

# Системный анализ процессов химической технологии

---

Расчет химико-технологической системы  
переменной структуры

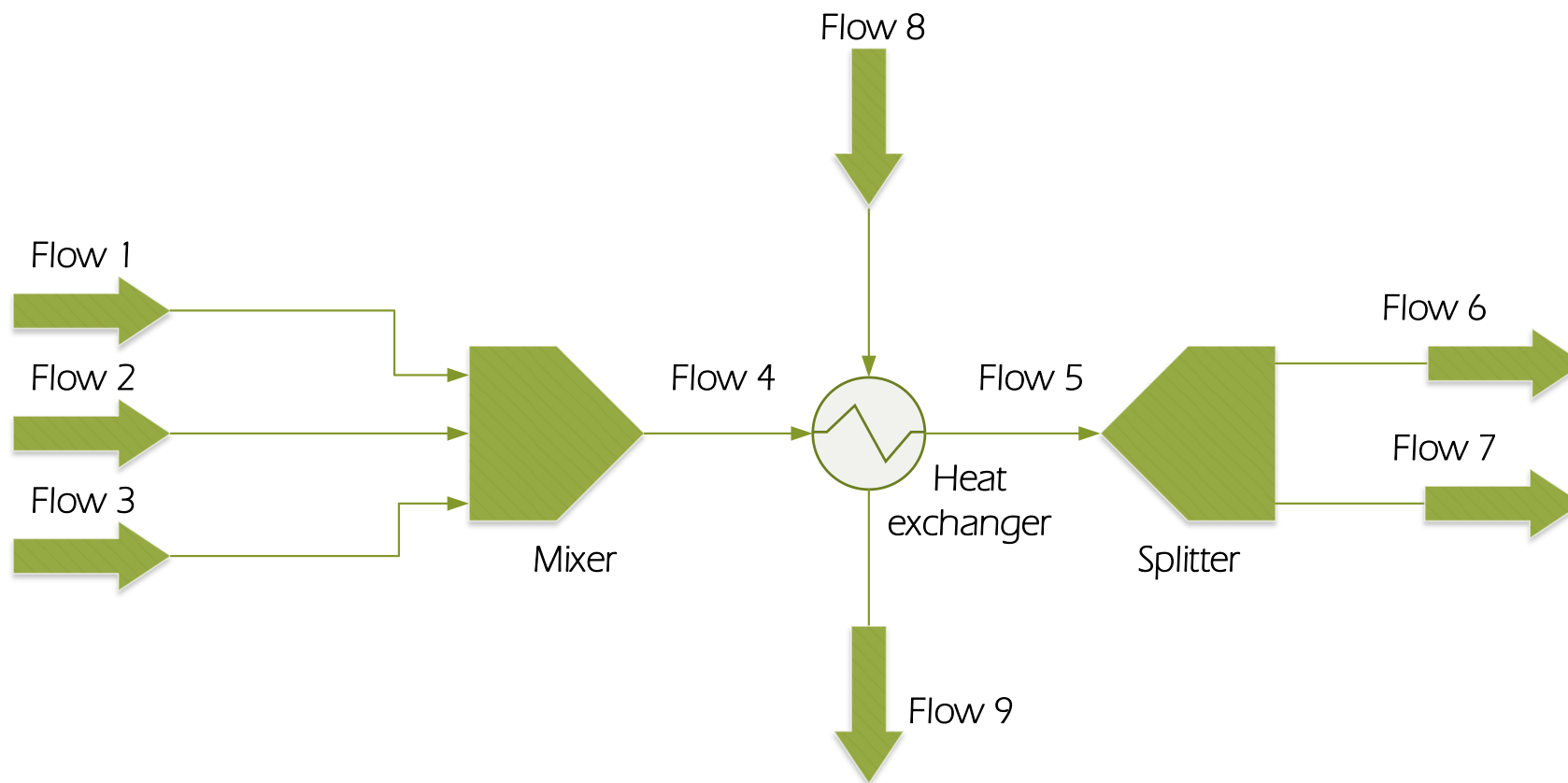


Чузов Вячеслав Алексеевич

к.т.н., доцент ОХИ ИШПР

# Задача

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



# ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ (ООП)

ООП – парадигма программирования, основанная на представлении программы в виде совокупности **объектов**, каждый из которых является экземпляром определенного **класса**, а классы образуют иерархию наследования.

