

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ И ПИЩЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**



Кафедра теоретических

ОСНОВ

тепло- и хладотехники

РАСЧЕТ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО КОЖУХОТРУБНОГО КОНДЕНСАТОРА ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Методические указания
к самостоятельной работе
для студентов всех специальностей
факультетов холодильной техники,
криогенной техники и кондиционирования
очной формы обучения

Санкт-Петербург
2009

УДК 536.2

Ширяев Ю.Н., Гусев К.В., Арсеньев И.А. Расчет горизонтального кожухотрубного конденсатора холодильной установки: Метод. указания к самостоятельной работе для студентов всех спец. факультетов холодильной техники, криогенной техники и кондиционирования очной формы обучения. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2009. – 30 с.

Приведены пример расчета горизонтального кожухотрубного оребренного конденсатора и программа расчета на языке Фортран 90.

Рецензент

Доктор техн. наук, проф. А.Я. Эглит

Рекомендованы к изданию редакционно-издательским советом университета

© Санкт-Петербургский государственный
университет низкотемпературных
и пищевых технологий, 2009

ВВЕДЕНИЕ

Перед выполнением расчета конденсатора холодильной машины студент должен изучить изложенные в лекциях и в литературе [1] теоретические положения, характеризующие процессы теплопередачи в конденсаторах.

В результате выполнения самостоятельной работы студент должен усвоить общие принципы и порядок теплового расчета теплообменного аппарата, изучить графоаналитический метод определения плотности теплового потока и уяснить условия, при которых возникает необходимость применения такого метода, разобраться в возможных способах интенсификации в рассчитываемом аппарате.

В методических указаниях рассмотрен пример расчета горизонтального кожухотрубного конденсатора, в межтрубном пространстве которого конденсируется хладагент R22, а внутри труб движется вода, которая отводит теплоту конденсации. Конденсация происходит на наружной поверхности оребренных труб. Ребра дисковые, геометрические характеристики заданы в примере.

Расчетная методика, изложенная в методических указаниях, позволяет рассчитывать конденсаторы гладкотрубные и конденсаторы с накатным оребрением.

Расчетная программа позволяет анализировать влияние режимных параметров работы конденсатора, а также геометрических характеристик теплообменной поверхности аппарата на коэффициент теплопередачи и расчетное значение поверхности конденсатора при одной и той же тепловой производительности.

Принятые обозначения

Q	– тепловая производительность конденсатора, Вт
$t_{\text{в}}$	– температура хладоносителя (воды), °С
$t_{\text{к}}$	– температура конденсации хладагента, °С
Θ	– разность температур, °С
θ_m	– средняя логарифмическая разность температур, °С
λ	– коэффициент теплопроводности, Вт/м · К
ν	– коэффициент кинематической вязкости, м ² /с
$\beta_{\text{в}}$	– коэффициент термического расширения хладоносителя (воды), 1/К
w	– скорость движения хладоносителя (воды), м/с
d	– диаметр, м
l	– определяющий размер, м
α	– коэффициент теплоотдачи, Вт/м ² · К

f	– площадь погонного метра, м^2
s	– шаг, м
δ	– толщина, м
$\beta = \frac{f_{\text{ор}}}{f_{\text{вн}}}$	– коэффициент оребрения
$\varphi = \frac{f_{\text{ор}}}{f_0}$	– степень оребрения
K_1	– частный коэффициент теплопередачи, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$
r	– теплота парообразования, кДж/кг
ρ	– плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$
ψ_p	– коэффициент, учитывающий толщину пленки конденсата
g	– ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$
h	– высота, м
E	– коэффициент эффективности ребра
F	– площадь, м^2
q	– тепловой поток, $\text{Вт}/\text{м}^2$
n	– число труб
K_0	– общий коэффициент теплопередачи, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$
Re	– критерий Рейнольдса
Nu	– критерий Нуссельта
Pr	– критерий Прандтля
Gr	– критерий Грасгофа

Индексы

1	– на входе в конденсатор
2	– на выходе из конденсатора
в	– хладоноситель (вода)
вн	– внутренний
н	– наружный
р	– ребро
о	– основной (главный)
мр	– межреберный
ор	– оребренный
тр	– труба
з	– загрязнение
ср	– средний
а	– хладагент
гл	– гладкий
г	– горизонтальный (продольный)
в	– вертикальный (поперечный)
пр	– приведенный
t	– от англ. <i>middle</i> – средний

РАСЧЕТ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО КОЖУХОТРУБНОГО КОНДЕНСАТОРА

Упрощенная конструкция кожухотрубного конденсатора представлена на рис. 1.

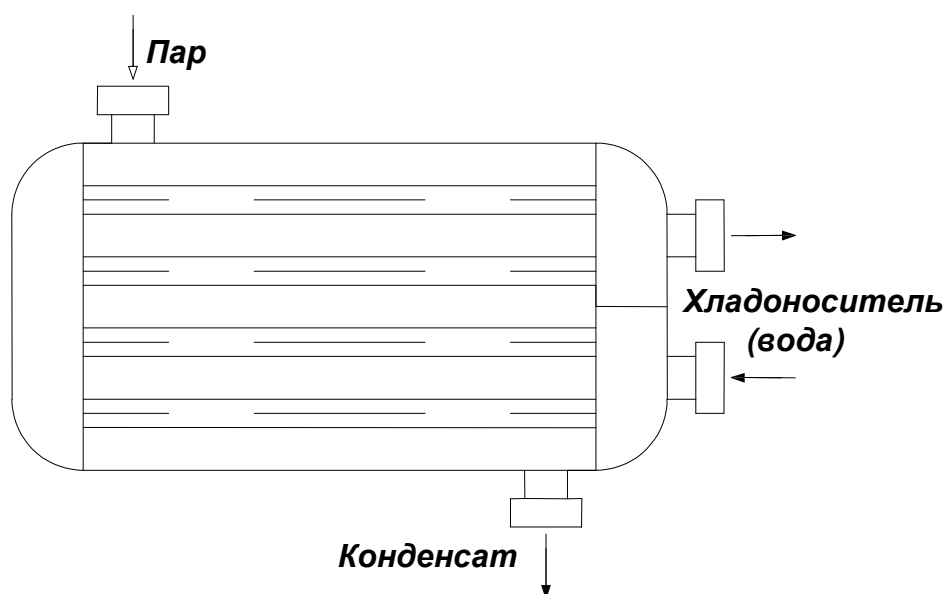


Рис. 1. Упрощенная конструкция кожухотрубного конденсатора

Цель расчета – определение коэффициента теплопередачи, удельного теплосъема аппарата (плотности теплового потока) и теплопередающей поверхности (площади поверхности аппарата).

