

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П.О. Сухого»

Кафедра «Промышленная теплоэнергетика и экология»

**А.В. Овсянник, А.Б. Танцурин,
Д.А. Дробышевский**

ТЕРМОДИНАМИКА И ТЕПЛОУСТАНОВКИ

ПРАКТИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО

**к курсовой работе по одноименному курсу
для студентов специальности Т.20.02.03**

**«Разработка и эксплуатация
нефтяных месторождений»**

Гомель 2004

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Гомельский государственный технический университет
имени П.О. Сухого»
Кафедра «Промышленная теплоэнергетика и экология»

А.В. Овсянник, А.Б. Танцурин,
Д.А. Дробышевский

ТЕРМОДИНАМИКА И ТЕПЛОУСТАНОВКИ

ПРАКТИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО

к курсовой работе по одноименному курсу
для студентов специальности Т.20.02.03
«Разработка и эксплуатация
нефтяных месторождений»

Гомель 2004

УДК 621.1.016.7
О-34

Авторы-составители: **Овсянник А.В., Танцурич А.Б.,
Дробышевский Д.А.**

О-34 Термодинамика и теплоустановки: Практическое руководство к курсовой работе по одноименному курсу для студентов специальности Т.20.02.03 «Разработка и эксплуатация нефтяных месторождений». – Гомель: Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», 2004. – 29 с.

Практическое руководство предназначено для студентов специальности Т.20.02.03 «Разработка и эксплуатация нефтяных месторождений» для выполнения курсовой работы по курсу «Термодинамика и теплоустановки» и включает в себя следующие разделы: тепловой конструктивный расчет горизонтального пароводяного подогревателя; тепловой конструктивный расчет секционного водо-водяного подогревателя; тепловой конструктивный расчет вертикального пароводяного подогревателя графоаналитическим методом.

Рецензент: к.т.н., доцент кафедры «Электроснабжение»
ГГТУ им. П.О. Сухого Алферова Т.В.

© Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», 2004

ВВЕДЕНИЕ

Целью настоящей курсовой работы является углубление и закрепление знаний студентов по изучаемому курсу, а также приобретение практических навыков применения теоретических знаний при решении производственных задач.

Выполнению курсовой работы должно предшествовать тщательное изучение соответствующих разделов курса «Термодинамика и теплоустановки».

Курсовая работа включает в себя расчетную часть – 20-25 листов рукописного текста и графическую часть – 1 лист формата А1, содержание которого задает преподаватель.

Курсовая работа выполняется по следующим разделам:

1. Тепловой конструктивный расчет горизонтального пароводяного подогревателя.
2. Тепловой конструктивный расчет секционного водо-водяного подогревателя.
3. Тепловой конструктивный расчет вертикального пароводяного подогревателя графоаналитическим методом.

Варианты заданий студент выбирает в соответствии с шифром, который указывает преподаватель. Выбор исходных данных осуществляется по таблицам П1 и П2 Приложения.

При использовании таблиц, номограмм, эмпирических формул и других справочных материалов необходимо делать ссылку на соответствующий литературный источник.

В Приложении данного практического руководства приведены справочные таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара в состоянии насыщения.

Вычисления всех величин производятся в развернутом виде. Если подставляемая в формулу величина определяется по какой-либо расчетной зависимости, это промежуточное вычисление подробно записывается.

Обозначения величин и терминология в пояснительной записке должны соответствовать принятым обозначениям в учебниках.

Пояснительная записка должна иметь поля для заметок рецензента. На графиках необходимо показывать все нужные числовые данные (значения давления, температуры и пр.). Числовые расчеты необходимо выполнять в единицах системы СИ.

1. ТЕПЛОВОЙ КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЕТ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ПАРОВОДОЯНОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ

Данный расчет состоит в определении поверхности теплообмена рекуперативного теплообменника, в котором греющим теплоносителем является пар, а нагреваемым – вода. Пар поступает в межтрубное пространство, а вода движется по трубкам теплообменника.

Задание. Произвести расчет отопительного пароводяного подогревателя горизонтального типа производительностью Q , МВт. Температура нагреваемой воды при входе в подогреватель t_2' , при выходе t_2'' , °С. Абсолютное давление сухого насыщенного пара P , МПа; температура конденсата t_k , выходящего из подогревателя, равна температуре насыщения t_n , °С; число ходов воды $z = 2$; поверхность нагрева выполнена из латунных трубок диаметром $d_в/d_n = 14/16$ мм. Скорость воды в трубках принять равной ω , м/с. После проведения расчета по каталогам выбрать аппарат, выпускаемый серийно.

Методика расчета

Расход воды массовый G , кг/с, и объемный V , м³/с, определяется по формулам:

$$G = \frac{Q}{C_P (t_2'' - t_2')} ; \quad V = \frac{G}{\rho_B} . \quad (1)$$

Число трубок в одном ходе:

$$n_0 = \frac{4 \cdot V}{\omega \cdot \pi \cdot d_B^2} . \quad (2)$$

Число трубок в корпусе (всего):

$$n = n_0 \cdot z . \quad (3)$$

Принимая шаг трубок, мм,

$$s = d_n + 6 \text{ мм}, \quad (4)$$

внутренний диаметр корпуса

$$D_B = 1,1 \cdot s \cdot \sqrt{\frac{n}{\eta}} , \quad (5)$$

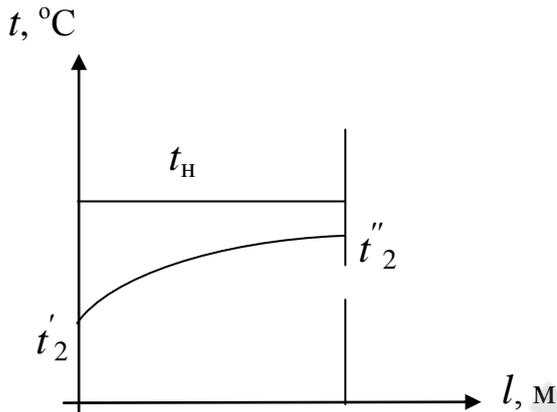
где η – коэффициент заполнения трубной решетки, принимается 0,6 ... 0,8.

Приведенное число трубок в вертикальном ряду:

$$m = \sqrt{n}. \quad (6)$$

Температурный напор:

$$\Delta t = \frac{t_2'' - t_2'}{\ln \frac{t_H - t_2'}{t_H - t_2''}}. \quad (7)$$



Средние температуры воды и стенки:

$$t = t_H - \Delta t, \quad (8)$$

$$t_{CT} = 0,5 \cdot (t + t_H). \quad (9)$$

Рассмотрим теплоотдачу от пара стенке.

Для горизонтального подогревателя режим течения пленки конденсата в межтрубном пространстве определяется по приведенной длине трубки (критерию Григулля):

$$L = m \cdot d_n \cdot (t_H - t_{CT}) \cdot A_1, \quad (10)$$

где A_1 – температурный множитель, $1/(m \cdot K)$, значение которого находится по t_n из таблицы ПЗ Приложения.

Если $L < L_{кр} = 3900$ (для горизонтальных труб), то режим течения пленки конденсата ламинарный и тогда для этого режима коэффициент теплоотдачи пара, $Вт/(m^2 \cdot K)$, может быть определен по формуле Д.А. Лабунцова:

$$\alpha_{II} = \frac{A_2}{\sqrt[4]{m \cdot d_H \cdot (t_H - t_{CT})}}, \quad (11)$$

где A_2 – коэффициент, определяемый по t_H из таблицы ПЗ Приложения.