**Классы и объекты** - это два основных аспекта объектно-ориентированного программирования. Класс создаёт новый тип, а объекты являются экземплярами класса.

Объекты могут хранить данные в обычных переменных, которые принадлежат объекту. Переменные, принадлежащие объекту или классу, называют **полями**. Объекты могут также обладать функционалом, т.е. иметь функции, принадлежащие классу. Такие функции принято называть **методами** класса. Всё вместе (поля и методы) принято называть **атрибутами** класса.

Поля бывают двух типов: они могут принадлежать каждому отдельному экземпляру объекта класса или всему классу. Они называются **переменными экземпляра** и **переменными класса** соответственно.

**Класс** – это способ описания сущности, определяющий состояние и поведение, зависящее от этого состояния, а также правила для взаимодействия с данной сущностью (контракт).

Пример простого класса. Класс будет отображать сущность – человека. Атрибутами будут являться имя и возраст человека. Методами класса будет «поздороваться».

```
type
  Person = class
    name: string;
    age: integer;

    constructor (name: string; age: integer);
    begin
      self.name := name;
      self.age := age;
    end;

    procedure say_hello();
    begin
      Println($"Hello, my name is {self.name}!");
    end;

  end;
```

# ОБЪЕКТЫ

**Объект (экземпляр)** – это отдельный представитель класса, имеющий конкретное состояние и поведение, полностью определяемое классом.

Объект имеет конкретные значения атрибутов и методы, работающие с этими значениями на основе правил, заданных в классе. В приведенном примере, если класс – это некоторый абстрактный человек из «мира идей», то объект – это конкретный человек, например, Ваш сосед.

```
begin
  var petr := new Person('Petr', 25);

  petr.age.Println;
  petr.name.Println;
  petr.say_hello
end.
```

```
25
Petr
Hello, my name is Petr!
```

# ПЕРЕМЕННЫЕ КЛАССА И ОБЪЕКТА

Поля можно воспринимать как обычные переменные, заключённые в **пространствах имён** классов и объектов. Их имена действительны только в контексте (пространстве имен) этих классов или объектов.

**Переменные класса разделяемы** – доступ к ним могут получать все экземпляры этого класса. Переменная класса существует только одна, поэтому когда любой из объектов изменяет переменную класса, это изменение отразится и во всех остальных экземплярах класса.

**Переменные объекта** принадлежат каждому отдельному экземпляру класса. В этом случае у каждого объекта есть своя собственная копия поля, т.е. не разделяемая с другими такими же полями в других экземплярах. Доступ к полям объекта осуществляется через переменную **self**.

# ПЕРЕМЕННЫЕ КЛАССА И ОБЪЕКТА

```
type
  Robot = class
    static population := 0;
    name: string;

    constructor(name: string);
  begin
    self.name := name;
    println($"**Инициализация {self.name}**");
    population += 1
  end;

  procedure say_hello();
  begin
    Println($"Приветствую! Мои хозяева
              называют меня {self.name}.");
  end;

  static procedure how_many();
  begin
    println($"У нас {population} роботов!");
  end;

end;
```

```
begin
  var droid1 := new Robot('R2-D2');
  droid1.say_hello;
  Robot.how_many;

  var droid2 := new Robot('C-3PO');
  droid2.say_hello;
  Robot.how_many
end.

**Инициализация R2-D2**
Приветствую! Мои хозяева называют меня R2-D2.
У нас 1 роботов!
**Инициализация C-3PO**
Приветствую! Мои хозяева называют меня C-3PO.
У нас 2 роботов!
```

# Описание класса Flow

Поля	Описание
mass_flow_rate: <code>real</code>	Массовый расход, кг / ч
mole_flow_rate: <code>real</code>	Мольный расход, кмоль / ч
volume_flow_rate: <code>real</code>	Объемный расход, м <sup>3</sup> / ч
mass_fractions: <code>array of real</code>	Массовые доли
mole_fractions: <code>array of real</code>	Мольные доли
volume_fractions: <code>array of real</code>	Объемные доли
temperature: <code>real</code>	Температура потока, К
density: <code>real</code>	Плотность потока, г / см <sup>3</sup>
molar_mass: <code>real</code>	Средняя молекулярная масса потока, г / моль
heat_capacity: <code>real</code>	Массовая теплоемкость, кДж / кг



# Описание класса Flow

Методы	Описание
<b>constructor</b> (mass_flow_rate: <i>real</i> ; mass_fractions: <b>array of</b> <i>real</i> ; temperature: <i>real</i> )	Создает новый экземпляр класса Flow, заполняя все поля.

