

# Лабораторная работа моделирование тепломассообменных процессов

В связи с тем, что модель идеального вытеснения имеет наибольшую движущую силу, в промышленности наиболее распространение получили аппараты наиболее близкие к данной структуре потока: кожухотрубчатые, "труба в трубе" пластинчатые и другие. На рисунке представлена схема потоков в прямоточном теплообменнике.

Тепловой баланс холодного теплоносителя:

$$G_1 T c_{p1} - G_1 (T_1 + \Delta T_1) + q \Delta F = 0 \quad (1)$$

Поток тепла направлен от холодного теплоносителя к горячему, поэтому в выражении теплового баланса будет с отрицательным знаком:

$$G_2 T_2 c_{p2} - G_2 (T_2 - \Delta T_2) - q \Delta F = 0 \quad (2)$$

Поток тепла можно выразить уравнением теплопередачи:

$$q = K(T_2 - T_1) \quad (3)$$

где  $K$  — коэффициент теплопередачи. Расписывая площадь поверхности теплопередачи через периметр сечения теплопередачи  $P$  и длину элементарного объема  $\Delta x$  как  $\Delta F = \Delta x P$ , с использованием выражения 3, уравнения 1 и 2 можно переписать в виде системы:

$$\begin{cases} \frac{dT_1}{dx} = \frac{K(T_2 - T_1)P}{G_1 c_{p1}} \\ \frac{dT_2}{dx} = -\frac{K(T_2 - T_1)P}{G_2 c_{p2}} \end{cases} \quad (4)$$

В зависимости от поставленной задачи граничные условия могут задаваться по разному. Обычно известны расходы теплоносителей и температуры на входе теплообменника.

Для противоточного теплообменника можно записать следующую систему дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dT_1}{dx} = \frac{K(T_2 - T_1)P}{G_1 c_{p1}} \\ \frac{dT_2}{dx} = \frac{K(T_2 - T_1)P}{G_2 c_{p2}} \end{cases} \quad (5)$$

В случае противоточного направления и известных входящих потоках необходимо решать краевую задачу.

Для плоской стенки коэффициент определяется как:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (6)$$

где  $\alpha$  — коэффициент теплоотдачи,  $\delta$  — толщина стенки,  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности материала стенки, суммирование  $\frac{\delta}{\lambda}$  проводится в случае если стенка состоит из нескольких слоев различного материала. Коэффициент теплоотдачи описывается критериальными уравнениями и зависит от многих факторов: конструкции аппарата, скорости движения жидкости физико-химических свойств. Обычно при решении задачи теплопередачи используются следующие критерии: Рейнольдса  $Re = \frac{\bar{w}l\rho}{\mu}$ , Прандтля  $Pr = \frac{\mu c_p}{\lambda}$ , Грасгофа  $Gr = gl^3\beta_p\rho^2\frac{\Delta T}{\mu^2}$ , где  $\bar{w}$  — усредненная по сечению скорость движения теплоносителя,  $l$  — характерный размер аппарата,  $\rho$  — плотность теплоносителя,  $\mu$  — коэффициент вязкости,  $c_p$  — теплоемкость,  $\lambda$  — теплопроводность,  $g = 9.8\text{м/с}$ ,  $\beta_p$  — коэффициент объемного расширения,  $\Delta T$  — движущая сила теплоотдачи. При расчете коэффициентов теплоотдачи трубах в качестве характерного размера при определении критериев подобия выступает эквивалентный диаметр  $D_3 = \frac{4S}{P}$ , где  $S$  — площадь сечения,  $P$  — периметр сечения.

- Теплоотдача в круглых трубах при турбулентном режиме ( $Re > 10000$ ):

$$Nu = 0.021Re^{0.8}Pr^{0.43} \left( \frac{Pr}{Pr_{гр}} \right)^{0.25} \quad (7)$$

- Теплоотдача в круглых трубах при переходном режиме ( $2300 < Re < 10000$ ):

$$Nu = 0.008Re^{0.9}Pr^{0.43} \quad (8)$$

- Теплоотдача в круглых трубах при ламинарном режиме течения:

$$Nu = 0.17Re^{0.33}Pr^{0.43}Gr^{0.1} \left( \frac{Pr}{Pr_{гр}} \right) \quad (9)$$

- Теплоотдача в кольцевом канале:

$$Nu = 0.023Re^{0.8}Pr^{0.4} \left( \frac{D_{вн}}{d_{н}} \right)^{0.45} \quad (10)$$

где  $D_{вн}$ ,  $d_{н}$  — внутренний и наружный диаметр кольцевого сечения, характерным размером является  $d_{н}$

- Теплоотдача при перемешивании жидкостей мешалками:

$$Nu = CRe^m Pr^{0.33} \left( \frac{\mu}{\mu_{ст}} \right)^{0.14} \frac{\lambda}{D} \quad (11)$$

где критерий Рейнольдса определяется как  $Re = \frac{\rho n d_m^2}{\mu}$ ,  $D$  — диаметр емкости,  $n$  — частота вращения мешалки,  $\mu_{ст}$  — динамический коэффициент вязкости жидкости при температуре стенки змеевика или рубашки,  $\mu$  — коэффициент вязкости при средней температуре жидкости, определяемой  $(t_{ср.ж} + t_{ст})/2$ . Для аппаратов с рубашками:  $C = 0.36$ ,  $m = 0.67$

Коэффициент теплоотдачи можно рассчитать через определение критерия Нуссельта:

$$Nu = \frac{\alpha D}{\lambda} \quad (12)$$

В предлагаемых задачах можно считать теплофизические свойства не зависящими от температуры, следовательно в первом приближении  $\frac{Pr}{Pr_{ст}} = \frac{\mu}{\mu_{ст}} = 1$ ,  $\Delta T$  принять равным 5 С

## **Проектирование и поверка теплообменников**

При проектировании реальных производств возникает два типа задач. Первый тип (поверочный расчет) связан с модернизацией действующего производства. Согласно данной постановке уже известна конструкция и размеры аппарата и задача сводится к изменению режима работы теплообменника.

Второй тип задач (проектный расчет) возникает при проектировании новых технологических схем или частичной замене оборудования на старых схемах. В данном случае необходимо определить конструкцию и размеры аппарата, требуемые для нагревания или охлаждения до заданной температуры. При решении данного типа задач зачастую приходится решать задачу оптимизации, т.к. спроектированный теплообменник также должен обладать низкой металлоемкостью, гидравлическим сопротивлением и т.д. Так при проектировании теплообменников большая эффективность (большой коэффициент теплопередачи) достигается при турбулентном режиме.

## ВАРИАНТ 1

### Поверочный расчет

Смоделировать процесс теплообмена в противоточном теплообменнике типа Труба в трубе. Использовать модель идеального вытеснения для обоих потоков. Размеры теплообменника: длина 11.1 м, диаметр внешней трубы 27.3 мм, диаметр внутренней трубы 12.0 мм, толщина стенки 3 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{ст} = 452 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Горячий теплоноситель направляется во внутреннюю трубу и имеет следующие параметры: температура  $T_{\Gamma} = 141\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 1475.4 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{\Gamma} = 170 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{\Gamma} = 969 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 0.307 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент термического расширения  $\beta = 0.000013 \text{K}^{-1}$ , расход  $G_{\Gamma} = 33.235 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Холодный теплоноситель направляется в межтрубное пространство и имеет следующие параметры: температура  $T_{\text{х}} = 34\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 1393 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{C}}$ ,  $\lambda_{\text{х}} = 159 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{\text{х}} = 649 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 0.895 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , расход  $G_{\text{х}} = 40.62 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