Рассмотрим теплоотдачу от стенки воде.

Если режим течения воды в трубках турбулентный, то коэффициент теплоотдачи при движении воды, Вт/(м²·К), определяется по формуле:

$$\alpha_B = A_5 \frac{\omega^{0,8}}{d_B^{0,2}}, \quad (12)$$

где A_5 – множитель, определяемый по средней температуре воды t из таблицы ПЗ Приложения.

Режим течения воды в трубках является турбулентным при значениях критерия $Re > 10^4$:

$$Re = \frac{\omega \cdot d_B}{\nu}, \quad (13)$$

где ν – кинематическая вязкость воды, м²/с, определяется по средней температуре воды t (из таблицы П7 Приложения).

Далее уточняется значение температуры стенки трубок подогревателя:

$$t'_{CT} = \frac{t_H \cdot \alpha_{II} + t \cdot \alpha_B}{\alpha_{II} + \alpha_B}. \quad (14)$$

если t'_{CT} отличается от принятого ранее значения t_{CT} более чем на 5 %, то необходимо произвести пересчет α_n , задавая в качестве температуры стенки значение t_{CT} .

Расчетный коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К), определяется по формуле:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{II}} + \frac{\delta}{\lambda_{CT}} + \frac{1}{\alpha_B}}, \quad (15)$$

где λ_{CT} – коэффициент теплопроводности для латунных трубок, Вт/(м·К).

Расчетная поверхность нагрева, м²,

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t}. \quad (16)$$

По расчетной поверхности нагрева F и диаметру трубок по каталогу выбирается пароводяной подогреватель горизонтального типа, выписываются его технические характеристики (площадь поверхности нагрева F , количество трубок n , длина трубок l , приведенное число трубок в вертикальном ряду m).

Далее уточняется скорость течения воды, м/с, в трубках выбранного подогревателя:

$$\omega = \frac{4 \cdot V \cdot z}{n \cdot \pi \cdot d_B^2} \quad (17)$$

и значение критерия Re :

$$Re = \frac{\omega \cdot d_B}{\nu} \quad (18)$$

Уточняется коэффициент теплоотдачи при движении воды в трубках, Вт/(м²·К),

$$\alpha_B = A_5 \frac{\omega^{0,8}}{d_B^{0,2}} \quad (19)$$

и коэффициент теплоотдачи пара, Вт/(м²·К),

$$\alpha_{II} = \frac{A_2}{\sqrt[4]{m \cdot d_H \cdot (t_H - t_{CT})}} \quad (20)$$

Здесь в качестве t_{CT} подставляется значение температуры стенки t'_{CT} , рассчитанное по формуле (14).

Затем температура стенки уточняется по формуле (14). Если полученное уточненное значение t''_{CT} отличается от значения t'_{CT} более чем на 5 %, то необходимо произвести пересчет α_n , задавая в качестве температуры стенки значение t''_{CT} .

Уточненный коэффициент теплопередачи K , Вт/(м²·К), определяется по формуле (15). Уточненная необходимая поверхность нагрева F , м², рассчитываемая по формуле (16), не должна превышать действительной площади поверхности нагрева выбранного подогревателя.

Длина хода воды, м,

$$L = l \cdot z \quad (21)$$

Потеря давления в подогревателе ΔP , кг·с/м², при движении воды по трубкам определяется с учетом дополнительных потерь от шероховатости

в результате загрязнения трубок χ и потерь от местных сопротивлений ξ , которые определяются по таблице П5 Приложения:

$$\Delta P = \left(\frac{\lambda_T \cdot L \cdot \chi}{d_B} + \sum \xi \right) \cdot \frac{\omega^2 \rho}{2g}, \quad (22)$$

где χ – для новых (чистых) латунных трубок принимается 1,0, для старых (загрязненных) латунных трубок 1,3; λ_T – коэффициент гидравлического трения, принимается по уточненному значению критерия Re по таблице П4 Приложения.

2. ТЕПЛОВОЙ КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЕТ СЕКЦИОННОГО ВОДО-ВОДЯНОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ

Расчет секционного водо-водяного подогревателя заключается в определении общей площади поверхности теплообмена и необходимого количества секций. Греющим и нагреваемым теплоносителями является вода. Причем, греющий теплоноситель движется по трубкам теплообменника, а нагреваемая вода – в межтрубном пространстве.

Задание. Произвести расчет секционного водо-водяного подогревателя производительностью Q , МВт. Температура нагреваемой воды при входе в подогреватель t_2' , при выходе t_2'' , °С. Температура греющей (сетевой) воды при входе в подогреватель t_1' , при выходе t_1'' , °С. Поверхность нагрева теплообменника выполнена из латунных трубок диаметром $d_в/d_n = 14/16$ мм. Влияние загрязнения поверхности нагрева и снижения коэффициента теплопередачи учесть коэффициентом $\beta = 0,70$. Скорость воды в трубках принять равной ω , м/с.

Методика расчета

Расходы сетевой воды в трубках и воды, нагреваемой в межтрубном пространстве, массовые G , кг/с, и объемные V , м³/с, определяются по формулам:

$$G_T = \frac{Q}{C_P (t_1'' - t_1')}, \quad V_T = \frac{G_T}{\rho_B}, \quad (23)$$

$$G_{MT} = \frac{Q}{C_P (t_2'' - t_2')}, \quad V_{MT} = \frac{G_{MT}}{\rho_B}. \quad (24)$$

Площадь проходного сечения трубок

$$f_T = \frac{V_T}{\omega_T}. \quad (25)$$

По площади f_T по каталогу выбирается секционный водо-водяной подогреватель, выписываются его технические характеристики (диаметр корпуса D_n , количество трубок n , площадь проходного сечения трубок f_T , площадь проходного сечения межтрубного пространства f_{MT}).

Далее уточняется скорость движения воды в трубках и межтрубном пространстве:

$$\omega_T = \frac{V_T}{f_T}; \quad (26)$$

$$\omega_{MT} = \frac{V_{MT}}{f_{MT}}. \quad (27)$$

Эквивалентный диаметр для межтрубного пространства, м,

$$d_{\Omega} = \frac{4 \cdot f_{MT}}{P}, \quad (28)$$

где P – периметр межтрубного пространства, м,

$$P = \pi \cdot (d_n \cdot n + D_B), \quad (29)$$

где D_B – внутренний диаметр корпуса теплообменника, м.

Средняя температура воды в трубках и в межтрубном пространстве:

$$t_1 = 0,5 \cdot (t''_1 + t'_1), \quad (30)$$

$$t_2 = 0,5 \cdot (t''_2 + t'_2). \quad (31)$$

По температуре t_1 из таблицы ПЗ Приложения выбирается температурный множитель A_{5T} , а по температуре t_2 – температурный множитель A_{5MT} .

Далее определяется режим течения воды в трубках и в межтрубном пространстве. Режим течения воды является турбулентным при значениях критерия $Re > 10^4$:

$$Re_{T(MT)} = \frac{\omega_{T(MT)} \cdot d_{B(\Omega)}}{V_{T(MT)}}, \quad (32)$$

где $\nu_{T(MT)}$ – кинематическая вязкость воды, $\text{м}^2/\text{с}$, определяемая по средней температуре воды в трубках и межтрубном пространстве (из таблицы П7 Приложения).