# Функции для пересчета составов

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,  $n$  – количество компонентов.

Пересчет массовых долей в мольные:

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

где  $x_i$  - мольная доля  $i$ -го компонента;  $\omega_i$  - массовая доля  $i$ -го компонента;  $M_i$  - молярная масса  $i$ -го компонента,  $n$  – количество компонентов.

# Функции для расчета плотности и средней молекулярной массы потока

Расчет плотности потока:

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

где  $\rho$  – плотность потока;  $\omega_i$  - массовая доля  $i$ -го компонента;  $\rho_i$  - плотность  $i$ -го компонента,  $n$  – количество компонентов.

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,  $n$  – количество компонентов.

# 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:

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

где  $Cp_i$  - 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:

$$Cp_{см} = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot Cp_i$$

где  $\omega_i$  – массовая доля  $i$ -го компонента в потоке,  $n$  – количество компонентов в потоке.

# Описание класса Mixer

Атрибуты	Описание
<b>function</b> calculate(flows: <b>array of</b> Flow): Flow;	Функция для расчета смешения потоков принимает массив объектов класса Flow, возвращает объект класса Flow.

# 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-м потоке; n – количество смешиваемых потоков.

Теплоемкость смесового потока можно найти:

$$C_p = \frac{\sum_{i=1}^n G_i \cdot C_{p_i}}{\sum_{i=1}^n G_i}$$

где  $C_p$  - теплоемкость смесового потока, кДж / кг \* К;  $G_i$  - массовый расход i-го потока, кг / ч;  
 $C_{p_i}$  - теплоемкость i-го потока, кДж / кг \* К; n – количество смешиваемых потоков.

Температура смесового потока определяется следующим образом:

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

где  $T$  - температура смесового 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 смесового потока, кг / ч;  $C_p$  - теплоемкость смесового потока, кДж / кг \* К.

# Описание класса HeatExchanger

В нашем случае рассматривается теплообменник типа «труба в трубе».

Атрибуты	Описание
<code>d_in := 0.2;</code>	Диаметр внутренней трубы, м
<code>d_out := 0.5;</code>	Диаметр внешней трубы, м
<code>length := 3.0;</code>	Длина трубы, м
<code>k := 4900;</code>	Коэффициент теплопередачи
<code>function calculate(hot, cold: Flow; h: real := 0.01): sequence of Flow;</code>	Метод для расчета теплообменного аппарата. Принимает два объекта класса Flow – холодного и горячего потоков и возвращает последовательность из двух объектов класса Flow - горячего и холодного теплоносителей.

## Описание класса HeatExchanger

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

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

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,  $\text{с}^{-1}$ ;  $\rho_h$  и  $\rho_c$  - плотности горячего и холодного потоков,  $\text{кг} / \text{м}^3$ ;  $Cp_h$  и  $Cp_c$  - теплоемкости горячего и холодного потоков,  $\text{кДж} / \text{кг} \cdot \text{К}$ .

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



# Описание класса Splitter

Атрибуты	Описание
<code>ratio: array of real;</code>	Соотношение, в котором нужно разделить исходный поток.
<code>constructor(ratio: array of real);</code>	Специальный метод для создания экземпляров класса Splitter. Принимает аргумент ratio.
<code>function calculate(flow_: Flow): array of Flow;</code>	Метод класса Splitter для расчета разделения потока на несколько отдельных потоков. Принимает один параметр – объект класса Flow, который будет разделен на несколько потоков в соответствии со значениями поля ratio. Возвращает массив объектов класса Flow.




# КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ


---

**ЧУЗЛОВ ВЯЧЕСЛАВ АЛЕКСЕЕВИЧ**

к.т.н., доцент ОХИ ИШПР

 Учебный корпус №2, ауд. 136

 +7-962-782-66-15

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