### Проектный расчет

Спроектировать противоточном теплообменник типа Труба в трубе для нагревания сырья с исходной температурой  $T_{\text{х}} = 36\text{C}$  и расходом  $G_{\text{х}} = 153.06 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$  до температуры 144.7 C свойства сырья: теплоемкость  $c_p = 1608 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{C}}$ ,  $\lambda_{\text{х}} = 208 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{\text{х}} = 607 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 0.865 \text{мПа}\cdot\text{с}$ . Горячий теплоноситель имеет температуру  $T_{\Gamma} = 0\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 230.1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{\Gamma} = 1812 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{C}}$ , плотность  $\rho_{\Gamma} = 132 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 895.075 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент теплового расширения  $\beta 1.397642 \text{k}^{-1}$ . В качестве материала стенки теплообменника используется металл толщиной 4 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{ст} = 488 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

## ВАРИАНТ 2

### Поверочный расчет

Смоделировать процесс теплообмена в противоточном теплообменнике типа Труба в трубе. Использовать модель идеального

вытеснения для обоих потоков. Размеры теплообменника: длина 17.5 м, диаметр внешней трубы 82.9 мм, диаметр внутренней трубы 36.7 мм, толщина стенки 3 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{ст} = 558 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Горячий теплоноситель направляется во внутреннюю трубу и имеет следующие параметры: температура  $T_{г} = 138\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 2230.5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{г} = 157 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{г} = 975 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{г} = 0.714 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент термического расширения  $\beta = 0.000009 \text{K}^{-1}$ , расход  $G_{г} = 1594.760 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Холодный теплоноситель направляется в межтрубное пространство и имеет следующие параметры: температура  $T_{х} = 21\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 1555 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{х} = 143 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{х} = 691 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{г} = 0.166 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , расход  $G_{х} = 2749.14 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

### Проектный расчет

Спроектировать прямоточном теплообменник типа Труба в трубе для нагревания сырья с исходной температурой  $T_{х} = 38\text{C}$  и расходом  $G_{х} = 97.01 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$  до температуры 83.1 C свойства сырья: теплоемкость  $c_p = 1999 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{C}}$ ,  $\lambda_{х} = 150 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{х} = 1261 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{г} = 1.315 \text{мПа}\cdot\text{с}$ . Горячий теплоноситель имеет температуру  $T_{г} = 0\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 134.4 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{г} = 2246 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{г} = 208 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{г} = 663.695 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент теплового расширения  $\beta 0.159950 \text{k}^{-1}$ . В качестве материала стенки теплообенника используется металл толщиной 4 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{ст} = 565 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

### ВАРИАНТ 3

#### Поверочный расчет

Смоделировать процесс теплообмена в противоточном теплообменнике типа Труба в трубе. Использовать модель идеального вытеснения для обоих потоков. Размеры теплообменника: длина 27.9 м, диаметр внешней трубы 66.2 мм, диаметр внутренней трубы 33.3 мм, толщина стенки 7 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{ст} = 575 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Горячий теплоноситель направляется

во внутреннюю трубу и имеет следующие параметры: температура  $T_{\Gamma} = 268C$ , теплоемкость  $c_p = 1922.2 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{\Gamma} = 160 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{\Gamma} = 716 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 0.294 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент термического расширения  $\beta = 0.000082K^{-1}$ , расход  $G_{\Gamma} = 141.814 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Холодный теплоноситель направляется в межтрубное пространство и имеет следующие параметры: температура  $T_{\text{X}} = 22C$ , теплоемкость  $c_p = 1581 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{\text{X}} = 189 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{\text{X}} = 1134 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\text{X}} = 0.180 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , расход  $G_{\text{X}} = 75.09 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

### Проектный расчет

Спроектировать противоточном теплообменник типа Труба в трубе для нагревания сырья с исходной температурой  $T_{\text{X}} = 38C$  и расходом  $G_{\text{X}} = 56.73 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$  до температуры  $68.3C$  свойства сырья: теплоемкость  $c_p = 1495 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{\text{X}} = 214 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{\text{X}} = 1122 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\text{X}} = 1.597 \text{мПа}\cdot\text{с}$ . Горячий теплоноситель имеет температуру  $T_{\Gamma} = 0C$ , теплоемкость  $c_p = 102.7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{\Gamma} = 1456 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{\Gamma} = 189 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 1219.915 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент теплового расширения  $\beta 0.310003k^{-1}$ . В качестве материала стенки теплообменника используется металл толщиной 2 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{\text{ст}} = 377 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

### ВАРИАНТ 4

#### Поверочный расчет

Смоделировать процесс теплообмена в прямоточном теплообменнике типа Труба в трубе. Использовать модель идеального вытеснения для обоих потоков. Размеры теплообменника: длина 18.0 м, диаметр внешней трубы 56.2 мм, диаметр внутренней трубы 31.6 мм, толщина стенки 2 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{\text{ст}} = 586 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Горячий теплоноситель направляется во внутреннюю трубу и имеет следующие параметры: температура  $T_{\Gamma} = 115C$ , теплоемкость  $c_p = 1925.6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{\Gamma} = 140 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{\Gamma} = 1425 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 1.280 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент термического расширения  $\beta = 0.000065K^{-1}$ , рас-

ход  $G_{\Gamma} = 2342.294 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Холодный теплоноситель направляется в межтрубное пространство и имеет следующие параметры: температура  $T_x = 38\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 2066 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{C}}$ ,  $\lambda_x = 171 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_x = 1382 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 0.708 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , расход  $G_x = 1714.44 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

### Проектный расчет

Спроектировать прямоточном теплообменник типа Труба в трубе для нагревания сырья с исходной температурой  $T_x = 38\text{C}$  и расходом  $G_x = 234.46 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$  до температуры  $154.2\text{C}$  свойства сырья: теплоемкость  $c_p = 1875 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{C}}$ ,  $\lambda_x = 200 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_x = 669 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 0.421 \text{мПа}\cdot\text{с}$ . Горячий теплоноситель имеет температуру  $T_{\Gamma} = 0\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 240.7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{\Gamma} = 2168 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{C}}$ , плотность  $\rho_{\Gamma} = 199 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 1039.572 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент теплового расширения  $\beta 0.965624 \text{K}^{-1}$ . В качестве материала стенки теплообенника используется металл толщиной 5 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{\text{ст}} = 635 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

### ВАРИАНТ 5

#### Поверочный расчет

Смоделировать процесс теплообмена в прямоточном теплообменнике типа Труба в трубе. Использовать модель идеального вытеснения для обоих потоков. Размеры теплообменника: длина 12.3 м, диаметр внешней трубы 53.2 мм, диаметр внутренней трубы 23.0 мм, толщина стенки 2 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{\text{ст}} = 512 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Горячий теплоноситель направляется во внутреннюю трубу и имеет следующие параметры: температура  $T_{\Gamma} = 210\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 2195.1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{\Gamma} = 201 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{C}}$ , плотность  $\rho_{\Gamma} = 1179 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 1.387 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент термического расширения  $\beta = 0.000025 \text{K}^{-1}$ , расход  $G_{\Gamma} = 585.734 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Холодный теплоноситель направляется в межтрубное пространство и имеет следующие параметры: температура  $T_x = 30\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 1974 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{C}}$ ,  $\lambda_x = 222 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_x = 1265 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 0.977 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , расход



$G_x = 575.55 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

Проектный расчет

Спроектировать прямоточном теплообменник типа Труба в трубе для нагревания сырья с исходной температурой  $T_x = 36\text{C}$  и расходом  $G_x = 162.56 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$  до температуры  $88.5\text{C}$  свойства сырья: теплоемкость  $c_p = 1845 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{C}}$ ,  $\lambda_x = 137 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_x = 1559 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_T = 0.132 \text{мПа}\cdot\text{с}$ . Горячий теплоноситель имеет температуру  $T_T = 0\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 153.8 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_T = 1552 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{C}}$ , плотность  $\rho_T = 162 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_T = 1463.005 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент теплового расширения  $\beta 1.535243\text{K}^{-1}$ . В качестве материала стенки теплообменника используется металл толщиной 7 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{\text{ст}} = 476 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