Если режим течения воды в трубках турбулентный, то коэффициент теплоотдачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, при движении воды в трубках и межтрубном пространстве определяется по формуле:

$$\alpha_{T(MT)} = A_{5T(MT)} \frac{\omega_{T(MT)}^{0,8}}{d_{B(Q)}^{0,2}} \quad (33)$$

Коэффициент теплопередачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, определяется как для плоской стенки:

$$K = \frac{\beta}{\frac{1}{\alpha_T} + \frac{\delta}{\lambda_{CT}} + \frac{1}{\alpha_{MT}}}, \quad (34)$$

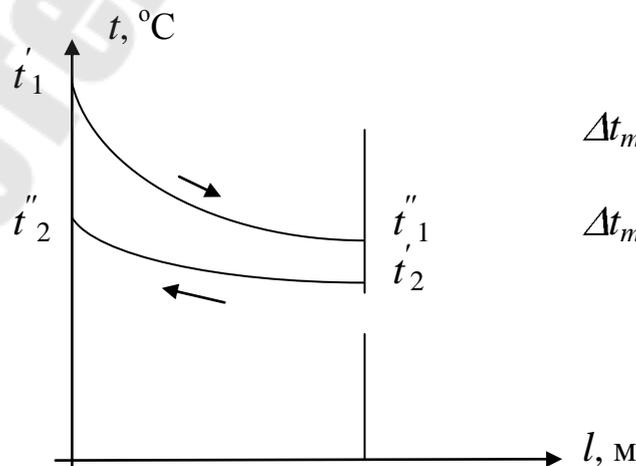
где λ_{CT} – коэффициент теплопроводности для латунных трубок, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Средний температурный напор и расчетная поверхность нагрева подогревателя, м^2 , определяются по следующим формулам:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}}{\ln \frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}}, \quad (35)$$

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t}, \quad (36)$$

для противотока:



$$\Delta t_{max} = t'_1 - t''_2;$$

$$\Delta t_{min} = t''_1 - t'_2.$$

Далее, зная площадь поверхности нагрева одной секции F' выбранного подогревателя (и длину трубок l_T), следует рассчитать количество секций z и уточненную поверхность нагрева $F = F' \cdot z$, которая должна быть не меньше, чем расчетная поверхность нагрева подогревателя, рассчитанная по формуле (36).

Затем определяется длина хода воды в трубках и межтрубном пространстве:

$$L_T = l_T \cdot z, \quad (37)$$

$$L_{MT} = (l_T - 0,5) \cdot z. \quad (38)$$

Гидравлические потери в подогревателе, кг·с/м², в трубном и межтрубном пространстве определяются с учетом дополнительных потерь от шероховатости в результате загрязнения трубок χ , а также потерь от местных сопротивлений ξ :

$$\Delta P_{T(MT)} = \left(\frac{\lambda_{T(MT)} \cdot L_{T(MT)} \cdot x}{d_{B(Q)}} + \sum \xi_{T(MT)} \right) \cdot \frac{\omega_{T(MT)}^2 \rho}{2g}, \quad (39)$$

где χ – для новых (чистых) латунных трубок принимается 1,0, для старых (загрязненных) латунных трубок 1,3; $\lambda_{T(MT)}$ – коэффициент гидравлического трения, принимается по уточненному значению критерия $Re_{T(MT)}$ по таблице П4 Приложения; $\sum \xi_T$ – определяется по таблице П5 Приложения; $\sum \xi_{MT}$ – по формуле:

$$\sum \xi_{MT} = 13,5 \cdot z. \quad (40)$$

Диаметры патрубков и колен, соединяющих секции подогревателя, определяются по формуле:

$$d_{K(MT)} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{V_{T(MT)}}{\omega_{T(MT)}}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{G_{T(MT)}}{\rho \omega_{T(MT)}}}. \quad (41)$$

Скорость движения рабочих сред в патрубках (штуцерах) по возможности должна совпадать с рабочей скоростью движения сред в аппарате, устанавливаемой в расчете. Поэтому скорость нагреваемой воды в патрубках, соединяющих межтрубные пространства теплообменников, и скорость греющего теплоносителя, движущегося из аппарата в аппарат по соединяющим их коленам, принимаются приблизительно равными значениям скорости движения этих сред в теплообменнике.

3. ТЕПЛОВОЙ КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЕТ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПАРОВОДОЯНОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ

Задание. Произвести конструктивный тепловой расчет четырехходового ($z = 4$) вертикального пароводяного подогревателя при следующих заданных условиях: производительность аппарата Q , МВт; параметры греющего пара: давление P , энтальпия h , температура t ; температура насыщенного пара t_n ; энтальпия конденсата на выходе из теплообменника h_n . Температура нагреваемой воды при входе в подогреватель t_2' , при выходе t_2'' , °С. Поверхность нагрева выполнена из латунных трубок диаметром $d_g/d_n = 14/16$ мм. Вода проходит по трубкам, а пар поступает в межтрубное пространство. Высота трубок в одном ходе $H = 4$ м. Толщина накипи $\delta_n = 0,0002$ м, $\lambda_n = 2$ Вт/(м·К).

Методика расчета

Определяется расход пара D , кг/с, и объемный расход воды V , м³/с:

$$D = \frac{Q}{h - h_n}, \quad (42)$$

$$V = \frac{Q}{c_p \cdot (t_2'' - t_2') \cdot \rho}. \quad (43)$$

Средняя логарифмическая разность температур теплоносителей в подогревателе:

$$\Delta t_{CP} = \frac{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}}{\ln \frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}}, \quad (44)$$

где (для противотока)

$$\Delta t_{max} = t_n - t_2',$$

$$\Delta t_{min} = t - t_2''.$$

Далее применяется методика упрощенного графоаналитического метода расчета удельного теплового потока q , Вт/(м²·К). Для этого предварительно для различных участков процесса теплопередачи находится теплозависимость между удельным тепловым напряжением q и перепадом температур Δt на данном участке:

а) рассмотрим процесс теплоотдачи от пара стенке. Коэффициент теплоотдачи пара, Вт/(м²·К), определяется по формуле Нуссельта:

$$\alpha_{II} = 1,334 \cdot \frac{B}{H^{0,25} \cdot \Delta t^{0,25}}, \quad (45)$$

где $B = 5700 + 56 \cdot t_n - 0,09 \cdot t_n^2$,

$$\Delta t = t_n - t_{CT},$$

$$t_{CT} = 0,5 \cdot ((t_n - \Delta t_{cp}) + t_n) = 0,5 \cdot (2 \cdot t_n - \Delta t_{cp}), \text{ следовательно,}$$

$$\Delta t = t_n - t_n + 0,5 \cdot \Delta t_{cp} = 0,5 \cdot \Delta t_{cp}.$$

Обозначим $\alpha_1 = \alpha_{II}$. Имеем теплозависимость вида $q_1 = \alpha_1 \cdot \Delta t_1$. Задаваясь рядом значений Δt_1 , вычисляем соответствующие им величины q_1 , Вт/(м²·К). Строим (на миллиметровке) зависимость $\Delta t_1 = f(q_1)$ (см. *рис. 1*);

б) рассмотрим процесс теплопроводности через стенку. Теплозависимость имеет следующий вид:

$$q_2 = \frac{\lambda_{CT}}{\delta_{CT}} \cdot \Delta t_2, \quad (46)$$

т. е. зависимость между q_2 и Δt_2 изображается прямой линией (линейная). Задавшись любым Δt_2 , наносим эту прямую на график (см. *рис. 1*);

в) рассмотрим процесс теплопроводности через слой накипи. Теплозависимость имеет следующий вид:

$$q_3 = \frac{\lambda_H}{\delta_H} \cdot \Delta t_3, \quad (47)$$

т. е. зависимость между q_3 и Δt_3 также изображается прямой линией, наносим ее на график;

г) теплоотдача от стенки воде.

