



ТОМСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

к.т.н., старший преподаватель  
НОЦ им. Кижнера  
Богданов Илья Александрович

вторник, 18 февраля 2025 г.



# ПРИВЕТСТВИЕ

## Богданов Илья Александрович

*Кандидат технических наук*

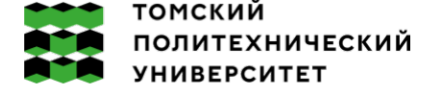
### **Старший преподаватель**

НОЦ им.Кижнера Инженерной школы новых производственных технологий

### **Ассистент**

отделение Химической инженерии Инженерной школы природных ресурсов

## Томский политехнический университет



- **Выпускник Томского политехнического университета**  
Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов  
Процессы и аппараты химической технологии  
Переводчик в сфере профессиональной коммуникации, специализация «Petroleum engineering»
- **Автор более 200 научных работ (20 WoS/Scopus, 8 Q1/Q2, 20 ВАК)**
- **Исполнитель и руководитель грантов РФ, РФФИ, гранта Президента РФ, гранта Программы повышения конкурентоспособности ведущих российских университетов; х/д с предприятиями ПАО «НК «Роснефть»**
- **Лектор программ ДПОУ с ПАО «СИБУР Холдинг», ПАО «НК «РОСНЕФТЬ», ПАО «Газпром»**
- **Координатор олимпиады «Я-профессионал» по направлению «Химическая технология», координатор Инженерной школы «ХИМПРОМ»**

# ПРОГРАММА КУРСА

Лекционные занятия – 24 час (12 пар)

Практические занятия – 16 часов (8 пар)

Лабораторные занятия – 16 часов (8 пар)

Самостоятельная работа – 80 часов (40 пар)!

## **Раздел 1. Основные закономерности процессов и общие принципы расчёта аппаратов**

Лекции	2
Практические занятия	2
Лабораторные занятия	0
Самостоятельная работа	10

## **Раздел 2. Гидромеханические процессы и аппараты**

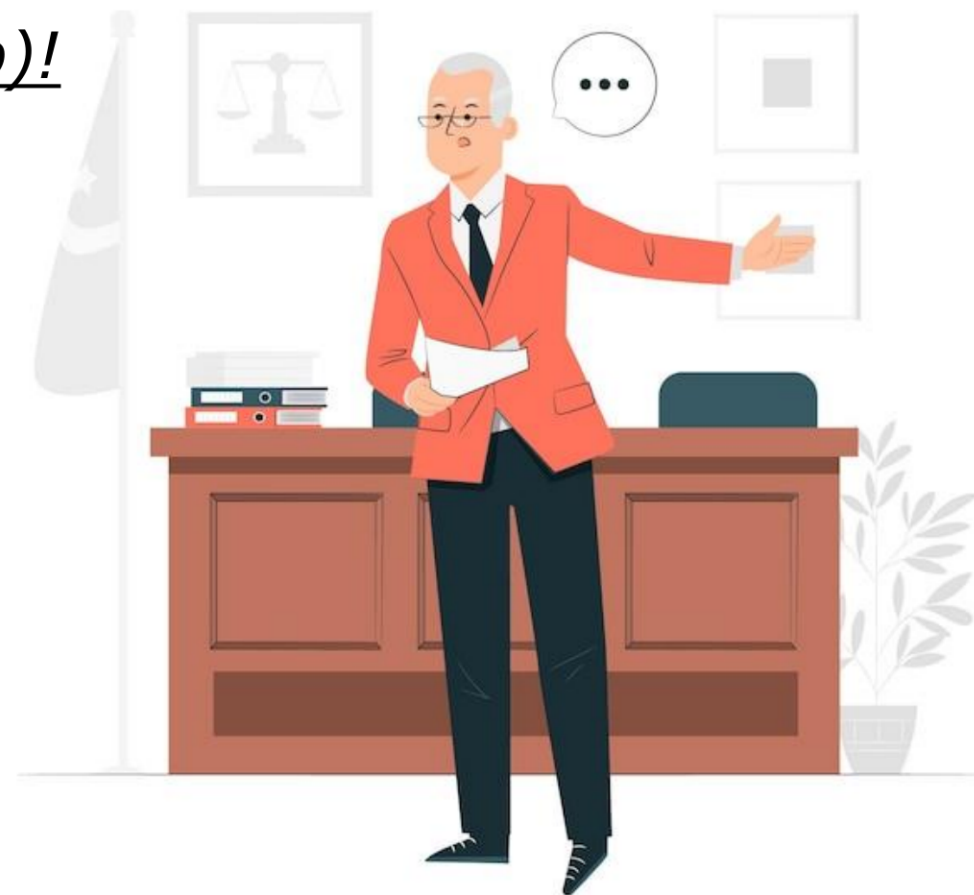
Лекции	8
Практические занятия	6
Лабораторные занятия	4
Самостоятельная работа	30