### ВАРИАНТ 6

Поверочный расчет

Смоделировать процесс теплообмена в прямоточном теплообменнике типа Труба в трубе. Использовать модель идеального вытеснения для обоих потоков. Размеры теплообменника: длина 25.8 м, диаметр внешней трубы 81.0 мм, диаметр внутренней трубы 33.9 мм, толщина стенки 2 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{\text{ст}} = 672 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Горячий теплоноситель направляется во внутреннюю трубу и имеет следующие параметры: температура  $T_T = 271\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 2051.9 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_T = 158 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{C}}$ , плотность  $\rho_T = 1338 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_T = 1.326 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент термического расширения  $\beta = 0.000043\text{K}^{-1}$ , расход  $G_T = 2566.823 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Холодный теплоноситель направляется в межтрубное пространство и имеет следующие параметры: температура  $T_x = 30\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 1558 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{C}}$ ,  $\lambda_x = 217 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_x = 810 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_T = 0.699 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , расход  $G_x = 2353.66 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

Проектный расчет

Спроектировать противоточном теплообменник типа Труба в

трубе для нагревания сырья с исходной температурой  $T_x = 35C$  и расходом  $G_x = 46.25 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$  до температуры  $146.6 C$  свойства сырья: теплоемкость  $c_p = 2168 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{C}}$ ,  $\lambda_x = 151 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_x = 1313 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_T = 0.846 \text{мПа}\cdot\text{с}$ . Горячий теплоноситель имеет температуру  $T_T = 0C$ , теплоемкость  $c_p = 225.7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_T = 1863 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{C}}$ , плотность  $\rho_T = 227 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_T = 1037.415 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент теплового расширения  $\beta 1.099798k^{-1}$ . В качестве материала стенки теплообенника используется металл толщиной 5 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{ст} = 681 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

### ВАРИАНТ 7

#### Поверочный расчет

Смоделировать процесс теплообмена в противоточном теплообменнике типа Труба в трубе. Использовать модель идеального вытеснения для обоих потоков. Размеры теплообменника: длина 21.2 м, диаметр внешней трубы 50.6 мм, диаметр внутренней трубы 28.0 мм, толщина стенки 5 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{ст} = 473 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Горячий теплоноситель направляется во внутреннюю трубу и имеет следующие параметры: температура  $T_T = 253C$ , теплоемкость  $c_p = 1639.9 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_T = 205 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{C}}$ , плотность  $\rho_T = 1136 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_T = 0.357 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент термического расширения  $\beta = 0.000098K^{-1}$ , расход  $G_T = 414.606 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Холодный теплоноситель направляется в межтрубное пространство и имеет следующие параметры: температура  $T_x = 27C$ , теплоемкость  $c_p = 1617 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{C}}$ ,  $\lambda_x = 168 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_x = 820 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_T = 0.859 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , расход  $G_x = 649.15 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

#### Проектный расчет

Спроектировать противоточном теплообменник типа Труба в трубе для нагревания сырья с исходной температурой  $T_x = 21C$  и расходом  $G_x = 743.59 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$  до температуры  $130.1 C$  свойства сырья: теплоемкость  $c_p = 1492 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{C}}$ ,  $\lambda_x = 141 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_x = 709 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_T = 1.467 \text{мПа}\cdot\text{с}$ . Горячий теплоноси-

тель имеет температуру  $T_{\Gamma} = 0C$ , теплоемкость  $c_p = 259.4 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{\Gamma} = 2050 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{С}}$ , плотность  $\rho_{\Gamma} = 211 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 1219.661 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент теплового расширения  $\beta 1.350810k^{-1}$ . В качестве материала стенки теплообенника используется металл толщиной 4 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{\text{ст}} = 558 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

### ВАРИАНТ 8

#### Поверочный расчет

Смоделировать процесс теплообмена в прямоточном теплообменнике типа Труба в трубе. Использовать модель идеального вытеснения для обоих потоков. Размеры теплообменника: длина 29.4 м, диаметр внешней трубы 47.0 мм, диаметр внутренней трубы 31.5 мм, толщина стенки 3 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{\text{ст}} = 423 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Горячий теплоноситель направляется во внутреннюю трубу и имеет следующие параметры: температура  $T_{\Gamma} = 96C$ , теплоемкость  $c_p = 1978.4 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{\Gamma} = 142 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{С}}$ , плотность  $\rho_{\Gamma} = 628 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 0.836 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент термического расширения  $\beta = 0.000027K^{-1}$ , расход  $G_{\Gamma} = 1465.040 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Холодный теплоноситель направляется в межтрубное пространство и имеет следующие параметры: температура  $T_x = 25C$ , теплоемкость  $c_p = 1550 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{С}}$ ,  $\lambda_x = 172 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_x = 761 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 1.442 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , расход  $G_x = 2110.86 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

#### Проектный расчет

Спроектировать прямоточном теплообменник типа Труба в трубе для нагревания сырья с исходной температурой  $T_x = 31C$  и расходом  $G_x = 754.01 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$  до температуры 93.7 C свойства сырья: теплоемкость  $c_p = 1419 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{С}}$ ,  $\lambda_x = 211 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_x = 1597 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 0.688 \text{мПа}\cdot\text{с}$ . Горячий теплоноситель имеет температуру  $T_{\Gamma} = 0C$ , теплоемкость  $c_p = 140.0 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{\Gamma} = 1860 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{С}}$ , плотность  $\rho_{\Gamma} = 191 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 968.271 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент теплового расширения  $\beta 1.456519k^{-1}$ . В качестве материала стенки теплообенника используется металл

толщиной 5 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{ст} = 548 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

### ВАРИАНТ 9

Поверочный расчет

Смоделировать процесс теплообмена в прямоточном теплообменнике типа Труба в трубе. Использовать модель идеального вытеснения для обоих потоков. Размеры теплообменника: длина 19.1 м, диаметр внешней трубы 30.4 мм, диаметр внутренней трубы 20.9 мм, толщина стенки 4 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{ст} = 516 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Горячий теплоноситель направляется во внутреннюю трубу и имеет следующие параметры: температура  $T_{г} = 263\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 1764.3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{г} = 180 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{г} = 826 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{г} = 0.279 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент термического расширения  $\beta = 0.000034 \text{K}^{-1}$ , расход  $G_{г} = 350.095 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Холодный теплоноситель направляется в межтрубное пространство и имеет следующие параметры: температура  $T_{х} = 29\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 2055 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{C}}$ ,  $\lambda_{х} = 157 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{х} = 648 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{г} = 0.956 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , расход  $G_{х} = 456.41 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

Проектный расчет

Спроектировать противоточном теплообменник типа Труба в трубе для нагревания сырья с исходной температурой  $T_{х} = 22\text{C}$  и расходом  $G_{х} = 754.13 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$  до температуры 112.3 C свойства сырья: теплоемкость  $c_p = 2025 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{C}}$ ,  $\lambda_{х} = 223 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{х} = 1367 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{г} = 0.893 \text{мПа}\cdot\text{с}$ . Горячий теплоноситель имеет температуру  $T_{г} = 0\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 240.0 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{г} = 1303 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{C}}$ , плотность  $\rho_{г} = 212 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{г} = 1577.616 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент теплового расширения  $\beta 0.764141 \text{k}^{-1}$ . В качестве материала стенки теплообенника используется металл толщиной 6 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{ст} = 560 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

### ВАРИАНТ 10

## Поверочный расчет

Смоделировать процесс теплообмена в противоточном теплообменнике типа Труба в трубе. Использовать модель идеального вытеснения для обоих потоков. Размеры теплообменника: длина 13.4 м, диаметр внешней трубы 35.0 мм, диаметр внутренней трубы 24.8 мм, толщина стенки 6 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{ст} = 421 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Горячий теплоноситель направляется во внутреннюю трубу и имеет следующие параметры: температура  $T_{г} = 249\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 1821.1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{г} = 173 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{г} = 763 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{г} = 0.429 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент термического расширения  $\beta = 0.000088 \text{K}^{-1}$ , расход  $G_{г} = 101.258 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Холодный теплоноситель направляется в межтрубное пространство и имеет следующие параметры: температура  $T_{х} = 32\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 1334 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{C}}$ ,  $\lambda_{х} = 205 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{х} = 1149 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{г} = 1.367 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , расход  $G_{х} = 115.04 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