Исходные данные

Тепловая производительность конденсатора Q , Вт	60000
Температура воды на входе в конденсатор $t_{в1}$, °С	26
Температура воды на выходе из конденсатора $t_{в2}$, °С	28
Температура насыщения хладагента R22 t_k , °С	30
Размеры медной трубы:	
внутренний диаметр $d_{вн}$, мм.....	13
диаметр по основанию ребер d_n , мм.....	16,5
средняя толщина стенки трубы $\delta_{ср}$, мм.....	1,75
Параметры дискового оребрения:	
диаметр ребер d_p , мм.....	21
толщина ребра δ_p , мм.....	2
шаг ребра s_p , мм.....	3

Последовательность расчета

1. Определение средней логарифмической разности температур (средний логарифмический температурный напор)

График изменения температур воды и хладагента R22 приведен на рис. 2.

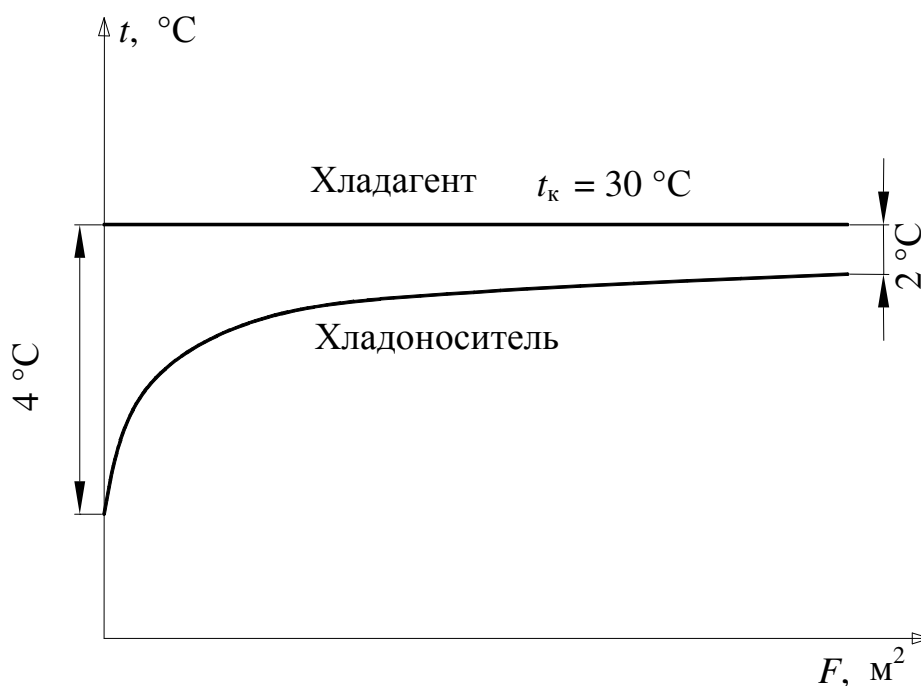


Рис. 2. Изменение температур хладоносителя (воды) и хладагента R22

Средний логарифмический температурный напор равен:

$$\theta_m = \frac{t_{B2} - t_{B1}}{\ln \frac{t_k - t_{B1}}{t_k - t_{B2}}} = \frac{28 - 26}{\ln \frac{30 - 26}{30 - 28}} = 2,885 \text{ }^\circ\text{C}$$

2. Определение коэффициента теплоотдачи от хладоносителя (воды) к внутренней поверхности медной трубы

Средняя температура воды равна:

$$\bar{t}_B = t_k - \theta_m = 30 - 2,885 = 27,115 \text{ }^\circ\text{C}$$

Теплофизические свойства воды для этой температуры находим из [2]

$$\lambda_B = 0,613 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}, \quad \nu_B = 8,63 \cdot 10^{-7} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}, \quad \beta_B = 2,809 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{К}},$$

$$\text{Pr}_B = 5,882.$$

Для расчета коэффициента теплоотдачи необходимо найти критерий Рейнольдса, характеризующий режим движения хладоносителя. Критерий Рейнольдса определяем по формуле

$$\text{Re} = \frac{w \cdot l}{\nu},$$

где l – определяющий размер.

За определяющий размер принимаем внутренний диаметр трубы $d_{\text{вн}}$. Скорость движения воды внутри трубы принимаем $w_B = 1$ м/с.

Рассчитываем число Рейнольдса

$$\text{Re} = \frac{1 \cdot 0,013}{8,63 \cdot 10^{-7}} = 1,506 \cdot 10^4$$

Режим движения – турбулентный, поскольку $\text{Re} > 10000$ (см. прил. 1).