Скорость воды в пароводяных подогревателях обычно составляет 1-3 м/с, движение воды – турбулентное, поэтому, задавшись предварительно скоростью воды ω_T , воспользуемся упрощенной формулой:

$$\alpha_4 = \alpha_B = A_5 \frac{\omega_T^{0,8}}{d_B^{0,2}}, \quad (48)$$

где A_5 – температурный множитель, берется из таблицы ПЗ Приложения по средней температуре воды.

Имеем теплозависимость вида $q_4 = \alpha_4 \cdot \Delta t_4$. Задаваясь рядом значений Δt_4 , вычисляем соответствующие им величины q_4 , Вт/(м²·К). Строим зависимость $\Delta t_4 = f(q_4)$.

Складывая ординаты четырех зависимостей, строим суммарную теплозависимость $\sum \Delta t = f(q)$. Из точки на оси ординат, соответствующей Δt_{cp} , проводим прямую, параллельную оси абсцисс, до пересечения ее с суммарной

зависимостью. Из пересечения в точке f опускаем перпендикуляр fa на ось абсцисс и находим значение удельного теплового потока q , Вт/(м²·К).

Коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К), рассчитывается по следующей формуле:

$$K = \frac{q}{\Delta t_{CP}}. \quad (49)$$

Площадь поверхности нагрева теплообменника, м²,

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{CP}}. \quad (50)$$

По расчетной площади поверхности нагрева и диаметру трубок по каталогу выбирается вертикальный пароводяной подогреватель и выписываются его технические характеристики (площадь поверхности нагрева F , количество трубок n , высота трубок в одном ходе H , максимальное рабочее давление в трубной системе и корпусе).

Далее уточняется скорость течения воды ω , м/с, в трубках выбранного подогревателя:

$$\omega = \frac{4 \cdot V \cdot z}{n \cdot \pi \cdot d_B^2}. \quad (51)$$

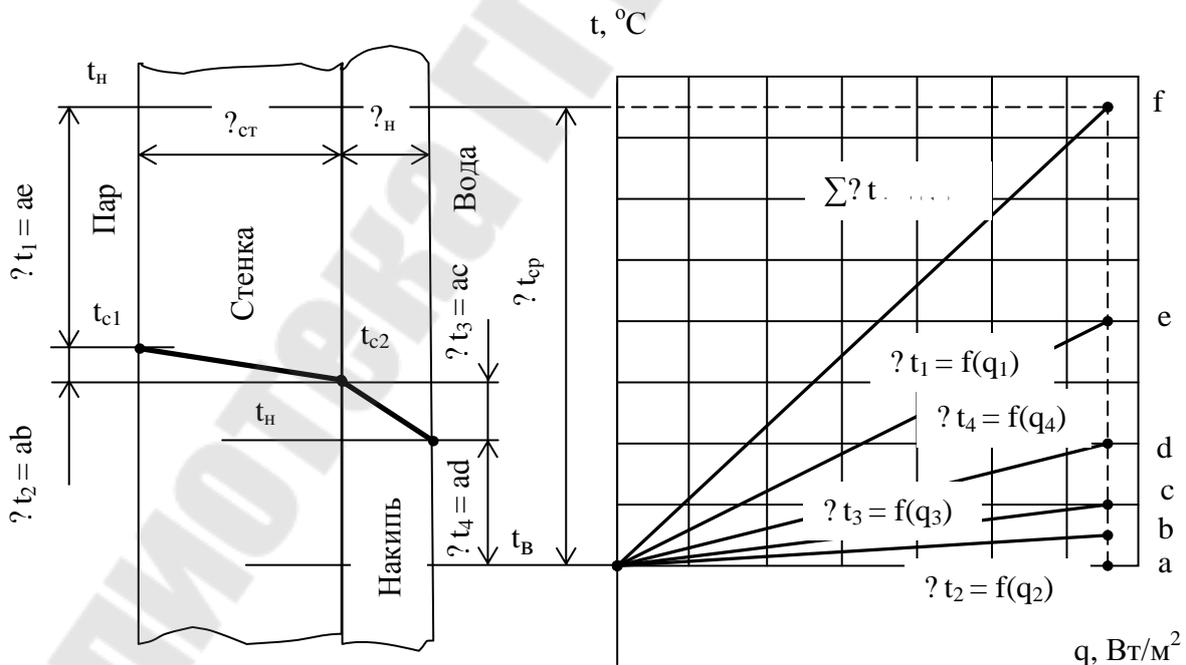


Рис. 1. Тепловое напряжение поверхности нагрева

Уточняется коэффициент теплоотдачи при движении воды в трубках, Вт/(м²·К), по формуле (48) и коэффициент теплоотдачи пара, Вт/(м²·К), по

формуле (45), причем в формулу (45) в качестве Δt подставляется величина отрезка ae (см. рис. 1).

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

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{II}} + \frac{\delta}{\lambda_{ст}} + \frac{\delta_H}{\lambda_H} + \frac{1}{\alpha_B}}. \quad (52)$$

Необходимая площадь поверхности нагрева F , м², уточняемая по формуле (50), не должна превышать действительной площади поверхности нагрева выбранного подогревателя.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П1

Варианты исходных данных (части 1, 2)

<i>Горизонтальный пароводяной и секционный водо-водяной подогреватели</i>								
Предпоследняя цифра шифра	ω , м/с	$Q \cdot 10^{-6}$, Вт	Последняя цифра шифра	$t'_{2,}$, °C	$t''_{2,}$, °C	P, МПа	$t'_{1,}$, °C	$t''_{1,}$, °C
0	1,0	2,5	0	70	95	0,30	140	80
1	1,8	2,3	1	60	90	0,25	130	75
2	1,6	2,8	2	65	95	0,40	135	80
3	1,5	2,7	3	70	100	0,45	140	85
4	1,7	2,9	4	75	100	0,48	145	85
5	1,1	3,0	5	72	97	0,38	143	90
6	1,3	3,5	6	60	95	0,32	130	80
7	1,2	4,0	7	58	90	0,42	125	70
8	1,4	4,5	8	68	97	0,36	132	80
9	1,0	3,8	9	70	90	0,28	140	75

Таблица П2

Варианты исходных данных (часть 3)

<i>Вертикальный пароводяной подогреватель</i>						
Предпоследняя цифра шифра	$Q \cdot 10^{-6}$, Вт	P, МПа	t , °C	Последняя цифра шифра	$t'_{1,}$, °C	$t''_{2,}$, °C
0	20	0,25	135	0	65	117
1	18	0,30	145	1	68	120
2	16	0,32	150	2	70	125
3	22	0,35	155	3	75	130
4	21	0,20	140	4	60	110
5	19	0,24	135	5	65	115
6	17	0,28	140	6	67	118
7	25	0,26	138	7	63	115
8	23	0,29	142	8	70	120
9	24	0,27	140	9	72	128