## Проектный расчет

Спроектировать прямоточном теплообменник типа Труба в трубе для нагревания сырья с исходной температурой  $T_{х} = 32\text{C}$  и расходом  $G_{х} = 373.36 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$  до температуры 111.8 C свойства сырья: теплоемкость  $c_p = 1523 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{C}}$ ,  $\lambda_{х} = 152 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{х} = 1527 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{г} = 1.426 \text{мПа}\cdot\text{с}$ . Горячий теплоноситель имеет температуру  $T_{г} = 0\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 199.0 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{г} = 1478 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{C}}$ , плотность  $\rho_{г} = 167 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{г} = 1137.143 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент теплового расширения  $\beta 0.583257 \text{k}^{-1}$ . В качестве материала стенки теплообенника используется металл толщиной 6 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{ст} = 578 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

## ВАРИАНТ 11

### Поверочный расчет

Смоделировать процесс теплообмена в прямоточном теплообменнике типа Труба в трубе. Использовать модель идеального вытеснения для обоих потоков. Размеры теплообменника: длин-

на 16.9 м, диаметр внешней трубы 22.3 мм, диаметр внутренней трубы 11.0 мм, толщина стенки 5 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{ст} = 691 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Горячий теплоноситель направляется во внутреннюю трубу и имеет следующие параметры: температура  $T_{г} = 95\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 1949.6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{г} = 143 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{г} = 1428 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{г} = 1.581 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент термического расширения  $\beta = 0.000009 \text{K}^{-1}$ , расход  $G_{г} = 296.672 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Холодный теплоноситель направляется в межтрубное пространство и имеет следующие параметры: температура  $T_{х} = 23\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 1746 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{х} = 222 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{х} = 1244 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{г} = 1.146 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , расход  $G_{х} = 212.33 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

Проектный расчет

Спроектировать противоточном теплообменник типа Труба в трубе для нагревания сырья с исходной температурой  $T_{х} = 28\text{C}$  и расходом  $G_{х} = 261.85 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$  до температуры 56.2 C свойства сырья: теплоемкость  $c_p = 1756 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{C}}$ ,  $\lambda_{х} = 208 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{х} = 1259 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{г} = 1.027 \text{мПа}\cdot\text{с}$ . Горячий теплоноситель имеет температуру  $T_{г} = 0\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 81.9 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{г} = 1729 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{г} = 149 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{г} = 749.396 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент теплового расширения  $\beta 0.494728 \text{K}^{-1}$ . В качестве материала стенки теплообменника используется металл толщиной 3 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{ст} = 577 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

## ВАРИАНТ 12

Поверочный расчет

Смоделировать процесс теплообмена в противоточном теплообменнике типа Труба в трубе. Использовать модель идеального вытеснения для обоих потоков. Размеры теплообменника: длина 19.1 м, диаметр внешней трубы 50.6 мм, диаметр внутренней трубы 30.8 мм, толщина стенки 4 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{ст} = 587 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Горячий теплоноситель направляется во внутреннюю трубу и имеет следующие параметры: темпера-

тура  $T_{\Gamma} = 118C$ , теплоемкость  $c_p = 1729.3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{\Gamma} = 191 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{С}}$ , плотность  $\rho_{\Gamma} = 687 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 1.007 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент термического расширения  $\beta = 0.000086 K^{-1}$ , расход  $G_{\Gamma} = 49.611 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Холодный теплоноситель направляется в межтрубное пространство и имеет следующие параметры: температура  $T_x = 35C$ , теплоемкость  $c_p = 2238 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{С}}$ ,  $\lambda_x = 133 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_x = 1213 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 0.315 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , расход  $G_x = 83.04 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

### Проектный расчет

Спроектировать прямоточном теплообменник типа Труба в трубе для нагревания сырья с исходной температурой  $T_x = 25C$  и расходом  $G_x = 350.62 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$  до температуры  $124.7 C$  свойства сырья: теплоемкость  $c_p = 1471 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{С}}$ ,  $\lambda_x = 131 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_x = 1091 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 1.444 \text{мПа}\cdot\text{с}$ . Горячий теплоноситель имеет температуру  $T_{\Gamma} = 0C$ , теплоемкость  $c_p = 262.0 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{\Gamma} = 2271 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{С}}$ , плотность  $\rho_{\Gamma} = 142 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 1495.104 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент теплового расширения  $\beta 1.033503 k^{-1}$ . В качестве материала стенки теплообменника используется металл толщиной 3 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{\text{ст}} = 387 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

### ВАРИАНТ 13

#### Поверочный расчет

Смоделировать процесс теплообмена в противоточном теплообменнике типа Труба в трубе. Использовать модель идеального вытеснения для обоих потоков. Размеры теплообменника: длина 22.2 м, диаметр внешней трубы 71.3 мм, диаметр внутренней трубы 31.1 мм, толщина стенки 2 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{\text{ст}} = 501 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Горячий теплоноситель направляется во внутреннюю трубу и имеет следующие параметры: температура  $T_{\Gamma} = 88C$ , теплоемкость  $c_p = 1308.7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{\Gamma} = 156 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{С}}$ , плотность  $\rho_{\Gamma} = 827 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 0.143 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент термического расширения  $\beta = 0.000008 K^{-1}$ , расход  $G_{\Gamma} = 17.720 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Холодный теплоноситель направляется в меж-

трубное пространство и имеет следующие параметры: температура  $T_x = 27C$ , теплоемкость  $c_p = 1372 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{C}}$ ,  $\lambda_x = 130 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_x = 1411 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_\Gamma = 0.571 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , расход  $G_x = 18.73 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

#### Проектный расчет

Спроектировать прямоточном теплообменник типа Труба в трубе для нагревания сырья с исходной температурой  $T_x = 29C$  и расходом  $G_x = 71.26 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$  до температуры  $66.1 C$  свойства сырья: теплоемкость  $c_p = 1561 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{C}}$ ,  $\lambda_x = 145 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_x = 637 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_\Gamma = 0.329 \text{мПа}\cdot\text{с}$ . Горячий теплоноситель имеет температуру  $T_\Gamma = 0C$ , теплоемкость  $c_p = 111.4 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_\Gamma = 2217 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{C}}$ , плотность  $\rho_\Gamma = 151 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_\Gamma = 779.986 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент теплового расширения  $\beta 1.573198k^{-1}$ . В качестве материала стенки теплообенника используется металл толщиной 6 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{ст} = 543 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

#### ВАРИАНТ 14

##### Поверочный расчет

Смоделировать процесс теплообмена в противоточном теплообменнике типа Труба в трубе. Использовать модель идеального вытеснения для обоих потоков. Размеры теплообменника: длина 26.6 м, диаметр внешней трубы 89.1 мм, диаметр внутренней трубы 38.8 мм, толщина стенки 3 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{ст} = 533 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Горячий теплоноситель направляется во внутреннюю трубу и имеет следующие параметры: температура  $T_\Gamma = 145C$ , теплоемкость  $c_p = 2200.0 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_\Gamma = 206 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{C}}$ , плотность  $\rho_\Gamma = 1317 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_\Gamma = 1.541 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент термического расширения  $\beta = 0.000050K^{-1}$ , расход  $G_\Gamma = 98.140 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Холодный теплоноситель направляется в межтрубное пространство и имеет следующие параметры: температура  $T_x = 27C$ , теплоемкость  $c_p = 1780 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{C}}$ ,  $\lambda_x = 185 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_x = 989 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_\Gamma = 0.428 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , расход  $G_x = 172.84 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Определить распределение температуры теплоно-



сителя по длине теплообменника.