Для нахождения коэффициента теплоотдачи со стороны воды необходимо определить критерий Нуссельта. Рассчитаем критерий Нуссельта для турбулентного режима:

$$\text{Nu} = 0,021 \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}_B^{0,43} = 0,021 \cdot (1,506 \cdot 10^4)^{0,8} \cdot (5,882)^{0,43} = 98,96$$

Коэффициент теплоотдачи равен

$$\alpha_B = \frac{\text{Nu} \cdot \lambda_B}{d_{\text{вн}}} = \frac{98,96 \cdot 0,613}{0,013} = 4663 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

3. Определение площади поверхностей одного погонного метра трубы

Площадь погонного метра внутренней поверхности:

$$f_{\text{вн}} = \pi \cdot d_{\text{вн}} = 0,041 \text{ м}^2$$

Площадь погонного метра поверхности по основанию ребер:

$$f_{\text{о}} = \pi \cdot d_{\text{н}} = 0,052 \text{ м}^2$$

Площадь наружной поверхности, для дискового оребрения определяется как сумма площади поверхности межреберных участков и площади поверхности ребер расположенных на одном погонном метре трубы:

площадь погонного метра поверхности межреберных участков:

$$f_{\text{мр}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{н}}}{s_{\text{р}}} (s_{\text{р}} - \delta_{\text{р}}) = \frac{\pi \cdot 0,0165}{0,003} (0,003 - 0,002) = 0,017 \text{ м}^2$$

площадь погонного метра поверхности ребер:

$$f_{\text{р}} = \frac{\pi}{s_{\text{р}}} \left(\frac{d_{\text{р}}^2 - d_{\text{н}}^2}{2} + d_{\text{р}} \cdot \delta_{\text{р}} \right) = \frac{\pi}{0,003} \left(\frac{0,021^2 - 0,0165^2}{2} + 0,021 \cdot 0,002 \right) = 0,132 \text{ м}^2$$

отсюда

$$f_{\text{ор}} = f_{\text{р}} + f_{\text{мр}} = 0,132 + 0,017 = 0,149 \text{ м}^2$$

Коэффициент оребрения:

$$\beta = \frac{f_{\text{ор}}}{f_{\text{вн}}} = \frac{0,149}{0,041} = 3,663$$

Степень оребрения:

$$\varphi = \frac{f_{\text{ор}}}{f_{\text{о}}} = \frac{0,149}{0,052} = 2,886$$

4. *Определение частного коэффициента теплопередачи между хладоносителем и наружной поверхностью трубы*

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_B} \frac{f_o}{f_{BH}} + \frac{\delta_{тр}}{\lambda_{тр}} \frac{f_o}{f_{cp}} + \sum \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{1}{\frac{1}{8188} \frac{0,052}{0,041} + \frac{0,00175}{384} \frac{0,052}{0,046}} = 3173 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}},$$

где $f_{cp} = 0,5\pi(d_{BH} + d_H) = 0,5\pi(0,013 + 0,0165) = 0,046 \text{ м}^2$,
 $\delta_{тр} = 0,00175 \text{ м}$ – средняя толщина трубы; δ_3 и λ_3 – толщина и теплопроводность загрязнений на внутренней поверхности трубы.

5. *Определение коэффициента теплоотдачи от конденсирующегося хладагента R22*

По заданной температуре насыщения определим теплофизические свойства хладагента R22 из [1]:

$$r_a = 1,773 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}, \quad \lambda_a = 0,083 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}, \quad \rho_a = 1176 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3},$$

$$v_a = 1,96 \cdot 10^{-7} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}.$$

Для определения величины теплового потока от хладагента, конденсирующегося на одиночной трубе с дисковым оребрением, используем следующую формулу (см. прил. 2, 3):

$$q_{a,o} = \alpha_{op} \theta_a = B \Psi_p \theta_a^{0,75},$$

где Ψ_p – коэффициент, учитывающий различную толщину пленки конденсата на вертикальных поверхностях ребер и на горизонтальных цилиндрических участках трубы и торцов ребер, а комплекс B рассчитывается следующим образом:

$$B = \sqrt[4]{\frac{g \cdot r_a \cdot \rho_a \cdot \lambda_a^3}{v_a \cdot d_H}} = \sqrt[4]{\frac{9,81 \cdot 1,773 \cdot 10^5 \cdot 1176 \cdot 0,083^3}{1,96 \cdot 10^{-7} \cdot 0,0165}} = 3163.$$

Рассчитаем коэффициент теплоотдачи при конденсации на одиночной гладкой трубе (это необходимо для расчета коэффициента Ψ_p), для этого в качестве нулевого приближения принимаем $\theta_a = 0,5 \cdot \theta_m$.

$$\alpha_{a,ггп} = B \cdot \theta_a^{-0,25} = 3163 \cdot (0,5 \cdot 2,885)^{-0,25} = 2886 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

Определим ряд вспомогательных величин:

$$m = \sqrt{\frac{2\alpha_{a,ггп}}{\lambda_{тр} \delta_p}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2886}{384 \cdot 0,002}} = 86,695$$

– условная высота ребра:

$$\begin{aligned} h' &= 0,5 \cdot (d_p - d_H) \cdot \left(1 + 0,805 \cdot \ln \frac{d_p}{d_H} \right) = \\ &= 0,5 \cdot (0,021 - 0,0165) \cdot \left(1 + 0,805 \cdot \ln \frac{0,021}{0,0165} \right) = 0,00244 \text{ м} \end{aligned}$$

$$th(m \cdot h') = \frac{e^{m \cdot h'} - e^{-m \cdot h'}}{e^{m \cdot h'} + e^{-m \cdot h'}} = \frac{e^{86,695 \cdot 0,00244} - e^{-86,695 \cdot 0,00244}}{e^{86,695 \cdot 0,00244} + e^{-86,695 \cdot 0,00244}} = 0,208$$

– коэффициент эффективности ребра:

$$E = \frac{th(m \cdot h')}{m \cdot h'} = \frac{0,208}{86,695 \cdot 0,00244} = 0,985$$

– площадь погонного метра горизонтальной поверхности трубы:

$$f_2 = \pi \cdot d_H \left(1 - \frac{\delta_p}{s_p} \right) + \pi \cdot d_p \frac{\delta_p}{s_p} = \pi \cdot 0,0165 \left(1 - \frac{0,002}{0,003} \right) + \pi \cdot 0,021 \frac{0,002}{0,003} = 0,061 \text{ м}^2$$

– площадь погонного метра вертикальной поверхности трубы:

$$f_B = \frac{\pi}{2s_p} (d_p^2 - d_H^2) = \frac{\pi}{2 \cdot 0,003} (0,021^2 - 0,0165^2) = 0,088 \text{ м}^2$$