Таблица ПЗ

Значения температурных множителей

Конденсирующийся водяной пар					Вода при турбулентном движении	
Температура насыщения $t_n, ^\circ\text{C}$	$A_1, 1/(\text{м}\cdot\text{К})$	$A_2, \text{Вт/м}$	$A_3, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$	$A_4 \cdot 10^3, \text{м/Вт}$	Температура $t, ^\circ\text{C}$	A_5
20	5,16	-	-	1,62	20	2000
30	7,88	-	-	2,06	30	2100
40	11,4	-	-	2,54	40	2400
50	15,6	-	-	3,06	50	2600
60	20,9	-	-	3,62	60	2700
70	27,1	-	-	4,22	70	2800
80	34,5	8400	12200	4,88	80	3000
90	42,0	8710	12750	5,57	90	3100
100	51,5	8950	13100	6,28	100	3300
110	60,7	9180	13480	6,95	110	3400
120	70,3	9350	13800	7,65	120	3500
130	82,0	9500	14070	8,47	130	3600
140	94,0	9600	14280	9,29	140	3780
150	107	9700	14450	10,15	150	3850
160	122	9730	14520	11,09	160	3920
170	136	9800	14650	12,04	170	4000
180	150	9850	14700	12,90	180	4100

Таблица П4

Значения $\lambda_T = f(\text{Re})$

$\text{Re} \cdot 10^{-3}$	λ_T	$\text{Re} \cdot 10^{-3}$	λ_T	$\text{Re} \cdot 10^{-3}$	λ_T
10	0,0303	80	0,0184	200	0,0153
20	0,0253	90	0,0179	220	0,0150
30	0,0230	100	0,0175	240	0,0147
40	0,0215	120	0,0168	260	0,0146
50	0,0205	140	0,0164	280	0,0144
60	0,0197	160	0,0160	300	0,0142
70	0,0190	180	0,0156	320	0,0140

Таблица П5

**Коэффициенты местного сопротивления ξ
арматуры и отдельных элементов теплообменного аппарата**

Наименование детали	ξ	Наименование детали	ξ
Вентиль проходной $d = 50$ мм при полном открытии	4,6	То же через колено в секционных подогревателях	2,0
То же, $d = 40$ мм	7,6	Вход в межтрубное пространство под углом 90^0 к рабочему потоку	1,5
Вентиль Косва	1,0		
Задвижка нормальная	0,5-1,0	Поворот на 180^0 в U-образной трубе	0,5
Кран проходной	0,6-2,0	Переход из одной секции в другую (межтрубный поток)	2,5
Угольник 90^0	1,0-2,0		
Колено гладкое 90^0 , $R = d$	0,3	Поворот на 180^0 через перегородку в межтрубном пространстве	1,5
То же, $R = 4d$	1,0		
Входная или выходная камера (удар и поворот)	1,5	Огибание перегородок, поддерживающих трубы	0,5
Поворот на 180^0 из одной секции в другую через промежуточную камеру	2,5	Выход из межтрубного пространства под углом 90^0	1,0

Таблица П6

Международная система единиц (СИ)

Наименование величин	Единицы измерения	Сокращённое обозначение единиц измерения
<i>Основные единицы</i>		
Длина	метр	<i>м</i>
Масса	килограмм	<i>кг</i>
Время	секунда	<i>с</i>
Сила электрического тока	ампер	<i>А</i>
Термодинамическая температура	градус Кельвина	<i>К</i>
Сила света	свеча	<i>св</i>

Наименование величин	Единицы измерения	Сокращённое обозначение единиц измерения
<i>Дополнительные единицы</i>		
Плоский угол	радиан	<i>рад</i>
Телесный угол	стерадиан	<i>стер</i>
<i>Производные единицы</i>		
Площадь	квадратный метр	m^2
Объём	кубический метр	m^3
Плотность (объёмная масса)	килограмм на кубический метр	$кг/м^3$
Скорость	метр в секунду	$м/с$
Угловая скорость	радиан в секунду	$рад/с$
Ускорение	метр на секунду в квадрате	$м/с^2$
Сила	ньютон	$Н$
Давление (механическое напряжение)	ньютон на квадратный метр	$Н/м^2$
Работа, энергия, количество теплоты	джоуль	<i>Дж</i>
Мощность	ватт	<i>Вт</i>
Удельная работа	джоуль на килограмм	<i>Дж/кг</i>
» энергия	» » »	»
» теплота	» » »	»
Энтальпия системы	джоуль	<i>Дж</i>
Удельная энтальпия	джоуль на килограмм	<i>Дж/кг</i>
Энтропия системы	джоуль на градус	<i>Дж/град</i>
Удельная энтропия	джоуль на килограмм-градус	<i>Дж/(кг·град)</i>
Теплоёмкость системы	джоуль на градус	<i>Дж/град</i>
Удельная теплоёмкость	джоуль на килограмм-градус	<i>Дж/(кг·град)</i>

Таблица П7

Физические свойства воды на линии насыщения

$T, \text{ К}$	$p, \text{ МПа}$	$c_p, \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$	$\lambda, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$	$\alpha \cdot 10^4, \text{ м}^2/\text{ч}$	$\mu \cdot 10^5, \text{ Па}\cdot\text{с}$	$\nu \cdot 10^6, \text{ м}^2/\text{с}$	Pr
273	0,0006108	4,212	0,551	4,71	178,8	1,789	13,67
283	0,0012271	4,191	0,574	4,94	130,6	1,306	9,52
293	0,002337	4,183	0,599	5,16	100,4	1,006	7,02
303	0,004241	4,174	0,618	5,35	80,2	0,805	5,42
313	0,007375	4,174	0,635	5,51	65,3	0,659	4,31
323	0,012335	4,174	0,648	5,65	54,9	0,556	3,54
333	0,01992	4,178	0,659	5,78	47,0	0,478	2,98
343	0,03116	4,187	0,668	5,87	40,6	0,415	2,55
353	0,04736	4,195	0,674	5,96	35,5	0,365	2,21
363	0,07011	4,208	0,680	6,03	31,5	0,326	1,95
373	0,10132	4,220	0,683	6,08	28,3	0,295	1,75
383	0,14327	4,233	0,685	6,13	25,9	0,272	1,60
393	0,19854	4,250	0,686	6,16	23,7	0,252	1,47
403	0,27011	4,266	0,686	6,19	21,8	0,233	1,36
413	0,3614	4,287	0,685	6,21	20,1	0,217	1,26
423	0,4760	4,313	0,684	6,22	18,7	0,203	1,17
433	0,6180	4,346	0,683	6,23	17,4	0,191	1,10
443	0,7920	4,380	0,679	6,22	16,3	0,181	1,05
453	1,0027	4,417	0,675	6,20	15,3	0,173	1,00
463	1,2553	4,459	0,670	6,17	14,4	0,165	0,96
473	1,5550	4,505	0,663	6,14	13,6	0,158	0,93
493	2,3202	4,614	0,645	5,99	12,5	0,148	0,89
513	3,3480	4,756	0,628	5,84	11,5	0,141	0,87
533	4,6940	4,949	0,605	5,61	10,6	0,135	0,87
553	6,4190	5,230	0,574	5,27	9,8	0,131	0,90
573	8,5920	5,736	0,540	4,75	9,1	0,128	0,97
593	11,290	6,573	0,506	4,15	8,5	0,128	1,11
613	14,608	8,163	0,457	3,30	7,8	0,127	1,39
633	18,674	13,984	0,395	1,93	6,7	0,126	2,35

Насыщенный водяной пар (по давлениям)