### Проектный расчет

Спроектировать прямоточном теплообменник типа Труба в трубе для нагревания сырья с исходной температурой  $T_x = 20C$  и расходом  $G_x = 702.35 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$  до температуры  $119.8 C$  свойства сырья: теплоемкость  $c_p = 1339 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot C}$ ,  $\lambda_x = 198 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot K}$ , плотность  $\rho_x = 1040 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_T = 0.997 \text{мПа}\cdot\text{с}$ . Горячий теплоноситель имеет температуру  $T_T = 0C$ , теплоемкость  $c_p = 235.5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot K}$ ,  $\lambda_T = 2271 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot C}$ , плотность  $\rho_T = 183 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_T = 1055.405 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент теплового расширения  $\beta 0.559224 k^{-1}$ . В качестве материала стенки теплообенника используется металл толщиной 6 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{ст} = 605 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot K}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

### ВАРИАНТ 15

#### Поверочный расчет

Смоделировать процесс теплообмена в прямоточном теплообменнике типа Труба в трубе. Использовать модель идеального вытеснения для обоих потоков. Размеры теплообменника: длина 15.6 м, диаметр внешней трубы 26.9 мм, диаметр внутренней трубы 12.6 мм, толщина стенки 3 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{ст} = 493 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot K}$ . Горячий теплоноситель направляется во внутреннюю трубу и имеет следующие параметры: температура  $T_T = 264C$ , теплоемкость  $c_p = 1736.4 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot K}$ ,  $\lambda_T = 162 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot C}$ , плотность  $\rho_T = 700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_T = 0.397 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент термического расширения  $\beta = 0.000081 K^{-1}$ , расход  $G_T = 14.139 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Холодный теплоноситель направляется в межтрубное пространство и имеет следующие параметры: температура  $T_x = 36C$ , теплоемкость  $c_p = 1952 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot C}$ ,  $\lambda_x = 195 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot K}$ , плотность  $\rho_x = 1259 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_T = 0.372 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , расход  $G_x = 21.95 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

#### Проектный расчет

Спроектировать противоточном теплообменник типа Труба в трубе для нагревания сырья с исходной температурой  $T_x = 26C$  и

расходом  $G_x = 179.48 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$  до температуры  $100.6 \text{ C}$  свойства сырья: теплоемкость  $c_p = 1719 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{C}}$ ,  $\lambda_x = 184 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_x = 873 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_\Gamma = 0.561 \text{мПа}\cdot\text{с}$ . Горячий теплоноситель имеет температуру  $T_\Gamma = 0\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 207.9 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_\Gamma = 1486 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{C}}$ , плотность  $\rho_\Gamma = 205 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_\Gamma = 1163.563 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент теплового расширения  $\beta 1.132510 \text{K}^{-1}$ . В качестве материала стенки теплообменника используется металл толщиной 7 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{\text{ст}} = 698 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

### ВАРИАНТ 16

#### Поверочный расчет

Смоделировать процесс теплообмена в противоточном теплообменнике типа Труба в трубе. Использовать модель идеального вытеснения для обоих потоков. Размеры теплообменника: длина 14.3 м, диаметр внешней трубы 21.1 мм, диаметр внутренней трубы 11.5 мм, толщина стенки 4 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{\text{ст}} = 556 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Горячий теплоноситель направляется во внутреннюю трубу и имеет следующие параметры: температура  $T_\Gamma = 236\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 1791.1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_\Gamma = 201 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{C}}$ , плотность  $\rho_\Gamma = 1034 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_\Gamma = 1.218 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент термического расширения  $\beta = 0.000088 \text{K}^{-1}$ , расход  $G_\Gamma = 671.197 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Холодный теплоноситель направляется в межтрубное пространство и имеет следующие параметры: температура  $T_x = 30\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 1579 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{C}}$ ,  $\lambda_x = 133 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_x = 899 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_\Gamma = 0.208 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , расход  $G_x = 1053.23 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

#### Проектный расчет

Спроектировать прямоточном теплообменник типа Труба в трубе для нагревания сырья с исходной температурой  $T_x = 30\text{C}$  и расходом  $G_x = 6.56 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$  до температуры  $137.6 \text{ C}$  свойства сырья: теплоемкость  $c_p = 2011 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{C}}$ ,  $\lambda_x = 142 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_x = 1584 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_\Gamma = 1.134 \text{мПа}\cdot\text{с}$ . Горячий теплоноситель имеет температуру  $T_\Gamma = 0\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 275.7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$

$\lambda_{\Gamma} = 1421 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{С}}$ , плотность  $\rho_{\Gamma} = 146 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 716.809 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент теплового расширения  $\beta 0.268735 \text{к}^{-1}$ . В качестве материала стенки теплообенника используется металл толщиной 5 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{\text{ст}} = 683 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообенника.

### ВАРИАНТ 17

#### Поверочный расчет

Смоделировать процесс теплообмена в противоточном теплообменнике типа Труба в трубе. Использовать модель идеального вытеснения для обоих потоков. Размеры теплообменника: длина 10.7 м, диаметр внешней трубы 18.9 мм, диаметр внутренней трубы 13.1 мм, толщина стенки 2 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{\text{ст}} = 689 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Горячий теплоноситель направляется во внутреннюю трубу и имеет следующие параметры: температура  $T_{\Gamma} = 286\text{С}$ , теплоемкость  $c_p = 2264.6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{\Gamma} = 142 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{С}}$ , плотность  $\rho_{\Gamma} = 1423 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 0.229 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент термического расширения  $\beta = 0.000026 \text{К}^{-1}$ , расход  $G_{\Gamma} = 60.261 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Холодный теплоноситель направляется в межтрубное пространство и имеет следующие параметры: температура  $T_x = 39\text{С}$ , теплоемкость  $c_p = 2058 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{С}}$ ,  $\lambda_x = 143 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_x = 1306 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 0.762 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , расход  $G_x = 53.64 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообенника.

#### Проектный расчет

Спроектировать противоточном теплообменник типа Труба в трубе для нагревания сырья с исходной температурой  $T_x = 35\text{С}$  и расходом  $G_x = 147.96 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$  до температуры 110.3 С свойства сырья: теплоемкость  $c_p = 1394 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{С}}$ ,  $\lambda_x = 151 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_x = 685 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 0.306 \text{мПа}\cdot\text{с}$ . Горячий теплоноситель имеет температуру  $T_{\Gamma} = 0\text{С}$ , теплоемкость  $c_p = 179.7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{\Gamma} = 2250 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{С}}$ , плотность  $\rho_{\Gamma} = 163 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 1276.543 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент теплового расширения  $\beta 0.305794 \text{к}^{-1}$ . В качестве материала стенки теплообенника используется металл толщиной 2 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{\text{ст}} = 411 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ .

Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

### ВАРИАНТ 18

Поверочный расчет

Смоделировать процесс теплообмена в прямоточном теплообменнике типа Труба в трубе. Использовать модель идеального вытеснения для обоих потоков. Размеры теплообменника: длина 21.1 м, диаметр внешней трубы 66.0 мм, диаметр внутренней трубы 34.7 мм, толщина стенки 3 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{ст} = 379 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ . Горячий теплоноситель направляется во внутреннюю трубу и имеет следующие параметры: температура  $T_{г} = 80\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 1681.7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ ,  $\lambda_{г} = 184 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ , плотность  $\rho_{г} = 918 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{г} = 0.210 \text{мПа} \cdot \text{с}$ , коэффициент термического расширения  $\beta = 0.000003 \text{K}^{-1}$ , расход  $G_{г} = 12.720 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Холодный теплоноситель направляется в межтрубное пространство и имеет следующие параметры: температура  $T_{х} = 24\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 2040 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{C}}$ ,  $\lambda_{х} = 167 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ , плотность  $\rho_{х} = 1059 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{г} = 1.194 \text{мПа} \cdot \text{с}$ , расход  $G_{х} = 9.59 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

