4. Изоляционный расчёт                     | 9    |
| 5. Расчёт теплопотерь                      | 11   |
| ПРИЛОЖЕНИЯ                                 | 12   |
| Библиографический список                   | 17   |

Составитель:

***Пшенов Евгений Александрович***

## **ТЕПЛОТЕХНИКА**

задания и методические указания по выполнению  
контрольной работы

предназначены для студентов очной и заочной форм обучения по  
направлениям подготовки:

Агроинженерия;

Продукты питания животного происхождения;

Технология продукции и организация общественного питания.

Печатается в авторской редакции

Компьютерная вёрстка Е.А. Пшенов

Подписано в печать 28 марта 2023 г  
Формат 84×108/32. Объем 1,25 уч.-изд. л  
Тираж 40 экз. Изд. № . Заказ №

Отпечатано в минитипографии Инженерного института НГАУ

630039, г. Новосибирск, ул. Никитина 14