– приведенная высота ребра:

$$h_{\text{пр}} = 0,758 \cdot \frac{d_p^2 - d_H^2}{d_p} = 0,785 \cdot \frac{0,021^2 - 0,0165^2}{0,021} = 0,006308 \text{ м}$$

Отсюда можно определить коэффициент ψ_p .

$$\psi_p = 1,1 \frac{f_B}{f_o} E^{0,75} + \frac{f_\Gamma}{f_o} \frac{d_H}{h_{\text{пр}}} = 1,1 \cdot \frac{0,088}{0,052} 0,985^{0,75} + \frac{0,061}{0,052} \frac{0,0165}{0,00631} = 4,946$$

Тогда плотность теплового потока от конденсирующегося хладагента:

$$q_{a,o} = B \psi_p \theta_a^{0,75} = 3163 \cdot 4,946 \cdot (0,5 \cdot 2,885)^{0,75} = 20593 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Площадь основной поверхности конденсатора при первом приближении:

$$F_o = \frac{Q}{q_{a,o}} = \frac{60000}{20593} = 2,914 \text{ м}^2$$

Зададимся длиной одной трубы в конденсаторе. Пусть $l = 1 \text{ м}$, тогда общее число труб:

$$n_{\text{тр}} = \frac{F_o}{\pi \cdot d_H \cdot l} = \frac{2,914}{\pi \cdot 0,0165 \cdot 1} = 56,209$$

Зададимся продольным и поперечным шагом труб в пучке

$$s_\Gamma = 0,025 \text{ м}, s_B = 0,025 \text{ м}.$$

Среднее число труб в пучке по вертикали

$$n_{\text{ср}} = 0,92 \cdot n_{\text{тр}}^{0,5} \cdot \left(\frac{s_\Gamma}{s_B} \right)^{0,5} = 0,92 \cdot 56,209^{0,5} \cdot 1^{0,5} = 6,897;$$

принимаяем $n_{\text{ср}} = 7$.

Строим графики зависимости удельного теплопритока от хладоносителя q_b и от хладагента q_a к главной поверхности трубы от температурного напора (рис. 3):

$$q_b = K_1(\theta_m - \theta_a),$$

$$q_a = B \cdot \psi_p \cdot \theta_a^{0.75} \cdot n_{cp}^{-1/6},$$

где $n_{cp}^{-1/6}$ – коэффициент, учитывающий влияние стекания конденсата с верхних труб пучка на нижележащие.

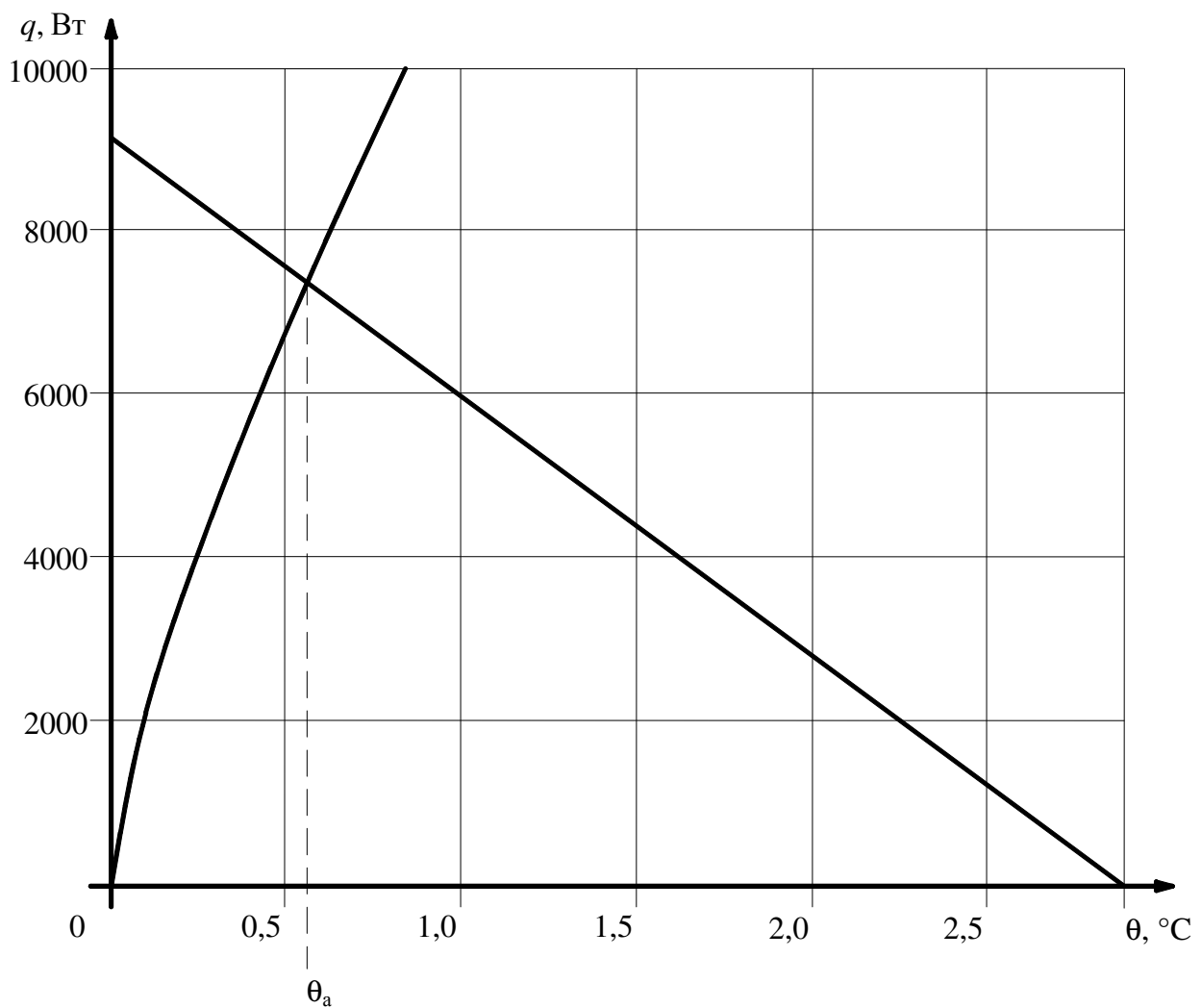


Рис. 3. Зависимость удельного теплопритока от хладагента и хладоносителя к главной поверхности трубы от температурного напора

Из графика принимаем $\theta_a = 0,564 \text{ }^\circ\text{C}$, тогда

$$\alpha_a = B \cdot \psi_p \cdot \theta_a^{-0,25} \cdot n_{\text{ср}}^{-1/6} = 3163 \cdot 4,946 \cdot 2,885^{-1/6} \cdot 0,723 = 13050 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

При этом влияние температурного напора на коэффициент ψ_p незначительно, поэтому значение не пересчитывается.