Проектный расчет

Спроектировать прямоточном теплообменник типа Труба в трубе для нагревания сырья с исходной температурой  $T_{х} = 39\text{C}$  и расходом  $G_{х} = 226.20 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$  до температуры 123.0 C свойства сырья: теплоемкость  $c_p = 2070 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{C}}$ ,  $\lambda_{х} = 142 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ , плотность  $\rho_{х} = 1188 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{г} = 1.492 \text{мПа} \cdot \text{с}$ . Горячий теплоноситель имеет температуру  $T_{г} = 0\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 199.0 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ ,  $\lambda_{г} = 1410 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ , плотность  $\rho_{г} = 179 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{г} = 1491.953 \text{мПа} \cdot \text{с}$ , коэффициент теплового расширения  $\beta 0.166707 \text{k}^{-1}$ . В качестве материала стенки теплообенника используется металл толщиной 5 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{ст} = 622 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

### ВАРИАНТ 19

Поверочный расчет

Смоделировать процесс теплообмена в противоточном теплообменнике типа Труба в трубе. Использовать модель идеального вытеснения для обоих потоков. Размеры теплообменника: длина 28.3 м, диаметр внешней трубы 51.1 мм, диаметр внутренней трубы 25.6 мм, толщина стенки 4 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{ст} = 356 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Горячий теплоноситель направляется во внутреннюю трубу и имеет следующие параметры: температура  $T_{г} = 105\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 1355.1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{г} = 222 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{г} = 731 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{г} = 0.666\text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент термического расширения  $\beta = 0.000059\text{K}^{-1}$ , расход  $G_{г} = 248.302 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Холодный теплоноситель направляется в межтрубное пространство и имеет следующие параметры: температура  $T_{х} = 21\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 1664 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{х} = 133 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{х} = 1221 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{г} = 1.201\text{мПа}\cdot\text{с}$ , расход  $G_{х} = 225.13 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

#### Проектный расчет

Спроектировать противоточном теплообменник типа Труба в трубе для нагревания сырья с исходной температурой  $T_{х} = 37\text{C}$  и расходом  $G_{х} = 403.81 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$  до температуры 66.3 C свойства сырья: теплоемкость  $c_p = 1971 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{х} = 166 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{х} = 1558 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{г} = 0.468\text{мПа}\cdot\text{с}$ . Горячий теплоноситель имеет температуру  $T_{г} = 0\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 98.7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{г} = 2084 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{г} = 166 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{г} = 1038.828\text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент теплового расширения  $\beta 1.318655\text{k}^{-1}$ . В качестве материала стенки теплообменника используется металл толщиной 6 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{ст} = 485 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

#### ВАРИАНТ 20

##### Поверочный расчет

Смоделировать процесс теплообмена в прямоточном теплообменнике типа Труба в трубе. Использовать модель идеального вытеснения для обоих потоков. Размеры теплообменника: длина 10.3 м, диаметр внешней трубы 26.7 мм, диаметр внутренней

трубы 15.4 мм, толщина стенки 4 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{ст} = 450 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Горячий теплоноситель направляется во внутреннюю трубу и имеет следующие параметры: температура  $T_{г} = 150\text{С}$ , теплоемкость  $c_p = 1419.4 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{г} = 136 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{г} = 1150 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{г} = 0.711 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент термического расширения  $\beta = 0.000014 \text{К}^{-1}$ , расход  $G_{г} = 29.347 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Холодный теплоноситель направляется в межтрубное пространство и имеет следующие параметры: температура  $T_{х} = 26\text{С}$ , теплоемкость  $c_p = 1673 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{С}}$ ,  $\lambda_{х} = 183 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{х} = 656 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{г} = 0.241 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , расход  $G_{х} = 29.52 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

### Проектный расчет

Спроектировать прямоточном теплообменник типа Труба в трубе для нагревания сырья с исходной температурой  $T_{х} = 21\text{С}$  и расходом  $G_{х} = 207.08 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$  до температуры 74.2 С свойства сырья: теплоемкость  $c_p = 2151 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{С}}$ ,  $\lambda_{х} = 191 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{х} = 731 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{г} = 0.359 \text{мПа}\cdot\text{с}$ . Горячий теплоноситель имеет температуру  $T_{г} = 0\text{С}$ , теплоемкость  $c_p = 135.7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{г} = 2004 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{С}}$ , плотность  $\rho_{г} = 195 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{г} = 779.438 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент теплового расширения  $\beta 1.372118 \text{к}^{-1}$ . В качестве материала стенки теплообенника используется металл толщиной 5 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{ст} = 495 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

### ВАРИАНТ 21

#### Поверочный расчет

Смоделировать процесс теплообмена в прямоточном теплообменнике типа Труба в трубе. Использовать модель идеального вытеснения для обоих потоков. Размеры теплообменника: длина 14.1 м, диаметр внешней трубы 56.4 мм, диаметр внутренней трубы 29.5 мм, толщина стенки 3 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{ст} = 598 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Горячий теплоноситель направляется во внутреннюю трубу и имеет следующие параметры: температура  $T_{г} = 212\text{С}$ , теплоемкость  $c_p = 1886.8 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{г} = 197 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{С}}$ , плот-

ность  $\rho_{\Gamma} = 1358 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 0.584 \text{мПа} \cdot \text{с}$ , коэффициент термического расширения  $\beta = 0.000036 \text{K}^{-1}$ , расход  $G_{\Gamma} = 744.209 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Холодный теплоноситель направляется в межтрубное пространство и имеет следующие параметры: температура  $T_{\text{х}} = 35\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 2280 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{C}}$ ,  $\lambda_{\text{х}} = 176 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ , плотность  $\rho_{\text{х}} = 1377 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 0.116 \text{мПа} \cdot \text{с}$ , расход  $G_{\text{х}} = 1014.74 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

Проектный расчет

Спроектировать противоточном теплообменник типа Труба в трубе для нагревания сырья с исходной температурой  $T_{\text{х}} = 37\text{C}$  и расходом  $G_{\text{х}} = 35.48 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$  до температуры  $139.1\text{C}$  свойства сырья: теплоемкость  $c_p = 1603 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{C}}$ ,  $\lambda_{\text{х}} = 163 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ , плотность  $\rho_{\text{х}} = 1238 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 1.052 \text{мПа} \cdot \text{с}$ . Горячий теплоноситель имеет температуру  $T_{\Gamma} = 0\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 244.5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ ,  $\lambda_{\Gamma} = 1537 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{C}}$ , плотность  $\rho_{\Gamma} = 188 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 636.401 \text{мПа} \cdot \text{с}$ , коэффициент теплового расширения  $\beta 0.352558 \text{K}^{-1}$ . В качестве материала стенки теплообменника используется металл толщиной 5 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{\text{ст}} = 508 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

## ВАРИАНТ 22

Поверочный расчет

Смоделировать процесс теплообмена в противоточном теплообменнике типа Труба в трубе. Использовать модель идеального вытеснения для обоих потоков. Размеры теплообменника: длина 13.3 м, диаметр внешней трубы 24.8 мм, диаметр внутренней трубы 13.2 мм, толщина стенки 5 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{\text{ст}} = 421 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ . Горячий теплоноситель направляется во внутреннюю трубу и имеет следующие параметры: температура  $T_{\Gamma} = 121\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 1985.2 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ ,  $\lambda_{\Gamma} = 221 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{C}}$ , плотность  $\rho_{\Gamma} = 1120 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 0.690 \text{мПа} \cdot \text{с}$ , коэффициент термического расширения  $\beta = 0.000030 \text{K}^{-1}$ , расход  $G_{\Gamma} = 198.941 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Холодный теплоноситель направляется в межтрубное пространство и имеет следующие параметры: темпера-

тура  $T_x = 31C$ , теплоемкость  $c_p = 1905 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{C}}$ ,  $\lambda_x = 175 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_x = 637 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_T = 1.084 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , расход  $G_x = 223.57 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

Проектный расчет

Спроектировать прямоточном теплообменник типа Труба в трубе для нагревания сырья с исходной температурой  $T_x = 27C$  и расходом  $G_x = 75.94 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$  до температуры  $94.0 C$  свойства сырья: теплоемкость  $c_p = 1683 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{C}}$ ,  $\lambda_x = 225 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_x = 1252 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_T = 0.552 \text{мПа}\cdot\text{с}$ . Горячий теплоноситель имеет температуру  $T_T = 0C$ , теплоемкость  $c_p = 193.8 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_T = 1897 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{C}}$ , плотность  $\rho_T = 179 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_T = 1482.099 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент теплового расширения  $\beta 0.688309 \text{K}^{-1}$ . В качестве материала стенки теплообменника используется металл толщиной 5 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{\text{ст}} = 617 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