## **Раздел 3. Разделение неоднородных систем**

Лекции	4
Практические занятия	2
Лабораторные занятия	4
Самостоятельная работа	10

## **Раздел 4. Теплообменные процессы и аппараты**

Лекции	10
Практические занятия	6
Лабораторные занятия	8
Самостоятельная работа	30



# РЕЙТИНГ ПЛАН ДИСЦИПЛИНЫ

Мероприятие	Кол-во баллов	Кол-во Мероприятий	Итого
Лекция	1	12	12
Практика до ломки	2	4	8
Практика после ломки	4	4	16
Лабораторная	5	2	10
Коллоквиум	10	3	30
Зачет	20	1	20
ИДЗ	4	1	4
<b>Итого</b>			<b>100</b>

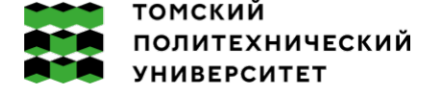


Пересдач не будет!  
 Работать активно нужно в семестре!  
 Выучить ПАХТ за ночь не получится!  
 Диф.зачет влияет на стипендию!

Итоговая оценка	Традиционная оценка	Литерная оценка
96 - 100	Отлично	A
90 - 95		B
80 - 89	Хорошо	C
70 - 79		D
65 - 69	Удовлетворительно	E
55 - 64		F
55 - 100	Зачтено	P
0 - 54	Неудовлетворительно/не зачтено	F

# ХИМИЧЕСКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ РОССИИ

Химическая промышленность России — отрасль российской промышленности, объединяет более 1000 предприятий.



Крупнейшие направления химического комплекса — производство полимеров и выпуск минеральных удобрений.



Главный экспортный товар РФ – нефть и нефтепродукты

**СИБУР**



**ЕВРОХИМ**



**РОСНЕФТЬ**

Компании лидеры в химической отрасли

# ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ (ПАХТ)

Производство широчайшего ассортимента продуктов производимых химической промышленностью осуществляется с помощью ряда однотипных физических и физико-химических процессов. Эти процессы в различных производствах проводятся в аналогичных по устройству и принципу действия аппаратах и машинах.



**Процессы и аппараты, общие для различных химических технологий называют основными**

# КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ И АППАРАТОВ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Классификация основных процессов химической технологии может быть проведена на основании различных признаков

## По законам, определяющим скорость процесса:

- Гидромеханические
- Тепловые
- Массообменные (диффузионные)
- Химические (реакционные)
- Механические

## По способу организации:

- Периодические
- Непрерывные

## По изменению параметров во времени:

- Установившееся (стационарные)
- Неустановившееся (нестационарные)



# КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ И АППАРАТОВ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

**Гидромеханические процессы** – процессы, скорость которых определяется законами гидродинамики.

**К гидромеханическим процессам относятся:**

- перемещение жидкостей
- сжатие и перемещение газов
- разделение неоднородных газовых и жидких систем в поле сил тяжести (отстаивание)
- разделение неоднородных газовых и жидких систем в поле центробежных сил (центрифугирование)
- разделение неоднородных газовых и жидких систем под действием разности давлений при движении через пористый слой (фильтрация)
- перемешивание жидкостей





# КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ И АППАРАТОВ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

**Тепловые процессы** – процессы, скорость которых определяется законами теплообмена.

К тепловым процессам относятся:

- нагревание
- охлаждение
- испарение
- конденсация



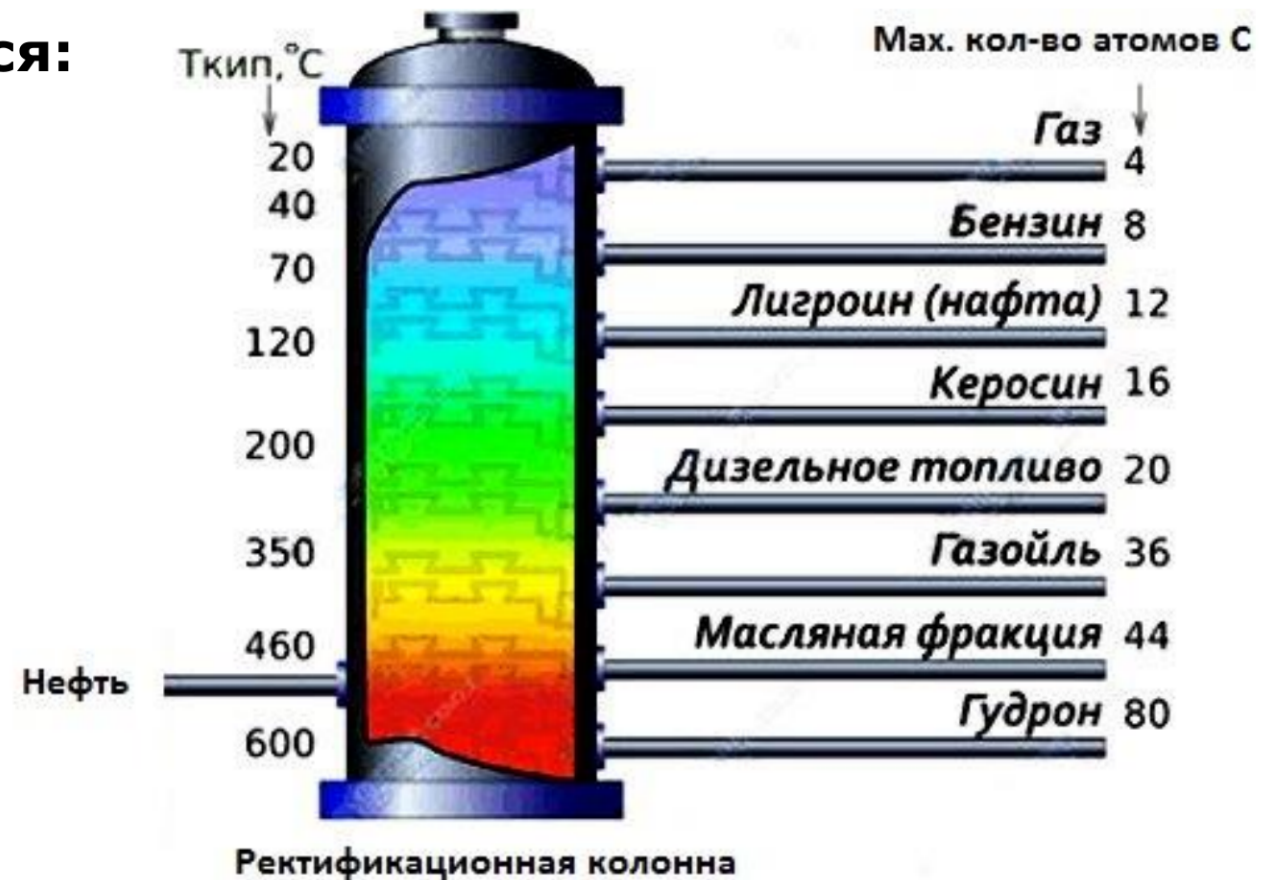
К тепловым процессам могут быть отнесены процессы охлаждения (до температур ниже температуры окружающей среды). Однако в силу многих специфических особенностей эти процессы обычно выделяют в отдельную группу **ХОЛОДИЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ**.

# КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ И АППАРАТОВ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

**Массообменные процессы** – процессы, скорость которых определяется интенсивностью переноса вещества (компонента системы) из фазы в фазу, то есть законами массопередачи.

**К массообменным процессам относятся:**

- абсорбция
- перегонка (ректификация)
- адсорбция
- сушка
- экстракция
- кристаллизация
- растворение
- мембранное разделение

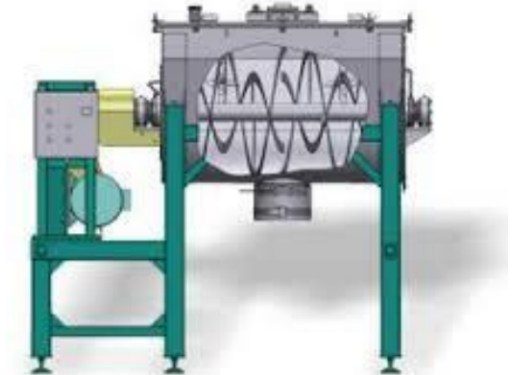


# КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ И АППАРАТОВ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

**Механические процессы** – описываются законами механики твердых тел. Эти процессы применяются в основном для подготовки исходных твердых материалов и обработки конечных твердых продуктов, а также для транспортировки кусковых и сыпучих продуктов.