6. Определение общего коэффициента теплопередачи

$$K_o = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_a} + \frac{1}{K_1}} = \frac{1}{\frac{1}{13050} + \frac{1}{3173}} = 2552 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

7. Определение плотности теплового потока от воды к хладагенту R22 и площади поверхности конденсатора

Плотность теплового потока:

$$q_o = K_o \cdot \theta_m = 2552 \cdot 2,885 = 7364 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Основная поверхность конденсатора:

$$F_o = \frac{Q}{q_{a,o}} = \frac{60000}{7364} = 8,148 \text{ м}^2$$

Внутренняя поверхность конденсатора:

$$F_{\text{вн}} = \frac{Q}{q_{a,o}} \cdot \frac{f_{\text{вн}}}{f_o} = \frac{60000}{7364} \cdot \frac{0,041}{0,052} = 6,419 \text{ м}^2$$

Наружная поверхность конденсатора:

$$F_{\text{н}} = \frac{Q}{q_{a,o}} \cdot \frac{f_{\text{н}}}{f_o} = \frac{60000}{7364} \cdot \frac{0,149}{0,052} = 23,517 \text{ м}^2$$

Блок-схема программы расчета

Блок-схема программы расчета представлена на рис. 4, а пример программы – в прил. 4.

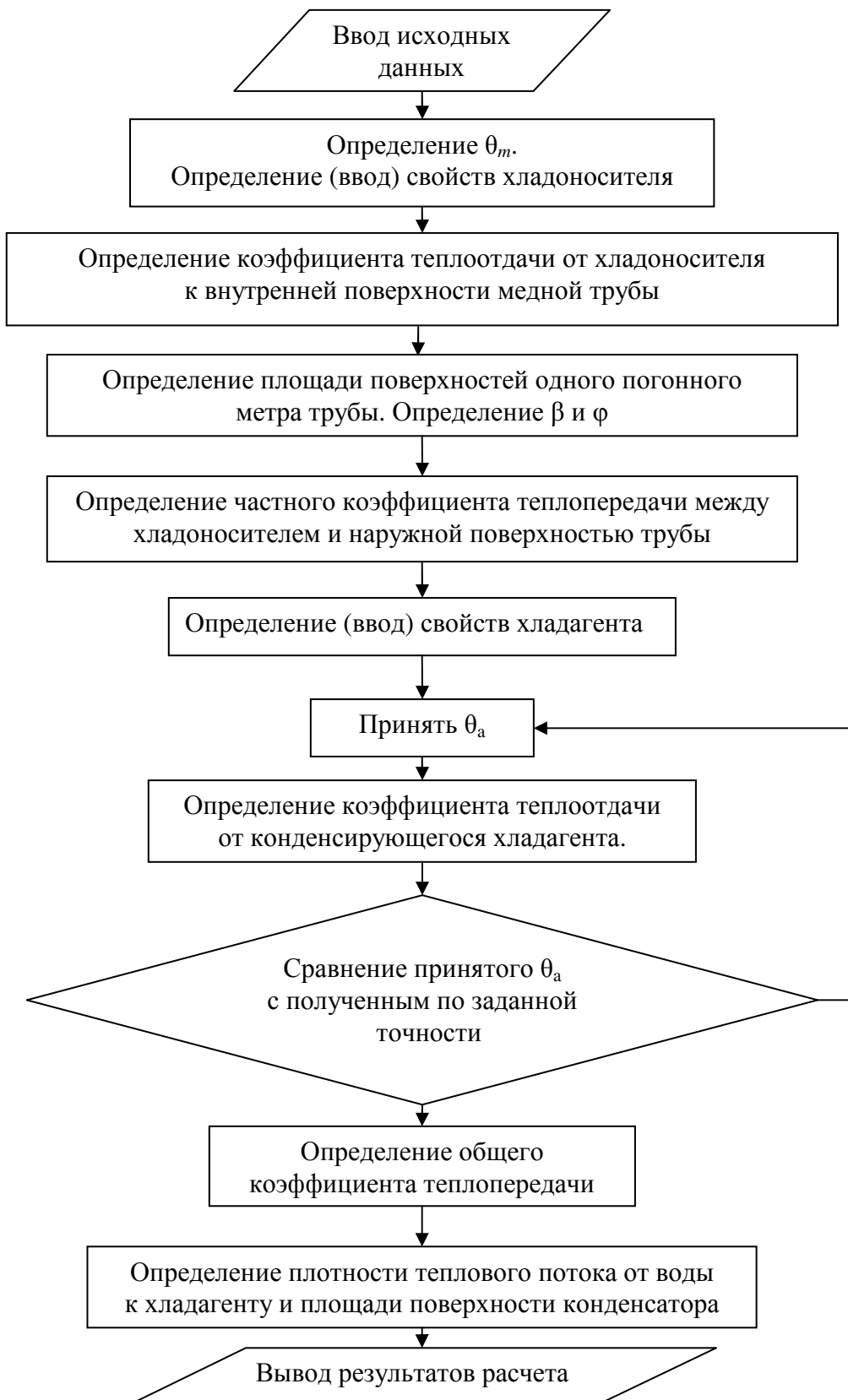


Рис. 4. Блок-схема программы расчета

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теплообменные аппараты холодильных установок / Г.Н. Данилова, С.Н. Богданов, О.П. Иванов и др.; Под общ. ред. Г.Н. Даниловой. – Л.: Машиностроение, 1986. – 303 с.