Р, бар	t, °C	v', м ³ /кг	v'', м ³ /кг	i', кДж/кг	i'', кДж/кг	r, кДж/кг	s', кДж/(кг·град)	s'', кДж/(кг·град)
0,010	6,9200	0,0010001	129,9	29,320	2513	2484	0,1054	8,975
0,015	13,038	0,0010007	87,90	54,750	2525	2470	0,1958	8,827
0,020	17,514	0,0010014	66,97	73,520	2533	2459	0,2609	8,722
0,025	21,094	0,0010021	54,24	88,500	2539	2451	0,3124	8,642
0,030	24,097	0,0010028	45,66	101,04	2545	2444	0,3546	8,576
0,035	26,692	0,0010035	39,48	111,86	2550	2438	0,3908	8,521
0,040	28,979	0,0010041	34,81	121,42	2554	2433	0,4225	8,473
0,045	31,033	0,0010047	31,13	130,00	2557	2427	0,4507	8,431
0,050	32,88	0,0010053	28,19	137,83	2561	2423	0,4761	8,393
0,060	36,18	0,0010064	23,74	151,50	2567	2415	0,5207	8,328
0,070	39,03	0,0010075	20,53	163,43	2572	2409	0,5591	8,274
0,080	41,54	0,0010085	18,10	173,9	2576	2402	0,5927	8,227
0,090	43,79	0,0010094	16,20	183,3	2580	2397	0,6225	8,186
0,10	45,84	0,0010103	14,68	191,9	2584	2392	0,6492	8,149
0,11	47,72	0,0010111	13,40	199,7	2588	2388	0,6740	8,116
0,12	49,45	0,0010119	12,35	207,0	2591	2384	0,6966	8,085
0,13	51,07	0,0010126	11,46	213,8	2594	2380	0,7174	8,057
0,14	52,58	0,0010133	10,69	220,1	2596	2376	0,7368	8,031
0,15	54,00	0,0010140	10,02	226,1	2599	2373	0,7550	8,007
0,20	60,08	0,0010171	7,647	251,4	2609	2358	0,8321	7,907
0,25	64,99	0,0010199	6,202	272,0	2618	2346	0,8934	7,830
0,30	69,12	0,0010222	5,226	289,3	2625	2336	0,9441	7,769
0,40	75,88	0,0010264	3,994	317,7	2636	2318	1,0261	7,670
0,50	81,35	0,0010299	3,239	340,6	2645	2204	1,0910	7,593
0,60	85,95	0,0010330	2,732	360,0	2653	2293	1,1453	7,531
0,70	89,97	0,0010359	2,364	376,8	2660	2283	1,1918	7,479
0,80	93,52	0,0010385	2,087	391,8	2665	2273	1,2330	7,434
0,90	96,72	0,0010409	1,869	405,3	2670	2265	1,2696	7,394
1,0	99,64	0,0010432	1,694	417,4	2675	2258	1,3026	7,360
1,1	102,33	0,0010452	1,550	428,9	2679	2250	1,3327	7,328
1,2	104,81	0,0010472	1,429	439,4	2683	2244	1,3606	7,298
1,3	107,14	0,0010492	1,325	449,2	2687	2238	1,3866	7,271
1,4	109,33	0,0010510	1,236	458,5	2690	2232	1,4109	7,246
1,5	111,38	0,0010527	1,159	467,2	2693	2226	1,4336	7,223

Продолжение табл. П8

р, бар	t, °C	v', м ³ /кг	v'', м ³ /кг	i', кДж/кг	i'', кДж/кг	г, кДж/кг	s', кДж/(кг·град)	s'', кДж/(кг·град)
1,6	113,32	0,0010543	1,0910	475,4	2696	2221	1,4550	7,202
1,7	115,17	0,0010559	1,0310	483,2	2699	2216	1,4752	7,182
1,8	116,94	0,0010575	0,9773	490,7	2702	2211	1,4943	7,163
1,9	118,62	0,0010591	0,9290	497,9	2704	2206	1,5126	7,145
2,0	120,23	0,0010605	0,8854	504,8	2707	2202	1,5302	7,127
2,1	121,78	0,0010619	0,8459	511,4	2709	2198	1,5470	7,111
2,2	123,27	0,0010633	8,8098	517,8	2711	2193	1,5630	7,096
2,3	124,71	0,0010646	0,7768	524,0	2713	2189	1,5783	7,081
2,4	126,09	0,0010659	0,7465	529,8	2715	2185	1,5929	7,067
2,5	127,43	0,0010672	0,7185	535,4	2717	2182	1,6071	7,053
2,6	128,73	0,0010685	0,6925	540,9	2719	2178	1,621	7,040
2,7	129,98	0,0010697	0,6684	546,2	2721	2175	1,634	7,027
2,8	131,20	0,0010709	0,6461	551,4	2722	2171	1,647	7,015
2,9	132,39	0,0010721	0,6253	556,5	2724	2167	1,660	7,003
3,0	133,54	0,0010733	0,6057	561,4	2725	2164	1,672	6,992
3,1	134,66	0,0010744	0,5873	566,3	2727	2161	1,683	6,981
3,2	135,75	0,0010754	0,5701	571,1	2728	2157	1,695	6,971
3,3	136,82	0,0010765	0,5539	575,7	2730	2154	1,706	6,961
3,4	137,86	0,0010776	0,5386	580,2	2731	2151	1,717	6,951
3,5	138,88	0,0010786	0,5241	584,5	2732	2148	1,728	6,941
3,6	139,87	0,0010797	0,5104	588,7	2734	2145	1,738	6,932
3,7	140,84	0,0010807	0,4975	592,8	2735	2142	1,748	6,923
3,8	141,79	0,0010817	0,4852	596,8	2736	2139	1,758	6,914
3,9	142,71	0,0010827	0,4735	600,8	2737	2136	1,768	6,905
4,0	143,62	0,0010836	0,4624	604,7	2738	2133	1,777	6,897
4,1	144,51	0,0010845	0,4518	608,5	2740	2131	1,786	6,889
4,2	145,39	0,0010855	0,4416	612,3	2741	2129	1,795	6,881
4,3	146,25	0,0010865	0,4319	616,1	2742	2126	1,804	6,873
4,4	147,09	0,0010874	0,4227	619,8	2743	2123	1,812	6,865
4,5	147,92	0,0010883	0,4139	623,4	2744	2121	1,821	6,857
5,0	151,84	0,0010927	0,3747	640,1	2749	2109	1,860	6,822
6,0	158,84	0,0011007	0,3156	670,5	2757	2086	1,931	6,761
7,0	164,96	0,0011081	0,2728	697,2	2764	2067	1,992	6,709
8,0	170,42	0,0011149	0,2403	720,9	2769	2048	2,046	6,663

