

TOMSK
POLYTECHNIC
UNIVERSITY



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Системный анализ процессов химической технологии

Лекция №6

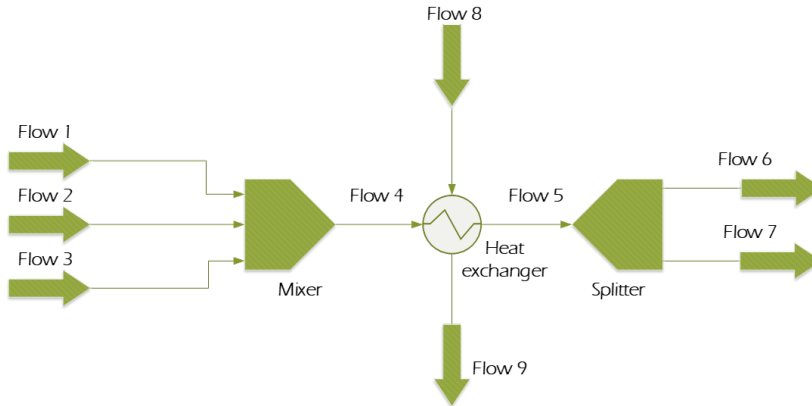
Расчет химико-технологической системы переменной структуры

Вячеслав Алексеевич Чузлов,
к.т.н., доцент ОХИ ИШПР

9 марта 2023 г.

Задача

Рассчитать химико-технологическую систему (определить составы и свойства всех потоков):



Для решения поставленной задачи будет реализована объектная модель: каждый элемент химико-технологической системы будет описан как отдельный класс.

Описание класса Flow

Атрибуты класса	Описание
mass_flow_rate: float	Массовый расход, кг / ч
mole_flow_rate: float	Мольный расход, кмоль / ч
volume_flow_rate: float	Объемный расход, м ³ / ч
mass_fractions: np.ndarray	Массовые доли
mole_fractions: np.ndarray	Мольные доли
volume_fractions: np.ndarray	Объемные доли
temperature: float	Температура потока, К
density: float	Плотность потока, г / см ³
average_mol_mass: float	Средняя молекулярная масса потока, г / моль
cp: float	Массовая теплоемкость потока, кДж / кг
<pre>def __init__(self, mass_flow_rate: float, mass_fractions: np.ndarray, temperature: float) -> None</pre>	Создает новый экземпляр класса Flow, заполняя все поля

Функции для пересчета составов

1. Пересчет массовых долей в объемные:

$$\varphi_i = \frac{\frac{\omega_i}{\rho_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{\omega_i}{\rho_i}}$$

где φ_i – объемная доля i -го компонента; ω_i – массовая доля i -го компонента; ρ_i – плотность i -го компонента; n – число компонентов в системе; i – индекс компонента в системе.

2. Пересчет массовых долей в мольные:

$$\chi_i = \frac{\frac{\omega_i}{M_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{\omega_i}{M_i}}$$

где χ_i – мольная доля i -го компонента; ω_i – массовая доля i -го компонента; M_i – молярная масса i -го компонента; n – число компонентов в системе; i – индекс компонента в системе.

Функции для расчета плотности и средней молекулярной массы

1. Расчет плотности:

$$\rho = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{\omega_i}{\rho_i}}$$

где ρ – плотность потока; ω_i – массовая доля i -го компонента; ρ_i – плотность i -го компонента; n – число компонентов в системе; i – индекс компонента в системе.

2. Расчет средней молекулярной массы потока:

$$m = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{\omega_i}{M_i}}$$

где m – средняя молекулярная масса потока; ω_i – массовая доля i -го компонента; M_i – молярная масса i -го компонента; n – число компонентов в системе; i – индекс компонента в системе.

Функции для расчета теплоемкости потока

Расчет теплоемкости потока в зависимости от состава потока и температуры среды осуществляется следующим образом:

- определяется теплоемкость компонентов потока при температуре среды:

$$C_{pi} = \sum_{j=1}^5 j \cdot k[i, j] \cdot T^{j-1}$$

где C_{pi} – теплоемкость i -го компонента, кДж / кг; $k[i, j]$ – коэффициенты аппроксимации температурной зависимости энтальпии для i -го компонента; T – температура потока, К;

- определяется общая теплоемкость потока:

$$C_p = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot C_{pi}$$

где ω_i – массовая доля i -го компонента; C_{pi} – теплоемкость i -го компонента, кДж / кг; n – число компонентов в системе.