### ВАРИАНТ 23

Поверочный расчет

Смоделировать процесс теплообмена в прямоточном теплообменнике типа Труба в трубе. Использовать модель идеального вытеснения для обоих потоков. Размеры теплообменника: длина 26.4 м, диаметр внешней трубы 24.7 мм, диаметр внутренней трубы 11.1 мм, толщина стенки 2 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{\text{ст}} = 524 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Горячий теплоноситель направляется во внутреннюю трубу и имеет следующие параметры: температура  $T_T = 122C$ , теплоемкость  $c_p = 1579.5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_T = 147 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{C}}$ , плотность  $\rho_T = 849 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_T = 0.560 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент термического расширения  $\beta = 0.000057 \text{K}^{-1}$ , расход  $G_T = 238.406 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Холодный теплоноситель направляется в межтрубное пространство и имеет следующие параметры: температура  $T_x = 25C$ , теплоемкость  $c_p = 1465 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{C}}$ ,  $\lambda_x = 147 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_x = 1129 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_T = 0.156 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , расход  $G_x = 246.70 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.



### Проектный расчет

Спроектировать противоточном теплообменник типа Труба в трубе для нагревания сырья с исходной температурой  $T_x = 32\text{C}$  и расходом  $G_x = 1429.63 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$  до температуры  $87.8\text{C}$  свойства сырья: теплоемкость  $c_p = 2000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{C}}$ ,  $\lambda_x = 190 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_x = 1388 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_T = 1.132\text{мПа}\cdot\text{с}$ . Горячий теплоноситель имеет температуру  $T_T = 0\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 139.0 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_T = 2271 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{C}}$ , плотность  $\rho_T = 165 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_T = 1223.605\text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент теплового расширения  $\beta 0.782188\text{K}^{-1}$ . В качестве материала стенки теплообменника используется металл толщиной 3 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{\text{ст}} = 323 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

### ВАРИАНТ 24

#### Поверочный расчет

Смоделировать процесс теплообмена в прямоточном теплообменнике типа Труба в трубе. Использовать модель идеального вытеснения для обоих потоков. Размеры теплообменника: длина 25.1 м, диаметр внешней трубы 23.5 мм, диаметр внутренней трубы 10.6 мм, толщина стенки 4 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{\text{ст}} = 641 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Горячий теплоноситель направляется во внутреннюю трубу и имеет следующие параметры: температура  $T_T = 127\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 1787.4 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_T = 210 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{C}}$ , плотность  $\rho_T = 691 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_T = 0.724\text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент термического расширения  $\beta = 0.000008\text{K}^{-1}$ , расход  $G_T = 111.066 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Холодный теплоноситель направляется в межтрубное пространство и имеет следующие параметры: температура  $T_x = 30\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 1546 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{C}}$ ,  $\lambda_x = 210 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_x = 1083 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_T = 0.362\text{мПа}\cdot\text{с}$ , расход  $G_x = 165.60 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

#### Проектный расчет

Спроектировать противоточном теплообменник типа Труба в трубе для нагревания сырья с исходной температурой  $T_x = 34\text{C}$  и расходом  $G_x = 476.26 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$  до температуры  $106.2\text{C}$  свойства сырья:

теплоемкость  $c_p = 1725 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{С}}$ ,  $\lambda_x = 193 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_x = 1067 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_\Gamma = 0.175 \text{мПа}\cdot\text{с}$ . Горячий теплоноситель имеет температуру  $T_\Gamma = 0\text{С}$ , теплоемкость  $c_p = 191.0 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_\Gamma = 1624 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{С}}$ , плотность  $\rho_\Gamma = 178 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_\Gamma = 1345.118 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент теплового расширения  $\beta 0.935413\text{K}^{-1}$ . В качестве материала стенки теплообенника используется металл толщиной 7 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{\text{ст}} = 548 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

## ВАРИАНТ 25

### Поверочный расчет

Смоделировать процесс теплообмена в прямоточном теплообменнике типа Труба в трубе. Использовать модель идеального вытеснения для обоих потоков. Размеры теплообменника: длина 21.0 м, диаметр внешней трубы 62.2 мм, диаметр внутренней трубы 39.5 мм, толщина стенки 2 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{\text{ст}} = 533 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Горячий теплоноситель направляется во внутреннюю трубу и имеет следующие параметры: температура  $T_\Gamma = 246\text{С}$ , теплоемкость  $c_p = 1312.0 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_\Gamma = 162 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{С}}$ , плотность  $\rho_\Gamma = 1164 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_\Gamma = 0.892 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент термического расширения  $\beta = 0.000039\text{K}^{-1}$ , расход  $G_\Gamma = 1425.904 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Холодный теплоноситель направляется в межтрубное пространство и имеет следующие параметры: температура  $T_x = 33\text{С}$ , теплоемкость  $c_p = 1494 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{С}}$ ,  $\lambda_x = 208 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_x = 664 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_\Gamma = 1.368 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , расход  $G_x = 1514.49 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

### Проектный расчет

Спроектировать прямоточном теплообменник типа Труба в трубе для нагрева сырь с исходной температурой  $T_x = 27\text{С}$  и расходом  $G_x = 2236.68 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$  до температуры 145.5 С свойства сырья: теплоемкость  $c_p = 2269 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{С}}$ ,  $\lambda_x = 222 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_x = 979 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_\Gamma = 1.039 \text{мПа}\cdot\text{с}$ . Горячий теплоноситель имеет температуру  $T_\Gamma = 0\text{С}$ , теплоемкость  $c_p = 242.4 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_\Gamma = 1681 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{С}}$ , плотность  $\rho_\Gamma = 190 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_\Gamma =$

1408.614мПа·с, коэффициент теплового расширения  $\beta 1.534161k^{-1}$ . В качестве материала стенки теплообменника используется металл толщиной 6 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{ст} = 648 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

### ВАРИАНТ 26

Поверочный расчет

Смоделировать процесс теплообмена в прямоточном теплообменнике типа Труба в трубе. Использовать модель идеального вытеснения для обоих потоков. Размеры теплообменника: длина 29.6 м, диаметр внешней трубы 52.7 мм, диаметр внутренней трубы 26.1 мм, толщина стенки 6 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{ст} = 632 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Горячий теплоноситель направляется во внутреннюю трубу и имеет следующие параметры: температура  $T_{\Gamma} = 238\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 1377.7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{\Gamma} = 171 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{C}}$ , плотность  $\rho_{\Gamma} = 975 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 0.550\text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент термического расширения  $\beta = 0.000038K^{-1}$ , расход  $G_{\Gamma} = 50.930 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Холодный теплоноситель направляется в межтрубное пространство и имеет следующие параметры: температура  $T_x = 36\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 1768 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{C}}$ ,  $\lambda_x = 208 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_x = 1069 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 1.133\text{мПа}\cdot\text{с}$ , расход  $G_x = 70.83 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

Проектный расчет

Спроектировать противоточном теплообменник типа Труба в трубе для нагрева сырья с исходной температурой  $T_x = 37\text{C}$  и расходом  $G_x = 48.79 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$  до температуры 78.0 C свойства сырья: теплоемкость  $c_p = 2056 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{C}}$ ,  $\lambda_x = 146 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_x = 1327 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 0.288\text{мПа}\cdot\text{с}$ . Горячий теплоноситель имеет температуру  $T_{\Gamma} = 0\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 106.6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{\Gamma} = 1520 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{C}}$ , плотность  $\rho_{\Gamma} = 155 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 959.933\text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент теплового расширения  $\beta 0.844221k^{-1}$ . В качестве материала стенки теплообменника используется металл толщиной 6 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{ст} = 352 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине

теплообменника.