2. Холодильная техника. Кондиционирование воздуха. Свойства веществ /С.Н. Богданов, С.И. Бурцев, О.П. Иванов, А.В. Куприянова; Под общ. ред. С.Н. Богданова. – СПб.: Агропромиздат, 1999. – 308 с.

Приложение 1

Расчет критерия Нуссельта в зависимости от режима течения жидкости

При $Re_B < 2300$, режим движения жидкости – ламинарный, критерий Нуссельта рассчитывается следующим образом:

Критерий Грасгофа:

$$Gr_B = \frac{g \cdot d_{BH}^3}{\nu_B^2} \beta_B \cdot \theta_B;$$

принимая $\theta_B = 0,5\theta_m$.

Если $(Gr_B Pr_B) < 8 \cdot 10^5$, тогда

$$Nu_B = 1,55 \left(\frac{Re_B Pr_B d_{BH}}{l} \right)^{1/3} \left[1 + 0,01 \left(\frac{Re_B \cdot d_{BH}}{l} \right)^{2/3} \right];$$

принимая $\frac{l}{d_{BH}} = 100$.

Если $(Gr_B Pr_B) \geq 8 \cdot 10^5$, тогда

$$Nu_B = 0,15 \cdot Re_B^{0,33} Pr_B^{0,33} Gr_B^{0,1}.$$

При $Re_B > 10000$, режим движения жидкости – турбулентный, критерий Нуссельта рассчитывается следующим образом:

$$Nu_B = 0,021 \cdot Re_B^{0,8} Pr_B^{0,43}$$

При $2300 < Re_B < 10000$, режим движения – переходный, критерий Нуссельта равен:

$$Nu_B = \gamma Nu_T + (1 - \gamma) Nu_L,$$

где Nu_T – критерий Нуссельта рассчитывается по формуле для турбулентного режима, при $Re_B = 10000$; Nu_L – критерий Нуссельта рассчитывается по формуле для ламинарного режима, при $Re_B = 2300$; γ – коэффициент, рассчитываемый по формуле:

$$\gamma = 1 - \exp\left(\frac{1 - Re_B}{2300}\right).$$

Приложение 2

Расчет гладкотрубных конденсаторов

При расчете гладкотрубных конденсаторов используются следующие формулы:

– величина удельного теплового потока при конденсации хладагента на одиночной трубе

$$q_{a,o} = B \cdot \theta_a^{0,75}$$

– величина теплового потока при конденсации хладагента на пучке труб

$$q_a = B \cdot \theta_a^{0,75} \cdot n_{cp}^{-1/6}$$

– коэффициент теплоотдачи при конденсации хладагента на пучке труб

$$\alpha_a = B \cdot \theta_a^{-0,25} \cdot n_{cp}^{-1/6}.$$

Приложение 3

Расчет конденсаторов с накатным оребрением

Накатное оребрение значительно отличается от дискового. В связи с тем, что ребра при изготовлении образуются непосредственно из материала трубы, а их форма, как правило, задается более близкой к идеалу по эффективности, в наших расчетах их эффективность принимается за единицу. Расчет стекания конденсата по трубам связан со сложностями при вычислении горизонтальных и вертикальных площадей.

Накатное оребрение стандартизировано и задается следующими параметрами:

- коэффициент оребрения $\beta = \frac{f_{\text{ор}}}{f_{\text{вн}}}$;
- диаметр по основанию ребер $d_{\text{н}}$;
- диаметр ребра $d_{\text{р}}$;
- диаметр внутренний $d_{\text{вн}}$.

Примеры накатного оребрения представлены на рис. 5.

Исходя из вышеперечисленных причин, при расчете ограничимся использованием следующих формул:

– величина удельного теплового потока при конденсации хладагента на одиночной трубе

$$q_{a,o} = B \cdot \beta \cdot \theta_a^{0,75}$$

– величина теплового потока при конденсации хладагента на пучке труб

$$q_a = B \cdot \beta \cdot \theta_a^{0,75} \cdot n_{\text{ср}}^{-1/6}$$

– коэффициент теплоотдачи при конденсации хладагента на пучке труб

$$\alpha_a = B \cdot \beta \cdot \theta_a^{-0,25} \cdot n_{\text{ср}}^{-1/6},$$

где β – коэффициент оребрения трубы.