Описание класса Mixer



Атрибуты класса	Описание
<code>def mix(self, *flows: Flow) -> Flow</code>	Реализация метода смешения потоков. Возвращает результирующий поток в виде объекта класса Flow
<code>def __calculate_temperature(self) -> float</code>	Закрытый метод, необходимый для расчета температуры смешиваемого потока

Материальный и тепловой балансы смешения

Состав смесового потока (в массовых долях) можно найти следующим образом:

$$\omega_i = \frac{\sum_{j=1}^n G_j \cdot \omega_{i,j}}{\sum_{j=1}^n G_j}$$

где ω_i – массовая доля i -го компонента; G_j – массовый расход j -го потока, кг/ч; $\omega_{i,j}$ – массовая доля i -го компонента в j -ом потоке; n – количество смешиваемых потоков.

Теплоемкость смесового потока можно найти следующим образом:

$$Cp = \frac{\sum_{i=1}^n G_i \cdot Cp_i}{\sum_{i=1}^n G_i}$$

где Cp – теплоемкость смесового потока, кДж/кг · К; G_i – массовый расход i -го потока, кг/ч; Cp_i – теплоемкость i -го потока, кДж/кг · К; n – количество смешиваемых потоков.

Материальный и тепловой балансы смешения

Температура смешевого потока определяется следующим образом:

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n G_i \cdot C_{p_i} \cdot T_i}{G \cdot C_p(T)}$$

где T – температура смешевого потока, К; G_i – массовый расход i -го потока, кг/ч; C_{p_i} – теплоемкость i -го потока, кДж/кг · К; n – количество смешиваемых потоков; G – массовый расход смешевого потока, кг/ч; $C_p(T)$ – теплоемкость смешевого потока, кДж/кг · К, являющаяся функцией от температуры.

В итоге получаем нелинейное уравнение, корнем которого является искомое значение температуры смешевого потока.

Описание класса HeatExchanger

Будем рассматривать теплообменник типа «труба в трубе».

Атрибуты класса	Описание
<pre>def __init__(self, d_in: float = .1, d_out: float = .25, length: float = 3.0, k: float = 4900) -> None</pre>	Конструктор класса HeatExchanger
<pre>def calculate(self, hot: Flow, cold: Flow, h: float = .01) -> tuple[Flow]:</pre>	Расчет теплообменного аппарата. В качестве результата возвращается объект кортежа, состоящий из двух элементов: горячего и холодного потоков (объекты класса Flow)

Описание класса HeatExchanger

В стационарном режиме уравнения теплового баланса теплообменного аппарата примут следующий вид:

$$\begin{cases} \frac{dT_h}{dl} = -\frac{k \cdot \pi \cdot d}{v_h \cdot \rho_h \cdot C_{p_h}} \cdot (T_h - T_c) \\ \frac{dT_c}{dl} = \frac{k \cdot \pi \cdot d}{v_c \cdot \rho_c \cdot C_{p_c}} \cdot (T_h - T_c) \end{cases}$$

где T_h и T_c – температуры горячего и холодного потоков, соответственно, К; k – коэффициент теплопередачи; d – диаметр трубы, м; v_h и v_c – объемные скорости горячего и холодного теплоносителей, с^{-1} ; ρ_h и ρ_c – плотности горячего и холодного потоков, кг/м^3 ; C_{p_h} и C_{p_c} – теплоемкости горячего и холодного потоков, $\text{кДж/кг} \cdot \text{К}$.

С целью упрощения выберем для решения данной системы дифференциальных уравнений метод Эйлера.

Описание класса Splitter

Атрибуты класса	Описание
<pre>def calculate(self, flow: Flow, *ratio: float) -> list[Flow]:</pre>	<p>Расчет делителя потока; возвращает в качестве результата список объектов Flow</p>

TOMSK
POLYTECHNIC
UNIVERSITY



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Контакты

Вячеслав Алексеевич Чузлов,
к.т.н., доцент ОХИ ИШПР



Учебный корпус №2, ауд. 136



chuva@tpu.ru



+7-962-782-66-15

Благодарю за внимание!