

TOMSK  
POLYTECHNIC  
UNIVERSITY



ТОМСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# Системный анализ процессов химической технологии

## Лабораторная работа №7

### Расчет химико-технологической системы переменной структуры

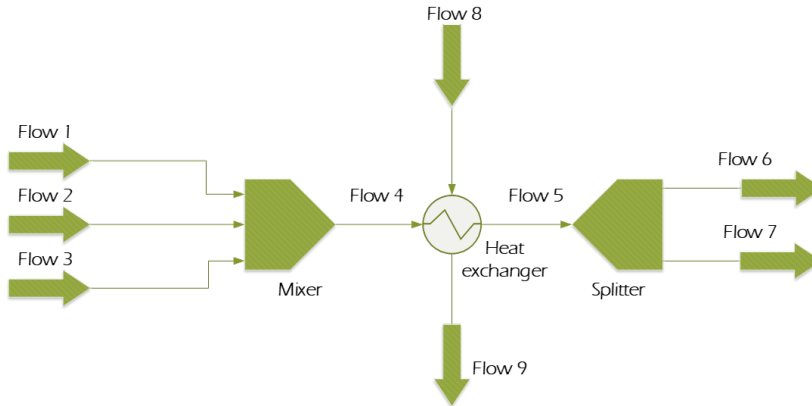
---

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 <sup>3</sup> / 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 <sup>3</sup>
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 ) -&gt; 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  $\varphi_i$  – объемная доля  $i$ -го компонента;  $\omega_i$  – массовая доля  $i$ -го компонента;  $\rho_i$  – 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  $\chi_i$  – мольная доля  $i$ -го компонента;  $\omega_i$  – 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  $\rho$  – плотность потока;  $\omega_i$  – массовая доля  $i$ -го компонента;  $\rho_i$  – 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;  $\omega_i$  – 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  $\omega_i$  – 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) -&gt; Flow</code>	Реализация метода смешения потоков. Возвращает результирующий поток в виде объекта класса Flow
<code>def __calculate_temperature(self) -&gt; 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  $\omega_i$  – 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 ) -&gt; None</pre>	Конструктор класса HeatExchanger
<pre>def calculate(     self,     hot: Flow,     cold: Flow,     h: float = .01 ) -&gt; tuple[Flow]:</pre>	Расчет теплообменного аппарата. В качестве результата возвращается объект кортежа, состоящий из двух элементов: горячего и холодного потоков (объекты класса Flow)

TOMSK  
POLYTECHNIC  
UNIVERSITY



ТОМСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# Контакты

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



Учебный корпус №2, ауд. 136



[chuva@tpu.ru](mailto:chuva@tpu.ru)



+7-962-782-66-15

**Благодарю за внимание!**