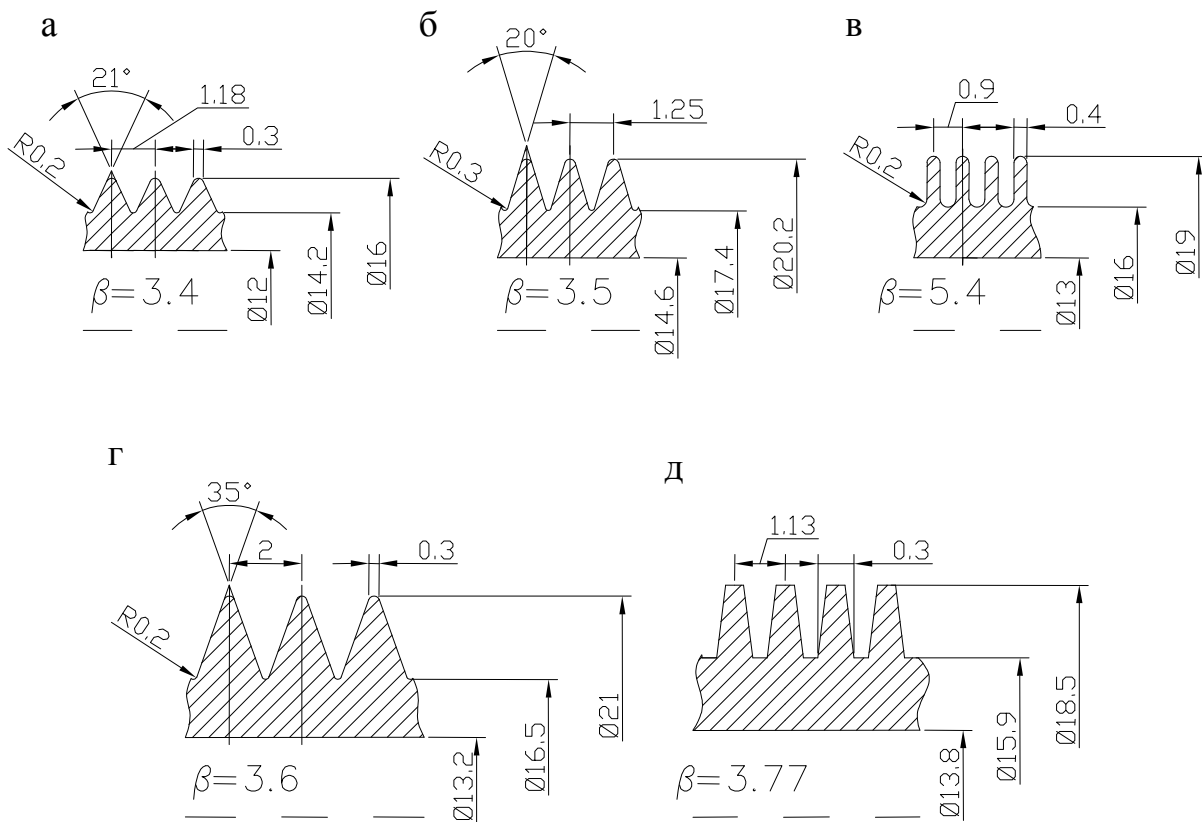


Рис. 5. Примеры накатного оребрения:
 а – при $\beta = 3,6$; б – при $\beta = 3,4$; в – при $\beta = 5,4$;
 г – при $\beta = 3,5$; д – при $\beta = 3,77$

**Пример программы расчета конденсатора
на языке Фортран 90**

Расчет конденсатора реализован в программе «GKTkond.exe». В методических указаниях представлен приблизительный текст программы на языке Fortran 90. Для определения температурного напора от хладагента к главной поверхности используется метод половинного деления.

!Объявление переменных

parameter (pi=3.14)

parameter (g=9.81)

real q0,tn,tg1,tg2,wg

real dn,dv,dl

real dr,tr,sr

real lg,ng,bg,prg

real ra,roa,la,na

real en

real no

real taum,tgs,reg,grg,nug,nul,nut,gamma,alg,fv,fo,fn,k1

real sg,sv,lo,b,taua,a,ko,qo,f,l,ntr,m1,d,ltr,nsr,m

!Ввод исходных данных

1 print*,'Введите исходные данные:'

print*,'Тепловая производительность аппарата [Вт]'

read*,q0

print*,'Температура насыщения хладагента [C]'

read*,tn

print*,'Температура хладоносителя на входе в аппарат [C]'

read*,tg1

print*,'Температура хладоносителя на выходе из аппарата [C]'

read*,tg2

```

print*,'Скорость хладоносителя [м/с]'
read*,wg
!Определение средней температуры хладоносителя
taum=(tg2-tg1)/log((tn-tg1)/(tn-tg2))
tgs=tn-taum
!Ввод ТФС хладоносителя
print*,'Введите ТФС хладоносителя:'
print*,'При температуре',tgs
print*,'Теплоемкость'
read*,lg
print*,'Коэффициент динамической вязкости'
read*,ng
print*,'Коэффициент термического расширения'
read*,bg
print*,'Критерий Прандтля'
read*,prg
!Ввод ТФС хладагента
print*,'Введите ТФС хладагента:'
print*,'При температуре',tn
print*,'Теплопроводность'
read*,la
print*,'Коэффициент динамической вязкости'
read*,na
print*,'Удельная теплота парообразования'
read*,ra
print*,'Плотность насыщенной жидкости'
read*,roa
!Выбор типа конденсатора
2 print*,'Выберите тип конденсатора:'
print*,'1 - гладкотрубный;'
print*,'2 - с дисковым оребрением;'
print*,'3 - с накатным оребрением.'

```

```

read*,tip
!Ввод параметров труб
print*, 'Выберите материал труб:'
print*, '1 - медь (384)'
print*, '2 - сталь (45)'
read*,i
if (i==1) ltr=384
if (i==2) ltr=45
3 print*, 'Введите параметры труб:'
print*, 'Наружный диаметр м'
read*,dn
print*, 'Внутренний диаметр м'
read*,dv
print*, 'Термические загрязнения'
read*,dl
!Ввод параметров накатного оребрения
if (tip==3) then
print*, 'Введите коэффициент оребрения'
read*,beta
end if
!Расчет критерия Re
reg=wg*dv/ng
!Расчет критерия Nu
if (reg>=10000) nug=0.021*reg**0.8*prg**0.43
if (reg<=2300) then
  grg=g*(dv**3)*bg*0.5*taum/(ng**2)
  if ((grg*prg)<800000)
nug=1.55*(reg*prg/100)**(1/3)*(1+0.01*(reg/100)**(2/3))
  if ((grg*prg)>=800000) nug=0.15*reg**0.33*prg**0.43*grg**0.1
end if
if ((reg>2300).and.(reg<10000)) then
  grg=g*(dv**3)*bg*0.5*taum/(ng**2)

```

```

if ((grg*prg)<800000)
nul=1.55*(2300*prg/100)**(1/3)*(1+0.01*(2300/100)**(2/3))
if ((grg*prg)>=800000) nul=0.15*2300**0.33*prg**0.43*grg**0.1
nut=0.021*10000**0.8*prg**0.43
gamma=1-exp(1-reg/2300)
nug=gamma*nut+(1-gamma)*nul
end if
!Расчет коэффициента теплоотдачи хладоносителя
alg=nug*lg/dv
!Ввод параметров оребрения
4 if (tip==2) then
print*, 'Введите параметры оребрения:'
print*, 'Диаметр ребра м'
read*, dr
print*, 'Толщина ребра м'
read*, tr
print*, 'Шаг ребра м'
read*, sr
print*, 'Теплопроводность ребра'
read*, lr
end if
!Расчет площади поверхностей
fv=pi*dv
fo=pi*dn
if (tip==1) fn=fo
if (tip==2) fn=(pi*dn*(sr-0.5*(dn+dv))/sr)+pi/sr*((dr**2-
dn**2)/2+dr*0.5*(dn+dv))
if (tip==3) fn=fo*beta
!Расчет частного коэффициента теплопередачи
k1=1/(1/alg*fo/fv+0.5*(dn-dv)/ltr*fo/(0.5*(dn+dv))+dl*fo/fv)
!Ввод параметров пучка
5 print*, 'Введите параметры пучка:'