Продолжение табл. П8

р, бар	t, °C	v', м ³ /кг	v'', м ³ /кг	i', кДж/кг	i'', кДж/кг	г, кДж/кг	s', кДж/(кг·град)	s'', кДж/(кг·град)
9,0	175,35	0,0011213	0,2149	742,8	2774	2031	2,094	6,623
10	179,88	0,0011273	0,1946	762,7	2778	2015	2,138	6,587
11	184,05	0,0011331	0,1775	781,1	2781	2000	2,179	6,554
12	187,95	0,0011385	0,1633	798,3	2785	1987	2,216	6,523
13	191,60	0,0011438	0,1512	814,5	2787	1973	2,251	6,495
14	195,04	0,0011490	0,1408	830,0	2790	1960	2,284	6,469
15	198,28	0,0011539	0,1317	844,6	2792	1947	2,314	6,445
16	201,36	0,0011586	0,1238	858,3	2793	1935	2,344	6,422
17	204,30	0,0011632	0,1167	871,6	2795	1923	2,371	6,400
18	207,10	0,0011678	0,1104	884,4	2796	1912	2,397	6,379
19	209,78	0,0011722	0,1047	896,6	2798	1901	2,422	6,359
20	212,37	0,0011766	0,09958	908,5	2799	1891	2,447	6,340
21	214,84	0,0011809	0,09492	919,8	2800	1880	2,470	6,322
22	217,24	0,0011851	0,09068	930,9	2801	1870	2,492	6,305
23	219,55	0,0011892	0,08679	941,5	2801	1860	2,514	6,288
24	221,77	0,0011932	0,08324	951,8	2802	1850	2,534	6,272
25	223,93	0,0011972	0,07993	961,8	2802	1840	2,554	6,256
26	226,03	0,0012012	0,07688	971,7	2803	1831	2,573	6,242
27	228,06	0,0012050	0,07406	981,3	2803	1822	2,592	6,227
28	230,04	0,0012088	0,07141	990,4	2803	1813	2,611	6,213
29	231,96	0,0012126	0,06895	999,4	2803	1804	2,628	6,199
30	233,83	0,0012163	0,06665	1008,3	2804	1796	2,646	6,186
32	237,44	0,0012238	0,06246	1025,3	2803	1778	2,679	6,161
34	240,88	0,0012310	0,05875	1041,9	2803	1761	2,710	6,137
36	244,16	0,0012380	0,05543	1057,5	2802	1745	2,740	6,113
38	247,31	0,0012450	0,05246	1072,7	2802	1729	2,769	6,091
40	250,33	0,0012520	0,04977	1087,5	2801	1713	2,796	6,070
42	253,24	0,0012588	0,04732	1101,7	2800	1698	2,823	6,049
44	256,05	0,0012656	0,04508	1115,3	2798	1683	2,849	6,029
46	258,75	0,0012724	0,04305	1128,8	2797	1668	2,874	6,010
48	261,37	0,0012790	0,04118	1141,8	2796	1654	2,898	5,991
50	263,91	0,0012857	0,03944	1154,4	2794	1640	2,921	5,973
55	269,94	0,0013021	0,03564	1184,9	2790	1605	2,976	5,930
60	275,56	0,0013185	0,03243	1213,9	2785	1571	3,027	5,890
65	280,83	0,0013347	0,02973	1241,3	2779	1538	3,076	5,851

Окончание табл. П8

р, бар	t, °C	v' , м ³ /кг	v'' , м ³ /кг	i' , кДж/кг	i'' , кДж/кг	г, кДж/кг	s' , кДж/(кг·град)	s'' , кДж/(кг·град)
70	285,80	0,0013510	0,02737	1267,4	2772	1505	3,122	5,814
75	290,50	0,0013673	0,02532	1292,7	2766	1473	3,166	5,779
80	294,98	0,0013838	0,02352	1317,0	2758	1441	3,208	5,745
85	299,24	0,0014005	0,02192	1340,8	2751	1410	3,248	5,711
90	303,32	0,0014174	0,02048	1363,7	2743	1379	3,287	5,678
95	307,22	0,0014345	0,01919	1385,9	2734	1348	3,324	5,646
100	310,96	0,0014521	0,01803	1407,7	2725	1317	3,360	5,615
110	318,04	0,0014890	0,01598	1450,2	2705	1255	3,430	5,553
120	324,63	0,0015270	0,01426	1491,1	2685	1194	3,496	5,492
130	330,81	0,0015670	0,01277	1531,5	2662	1131	3,561	5,432
140	336,63	0,0016110	0,01149	1570,8	2638	1067	3,623	5,372
150	342,11	0,0016580	0,01035	1610,0	2611	1001	3,684	5,310
160	347,32	0,0017100	0,00932	1650,0	2582	932,0	3,746	5,247
170	352,26	0,0017680	0,00838	1690,0	2548	858,3	3,807	5,177
180	356,96	0,0018370	0,00750	1732,0	2510	778,2	3,871	5,107
190	361,44	0,0019210	0,00668	1776,0	2466	690,0	3,938	5,027
200	365,71	0,0020400	0,00585	1827,0	2410	583,0	4,015	4,928
210	369,79	0,0022100	0,00498	1888,0	2336	448,0	4,108	4,803
220	373,70	0,0027300	0,00367	2016,0	2168	152,0	4,303	4,591

Примечание. Параметры критического состояния: $t_{кр} = 374,15$ °C; $p_{кр} = 221,29$ бар; $v_{кр} = 0,00326$ м³/кг.

Таблица П9

Насыщенный водяной пар (по температурам)

t, °C	р, бар	v' , м ³ /кг	v'' , м ³ /кг	i' , кДж/кг	i'' , кДж/кг	г, кДж/кг	s' , кДж/(кг·град)	s'' , кДж/(кг·град)
0	0,006108	0,0010002	206,30	0,0	2501	2501	0,0	9,1544
5	0,008719	0,0010001	147,20	21,05	2510	2489	0,0762	9,0241
10	0,012277	0,0010004	106,42	42,04	2519	2477	0,1510	8,8994
15	0,017041	0,0010010	77,97	62,97	2528	2465	0,2244	8,7806
20	0,02337	0,0010018	57,84	83,90	2537	2454	0,2964	8,6665
25	0,03166	0,0010030	43,40	104,8	2547	2442	0,3672	8,5570

Продолжение табл. П9

$t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{ бар}$	$v, \text{ м}^3/\text{кг}$	$v'', \text{ м}^3/\text{кг}$	$i, \text{ кДж/кг}$	$i'', \text{ кДж/кг}$	$r, \text{ кДж/кг}$	$s', \text{ кДж/(кг}\cdot\text{град)}$	$s'', \text{ кДж/(кг}\cdot\text{град)}$
30	0,04241	0,0010044	32,93	125,7	2556	2430	0,4366	8,4523
35	0,05622	0,0010061	25,24	146,6	2565	2418	0,5049	8,3519
40	0,07375	0,0010079	19,55	167,5	2574	2406	0,5723	8,2559
45	0,09584	0,0010099	15,28	188,4	2582	2394	0,6384	8,1638
50	0,12335	0,0010120	12,04	209,3	2592	2383	0,7038	8,0753
55	0,15740	0,0010145	9,578	230,2	2600	2370	0,7679	7,9901
60	0,19917	0,0010171	7,678	251,1	2609	2358	0,8311	7,9084
65	0,2501	0,0010199	6,201	272,1	2617	2345	0,8934	7,8297
70	0,3117	0,0010228	5,045	293,0	2626	2333	0,9549	7,7544
75	0,3855	0,0010258	4,133	314,0	2635	2321	1,0157	7,6815
80	0,4736	0,0010290	3,408	334,9	2643	2308	1,0753	7,6116
85	0,5781	0,0010324	2,828	355,9	2651	2295	1,1342	7,5438
90	0,7011	0,0010359	2,361	377,0	2659	2282	1,1925	7,4787
95	0,8451	0,0010396	1,982	398,0	2668	2270	1,2502	7,4155
100	1,0132	0,0010435	1,673	419,1	2676	2257	1,3071	7,3547
105	1,2079	0,0010474	1,419	440,2	2683	2243	1,3632	7,2959
110	1,4326	0,0010515	1,210	461,3	2691	2230	1,4184	7,2387
115	1,6905	0,0010559	1,036	482,5	2698	2216	1,4733	7,1832
120	1,9854	0,0010603	0,8917	503,7	2706	2202	1,5277	7,1298
125	2,3208	0,0010649	0,7704	525,0	2713	2188	1,5814	7,0777
130	2,7011	0,0010697	0,6683	546,3	2721	2174	1,6345	7,0272
135	3,1300	0,0010747	0,5820	567,5	2727	2159	1,6869	6,9781
140	3,6140	0,0010798	0,5087	589,0	2734	2145	1,7392	6,9304
145	4,1550	0,0010851	0,4461	610,5	2740	2130	1,7907	6,8839
150	4,7600	0,0010906	0,3926	632,2	2746	2114	1,8418	6,8383
155	5,4330	0,0010962	0,3466	653,9	2753	2099	1,8924	6,7940
160	6,1800	0,0011021	0,3068	675,5	2758	2082	1,9427	6,7508
165	7,0080	0,0011081	0,2725	697,3	2763	2066	1,9924	6,7081
170	7,9200	0,0011144	0,2426	719,2	2769	2050	2,0417	6,6667
175	8,9250	0,0011208	0,2166	741,1	2773	2032	2,0909	6,6256
180	10,027	0,0011275	0,1939	763,1	2778	2015	2,1395	6,5858
185	11,234	0,0011344	0,1739	785,2	2782	1997	2,1876	6,5465
190	12,553	0,0011415	0,1564	807,5	2786	1979	2,2357	6,5074
195	13,989	0,0011489	0,1409	829,9	2790	1960	2,2834	6,4694
200	15,551	0,0011565	0,1272	852,4	2793	1941	2,3308	6,4318
205	17,245	0,0011644	0,1151	875,0	2796	1921	2,3777	6,3945
210	19,080	0,0011726	0,1043	897,7	2798	1900	2,4246	6,3577