К механическим процессам относятся:

- дробление  
(измельчение)
- транспортировка
- сортировка
- смешение



# КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ И АППАРАТОВ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

**Химические процессы** – протекают со скоростью определяемой законами химической кинетики, для этих процессов характерны химические превращения веществ.

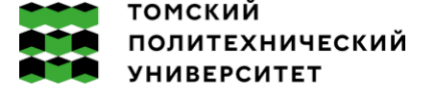
Однако химическим реакциям обычно сопутствует перенос массы и энергии, и соответственно скорость химических процессов (особенно промышленных) зависит также от гидродинамических условий. Вследствие этого скорость реакций подчиняется законам макрокинетики.



\*Иными словами химические процессы являются наиболее сложными из процессов химической технологии поскольку происходят на стыке нескольких типов процессов. Поэтому как правило общие закономерности протекания химических процессов и принципы устройства реакторов рассматриваются в специальной литературе и изучаются отдельным курсом.

# ДВИЖУЩАЯ СИЛА ПРОЦЕССОВ

Для всех перечисленных ранее процессов характерно то, что при их протекании происходит перенос субстанции: массы (вещества) или энергии.



В дифференциальном виде основное кинетическое уравнение записывается следующим образом:

$$I = \frac{dM}{Ad\tau} = \frac{\Delta}{R} = K\Delta$$

Обобщая, можно сформулировать общий кинетический закон: **скорость (интенсивность) процесса прямо пропорциональна движущей силе этого процесса  $\Delta$  и обратно пропорциональна сопротивлению  $R$ .**

Интенсивность процесса  $I$  определяется как результат процесса  $M$  (количество переданной субстанции: масса перенесенного вещества или количество переданной энергии), отнесенный к промежутку времени  $\tau$  и некоторой характерной величине  $A$  (поверхности, объему) объекта, в котором протекает процесс. Величину, обратную сопротивлению  $R$ , называют коэффициентом скорости  $K$ .

# ДВИЖУЩАЯ СИЛА ПРОЦЕССОВ

В качестве примеров рассмотрим частные случаи основного кинетического уравнения:



Для потока жидкости уравнение принимает вид

$$I = \frac{dV}{fd\tau} = \frac{\Delta P}{R_1}$$

где  $V$  – объем протекающей жидкости,  $\text{м}^3$

$f$  – площадь поперечного сечения потока,  $\text{м}^2$

$\Delta P$  – перепад давления, Па

$R_1$  – гидравлическое сопротивление

Для переноса тепла уравнение принимает вид

$$I = \frac{dQ}{Fd\tau} = \frac{\Delta t}{R_2} = K_2 \Delta t$$

где  $Q$  – количество переданного тепла, Дж

$F$  – поверхность теплообмена,  $\text{м}^2$

$R_2$  – термическое сопротивление,  $(\text{м}^2 \cdot \text{град}) / \text{Вт}$

$\Delta t$  – разность температур, град

$K_2$  – коэффициент теплопередачи

Для переноса вещества (массообмена) уравнение принимает вид

$$I = \frac{dM}{Fd\tau} = \frac{\Delta c}{R_3} = K_3 \Delta c$$

где  $M$  – количество вещества, перенесенного из фазы в фазу

$F$  – поверхность контакта фаз,  $\text{м}^2$

$R_3$  – диффузионное сопротивление

$\Delta c$  – разность концентраций переносимого вещества

$K_3$  – коэффициент массопередачи

# ДВИЖУЩАЯ СИЛА ПРОЦЕССОВ

Процесс	Движущая сила	Сопротивление
Гидромеханический	Разность давлений	Гидравлическое
Тепловой	Разность температур	Термическое
Массообменный	Разность концентраций	Диффузионное

Движущая сила процесса в общем случае выражается разностью рабочего характерного параметра системы, определяющего возможность протекания процесса, и значения этого параметра в условиях равновесия.

*Например, для переноса вещества (массообмена) это разность рабочей концентрации компонента и его концентрации при установлении равновесия.*