### **ВАРИАНТ 27**

Поверочный расчет

Смоделировать процесс теплообмена в прямоточном теплообменнике типа Труба в трубе. Использовать модель идеального вытеснения для обоих потоков. Размеры теплообменника: длина 24.3 м, диаметр внешней трубы 45.8 мм, диаметр внутренней трубы 22.8 мм, толщина стенки 2 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{ст} = 352 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Горячий теплоноситель направляется во внутреннюю трубу и имеет следующие параметры: температура  $T_{\Gamma} = 169\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 2010.2 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{\Gamma} = 146 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{\Gamma} = 1376 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 1.239\text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент термического расширения  $\beta = 0.000086\text{K}^{-1}$ , расход  $G_{\Gamma} = 442.902 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Холодный теплоноситель направляется в межтрубное пространство и имеет следующие параметры: температура  $T_{\text{х}} = 32\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 1904 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{C}}$ ,  $\lambda_{\text{х}} = 194 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{\text{х}} = 1297 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 0.719\text{мПа}\cdot\text{с}$ , расход  $G_{\text{х}} = 707.10 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

Проектный расчет

Спроектировать прямоточном теплообменник типа Труба в трубе для нагревания сырья с исходной температурой  $T_{\text{х}} = 24\text{C}$  и расходом  $G_{\text{х}} = 186.11 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$  до температуры 88.6 C свойства сырья: теплоемкость  $c_p = 1842 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{C}}$ ,  $\lambda_{\text{х}} = 134 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{\text{х}} = 854 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 0.860\text{мПа}\cdot\text{с}$ . Горячий теплоноситель имеет температуру  $T_{\Gamma} = 0\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 134.8 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{\Gamma} = 1881 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{\Gamma} = 214 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 1021.186\text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент теплового расширения  $\beta 0.960248\text{k}^{-1}$ . В качестве материала стенки теплообенника используется металл толщиной 6 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{ст} = 675 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

### **ВАРИАНТ 28**

Поверочный расчет

Смоделировать процесс теплообмена в прямоточном теплооб-

меннике типа Труба в трубе. Использовать модель идеального вытеснения для обоих потоков. Размеры теплообменника: длина 26.9 м, диаметр внешней трубы 48.8 мм, диаметр внутренней трубы 23.2 мм, толщина стенки 6 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{ст} = 384 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Горячий теплоноситель направляется во внутреннюю трубу и имеет следующие параметры: температура  $T_{\Gamma} = 127\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 2015.4 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{\Gamma} = 223 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{\Gamma} = 1590 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 0.829\text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент термического расширения  $\beta = 0.000032\text{K}^{-1}$ , расход  $G_{\Gamma} = 53.437 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Холодный теплоноситель направляется в межтрубное пространство и имеет следующие параметры: температура  $T_{\text{X}} = 25\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 1713 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{\text{X}} = 148 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{\text{X}} = 1003 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\text{X}} = 0.869\text{мПа}\cdot\text{с}$ , расход  $G_{\text{X}} = 60.90 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

### Проектный расчет

Спроектировать прямоточном теплообменник типа Труба в трубе для нагревания сырья с исходной температурой  $T_{\text{X}} = 24\text{C}$  и расходом  $G_{\text{X}} = 432.14 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$  до температуры 83.2 C свойства сырья: теплоемкость  $c_p = 2044 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{C}}$ ,  $\lambda_{\text{X}} = 166 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{\text{X}} = 1135 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 1.118\text{мПа}\cdot\text{с}$ . Горячий теплоноситель имеет температуру  $T_{\Gamma} = 0\text{C}$ , теплоемкость  $c_p = 169.7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{\Gamma} = 1616 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{\Gamma} = 189 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 1118.213\text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент теплового расширения  $\beta 0.807208\text{k}^{-1}$ . В качестве материала стенки теплообенника используется металл толщиной 4 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{ст} = 632 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

### ВАРИАНТ 29

#### Поверочный расчет

Смоделировать процесс теплообмена в противоточном теплообменнике типа Труба в трубе. Использовать модель идеального вытеснения для обоих потоков. Размеры теплообменника: длина 24.0 м, диаметр внешней трубы 56.0 мм, диаметр внутренней трубы 25.7 мм, толщина стенки 6 мм, теплопроводность матери-

ала стенки  $\lambda_{ст} = 693 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Горячий теплоноситель направляется во внутреннюю трубу и имеет следующие параметры: температура  $T_{г} = 270\text{С}$ , теплоемкость  $c_p = 1833.4 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{г} = 203 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{г} = 1073 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{г} = 0.718 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент термического расширения  $\beta = 0.000012 \text{К}^{-1}$ , расход  $G_{г} = 26.481 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Холодный теплоноситель направляется в межтрубное пространство и имеет следующие параметры: температура  $T_{х} = 31\text{С}$ , теплоемкость  $c_p = 2263 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{С}}$ ,  $\lambda_{х} = 229 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{х} = 1283 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{г} = 0.705 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , расход  $G_{х} = 26.17 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

### Проектный расчет

Спроектировать прямоточном теплообменник типа Труба в трубе для нагревания сырья с исходной температурой  $T_{х} = 32\text{С}$  и расходом  $G_{х} = 197.80 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$  до температуры  $173.6\text{С}$  свойства сырья: теплоемкость  $c_p = 1537 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{С}}$ ,  $\lambda_{х} = 225 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_{х} = 1107 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{г} = 1.093 \text{мПа}\cdot\text{с}$ . Горячий теплоноситель имеет температуру  $T_{г} = 0\text{С}$ , теплоемкость  $c_p = 277.1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{г} = 1728 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{С}}$ , плотность  $\rho_{г} = 201 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{г} = 647.072 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент теплового расширения  $\beta 0.389446 \text{К}^{-1}$ . В качестве материала стенки теплообенника используется металл толщиной 4 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{ст} = 449 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

### ВАРИАНТ 30

#### Поверочный расчет

Смоделировать процесс теплообмена в противоточном теплообменнике типа Труба в трубе. Использовать модель идеального вытеснения для обоих потоков. Размеры теплообменника: длина 24.7 м, диаметр внешней трубы 64.8 мм, диаметр внутренней трубы 32.8 мм, толщина стенки 7 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{ст} = 433 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Горячий теплоноситель направляется во внутреннюю трубу и имеет следующие параметры: температура  $T_{г} = 217\text{С}$ , теплоемкость  $c_p = 2142.2 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{г} = 137 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{С}}$ , плотность  $\rho_{г} = 881 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{г} = 0.861 \text{мПа}\cdot\text{с}$ ,

коэффициент термического расширения  $\beta = 0.000012K^{-1}$ , расход  $G_{\Gamma} = 1613.632 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Холодный теплоноситель направляется в межтрубное пространство и имеет следующие параметры: температура  $T_x = 27C$ , теплоемкость  $c_p = 1614 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{C}}$ ,  $\lambda_x = 140 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_x = 1143 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 1.222 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , расход  $G_x = 2293.24 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.

#### Проектный расчет

Спроектировать противоточном теплообменник типа Труба в трубе для нагревания сырья с исходной температурой  $T_x = 25C$  и расходом  $G_x = 394.02 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$  до температуры  $71.0 C$  свойства сырья: теплоемкость  $c_p = 1361 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{C}}$ ,  $\lambda_x = 192 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , плотность  $\rho_x = 688 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 0.840 \text{мПа}\cdot\text{с}$ . Горячий теплоноситель имеет температуру  $T_{\Gamma} = 0C$ , теплоемкость  $c_p = 135.2 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{\Gamma} = 2032 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{C}}$ , плотность  $\rho_{\Gamma} = 197 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент вязкости  $\mu_{\Gamma} = 828.958 \text{мПа}\cdot\text{с}$ , коэффициент теплового расширения  $\beta 0.817571k^{-1}$ . В качестве материала стенки теплообенника используется металл толщиной 2 мм, теплопроводность материала стенки  $\lambda_{\text{ст}} = 564 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . Определить распределение температуры теплоносителя по длине теплообменника.