t , °C	p , бар	v , м ³ /кг	v'' , м ³ /кг	i , кДж/кг	i'' , кДж/кг	r , кДж/кг	s' , кДж/(кг·град)	s'' , кДж/(кг·град)
215	21,062	0,0011812	0,09465	920,7	2800	1879	2,4715	6,3212
220	23,201	0,0011900	0,08606	943,7	2802	1858	2,5179	6,2849
225	25,504	0,0011992	0,07837	966,9	2802	1835	2,5640	6,2488
230	27,979	0,0012087	0,07147	990,4	2803	1813	2,6101	6,2133
235	30,635	0,0012187	0,06527	1013,9	2804	1790	2,6561	6,1780
240	33,480	0,0012291	0,05967	1037,5	2803	1766	2,7021	6,1425
245	36,524	0,0012399	0,05462	1061,6	2803	1741	2,7478	6,1073
250	39,776	0,0012512	0,05006	1085,7	2801	1715	2,7934	6,0721
255	43,250	0,0012631	0,04591	1110,2	2799	1689	2,8394	6,0366
260	46,940	0,0012755	0,04215	1135,1	2796	1661	2,8851	6,0013
265	50,870	0,0012886	0,03872	1160,2	2794	1634	2,9307	5,9657
270	55,050	0,0013023	0,03560	1185,3	2790	1605	2,9764	5,9297
275	59,490	0,0013168	0,03274	1210,7	2785	1574	3,0223	5,8938
280	64,910	0,0013321	0,03013	1236,9	2780	1543	3,0681	5,8573
285	69,180	0,0013483	0,02774	1263,1	2773	1510	3,1146	5,8205
290	74,450	0,0013655	0,02554	1290,0	2766	1476	3,1611	5,7827
295	80,020	0,0013839	0,02351	1317,2	2758	1441	3,2079	5,7443
300	85,920	0,0014036	0,02164	1344,9	2749	1404	3,2548	5,7049
305	92,140	0,001425	0,01992	1373,1	2739	1366	3,3026	5,6647
310	98,700	0,001447	0,01832	1402,1	2727	1325	3,3508	5,6233
315	105,61	0,001472	0,01683	1431,7	2714	1282	3,3996	5,5802
320	112,90	0,001499	0,01545	1462,1	2700	1238	3,4495	5,5353
325	120,57	0,001529	0,01417	1493,6	2684	1190	3,5002	5,4891
330	128,65	0,001562	0,01297	1526,1	2666	1140	3,5522	5,4412
335	137,14	0,001599	0,01184	1559,8	2646	1086	3,6056	5,3905
340	146,08	0,001639	0,01078	1594,7	2622	1027	3,6605	5,3361
345	155,48	0,001686	0,009771	1639	2595	963,5	3,7184	5,2769
350	165,37	0,001741	0,008803	1671	2565	893,5	3,7786	5,2117
355	175,77	0,001807	0,007869	1714	2527	813,0	3,8439	5,1385
360	186,74	0,001894	0,006943	1762	2481	719,3	3,9162	5,0530
365	198,30	0,002020	0,005990	1817	2421	603,5	4,0001	4,9463
370	210,53	0,002220	0,004930	1892	2331	438,4	4,1137	4,7951
374	220,87	0,002800	0,003470	2032	2147	114,7	4,3258	4,5030

Примечание. Параметры критического состояния: $t_{кр} = 374,15$ °C;
 $p_{кр} = 221,29$ бар; $v_{кр} = 0,00326$ м³/кг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача. Учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1980. – 469 с.
2. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: Справочник /Под общей ред. В.А. Григорьева и В.М. Зорина. Т.4. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 588 с.
3. Рабинович О.М. Сборник задач по технической термодинамике. – Изд. 5-е изд. – М.: Машиностроение, 1973. – 344 с.
4. Теплотехника: Учебное пособие для студентов вузов. /Под ред. Г.А. Матвеева. – М.: Высшая школа, 1981. – 480 с.
5. Теплотехника: Учебник для студентов вузов. – 2-е изд., перераб. /Под ред. И.Н. Сушкина. – М.: Металлургия, 1973. – 479 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ТЕПЛОВОЙ КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЕТ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ПАРОВОДЯНОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ.....	4
2. ТЕПЛОВОЙ КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЕТ СЕКЦИОННОГО ВОДО- ВОДЯНОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ.....	8
3. ТЕПЛОВОЙ КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЕТ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПАРОВОДЯНОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ.....	12
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	16
ЛИТЕРАТУРА	27

Учебное издание

ТЕРМОДИНАМИКА И ТЕПЛОУСТАНОВКИ

ПРАКТИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО

**к курсовой работе по одноименному курсу
для студентов специальности Т.20.02.03
«Разработка и эксплуатация
нефтяных месторождений»**

**Авторы-составители: Овсянник Анатолий Васильевич
Танцурин Александр Борисович
Дробышевский Дмитрий Анатольевич**

Редактор Л.Ф. Теплякова
Компьютерная верстка Н.В. Широглазова

Подписано в печать 08.06.03.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 1,63. Уч. - изд. л. 1,64. Тираж 100 экз. Изд. № 54.
Заказ № .

Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П.О. Сухого».

Лицензия ЛВ № 399 от 12.06.2001.
246746, г. Гомель, пр. Октября, 48, т. 47-71-64.

Отпечатано на ризографическом оборудовании
Учреждения образования «Гомельский государственный технический
университет имени П.О. Сухого».

Лицензия ЛП № 114 от 19.12.2002.
246746, г. Гомель, пр. Октября, 48, т. 47-71-64.