```



```

print*, 'Поперечный шаг'
read*, sg
print*, 'Продольный шаг'
read*, sv
print*, 'Длина одной трубы м'
read*, lo
!Расчет коэффициента теплоотдачи хладагента при конденсации на
одиночной трубе
b=0.728*(g*ra*roa*la**3/na/dn)**0.25
!Метод среднего
t1=0.1*taum
t2=0.9*taum
20 taua=(t2+t1)/2
if (tip==1) then
  alagl=b*taua**(-0.25)
  qa=b*taua**0.75
  fot=q0/qa
  ntr=fot/pi/dn/lo
  ntr=aint(ntr)+1
  nsr=0.92*ntr**0.5*(sg/sv)**0.5
  nsr=aint(nsr)+1
  a=b*nsr**(-1/6)/k1
end if
if (tip==2) then
  alagl=b*taua**(-0.25)
  m=(2*alagl/lr/tr)**0.5
  h1=0.5*(dr-dn)*(1+0.35*log(dr/dn))
  thmh=(exp(m*h1)-exp(-m*h1))/(exp(m*h1)+exp(-m*h1))
  e=thmh/m/h1
  hpr=0.785*(dr**2-dn**2)/dr
  fve=pi*(dr**2-dn**2)/2/sr
  fgo=pi*dn*(1-tr/sr)+pi*dr*tr/sr

```

```

psi=1.1*(fve/fo)*e**0.75+(dn/hpr)*fgo/fo
qa=b*psi*taua**0.75
fot=q0/qa
ntr=fot/pi/dn/lo
ntr=aint(ntr)+1
nsr=0.92*ntr**0.5*(sg/sv)**0.5
nsr=aint(nsr)+1
a=b*nsr**(-1/6)*psi/k1
end if
if (tip==3) then
alagl=b*taua**(-0.25)
qa=b*beta*taua**0.75
fot=q0/qa
ntr=fot/pi/dn/lo
ntr=aint(ntr)+1
nsr=0.92*ntr**0.5*(sg/sv)**0.5
nsr=aint(nsr)+1
a=b*beta*nsr**(-1/6)/k1
end if
if ((taum-(taua+a*taua**0.75))>0.1) then
t1=taua
goto 20
end if
if ((taum-(taua+a*taua**0.75))<-0.1) then
t2=taua
goto 20
end if
ala=a*k1*taua**(-0.25)
!Расчет коэффициента теплопередачи
ko=1/(1/ala+1/k1)
!Расчет плотности теплового потока
qo=ko*taum

```

```

!Расчет площади поверхности труб
f=q0/qo
!Расчет длины труб в аппарате
l=f/pi/dn
!Расчет общего числа труб (без проверки)
ntr=L/lo
ntr=aint(ntr)+1
!Число труб по большей диагонали
m1=((ntr-0.25)/0.75)**0.5
m1=anint(m1)
!Диаметр кожуха
d=m1*sg
!Вывод результатов
print*, ' '
print*, 'Результаты расчета:'
print*, 'Параметры течения хладоносителя:'
print*, 'Критерий Re-----', reg
print*, 'Критерий Nu-----', nug
print*, ' '
print*, 'Коэффициент теплоотдачи хладоносителя-----', alg*fo/fv
print*, 'Коэффициент теплоотдачи хладагента-----', ala*fo/fn
print*, ' '
print*, 'Плотность теплового потока-----', qo
print*, 'Коэффициент теплопередачи-----', ko
print*, 'Коэффиц. теплопередачи к внутр. поверхности', ko*fo/fv
print*, 'Коэффиц. теплопередачи к наруж. поверхности', ko*fo/fn
print*, ' '
print*, 'Площадь поверхности конденсатора (главная)-', f
print*, 'Площадь поверхности конденсатора (внутр.)--', f*fv/fo
print*, 'Площадь поверхности конденсатора (наружн.)-', f*fn/fo
print*, 'Длина труб конденсатора-----', l
print*, 'Общее число труб-----', ntr

```

```
print*,'Число труб по большей диагонали-----',m1
print*,'Диаметр кожуха-----',d
print*,'
!Меню выбора:
print*,'1 - Посчитать конденсатор заново'
print*,'2 - Задать другой тип конденсатора'
print*,'3 - Задать другие диаметры труб'
print*,'4 - Задать другие параметры пучка труб'
if (tip==2) print*,'5 - Задать другие параметры оребрения'
read*,i
if (i==1) goto 1
if (i==2) goto 2
if (i==3) goto 3
if (i==4) goto 5
if (i==5) goto 4
end
```


Ширяев Юрий Николаевич
Гусев Константин Викторович
Арсеньев Иван Андреевич

РАСЧЕТ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО КОЖУХОТРУБНОГО КОНДЕНСАТОРА ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Методические указания
к самостоятельной работе
для студентов всех специальностей
факультетов холодильной техники,
криогенной техники и кондиционирования
очной формы обучения

Редактор
Л.Г. Лебедева

Корректор
Н.И. Михайлова

Компьютерная верстка
Н.В. Гуральник

Подписано в печать 25.12.2009. Формат 60×84 1/16
Усл. печ. л. 1,86. Печ. л. 2,0. Уч.-изд. л. 1,75
Тираж 250 экз. Заказ № С 86

СПбГУНиПТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9
ИИК СПбГУНиПТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9