

# ГАЗИФИКАЦИЯ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ

## Лекция 5. Газификатор как химический реактор.

Лектор:

Доцент НОЦ И.Н. Бутакова

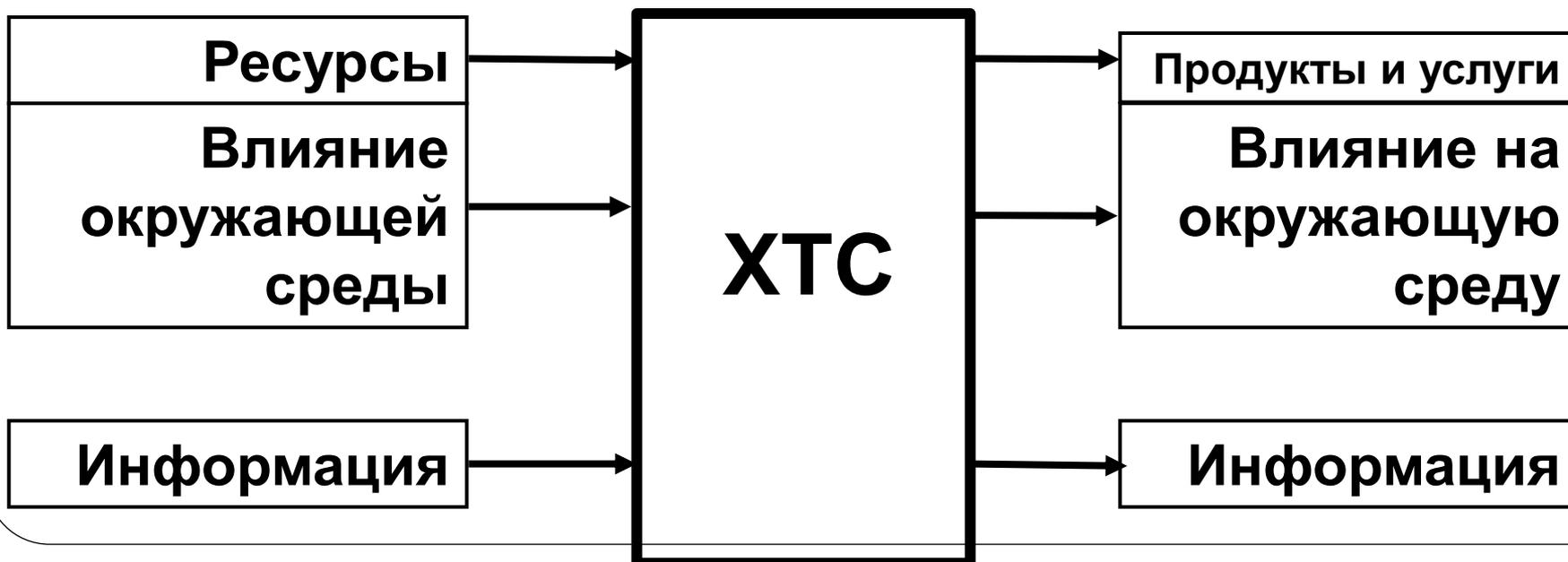
Слюсарский Константин Витальевич

# Вопросы на остаточные знания

- Какие виды теплообменников вы знаете?
- Гетерогенные реакции какого вещества являются основными для процесс газификации?
- Что такое вытеснение?
- Что такое смешение?

# Газификатор как химический реактор

- Химическим реактором называется аппарат, в котором осуществляются химические процессы, сочетающие химические реакции с массо- и теплопереносом. Газификатор, в общем смысле, является химическим реактором, в котором протекают последовательно-параллельные химические реакции взаимодействия твердого топлива с окислительно-восстановительной средой.



# Классификация химических реакторов

## 1. По организации процесса реакторы делятся на:

- **реакторы периодического действия.** Характеризуются единовременной загрузкой реагентов. При этом процесс складывается из трех стадий: загрузки сырья, его обработки (химическое превращение) и выгрузки готового продукта. После проведения этих стадий они повторяются вновь, т. е. работа реактора осуществляется циклически.
- **реакторы непрерывного действия** (их иногда называют проточными реакторами). Питание реагентами и отвод продуктов реакции осуществляется непрерывно.
- **полунепрерывные реакторы.** В полунепрерывных реакторах одна из вспомогательных операций – загрузка реагентов или выгрузка продуктов реакции – осуществляется периодически, а вторая – непрерывно.

# Классификация химических реакторов

## 2. По тепловому режиму реакторы делятся на:

- **реакторы с адиабатическим режимом**, в котором отсутствует теплообмен с окружающей средой и тепловой эффект химической реакции полностью затрачивается на изменение температуры в реакторе;
- **реакторы с изотермическим режимом**, для которых характерно постоянство температуры в реакторе, что обеспечивается подводом или отводом тепла из реактора;
- **реакторы с политропическим режимом**. Характеризуются подводом или отводом тепла из реактора при изменяющейся температуре в нем. За счет этого в реакторе устанавливается заданный тепловой режим. Данный тип реактора является наиболее распространенным.

# Классификация химических реакторов

## 3. По режиму движения компонентов реакторы делятся на:

- **реакторы идеального вытеснения (РИВ)** – реакторы, в которых осуществляется ламинарный гидродинамический режим. В таких реакторах, поток реагентов движется в одном направлении по длине реактора без перемешивания. Идеальное вытеснение предполагает равенство по сечению реактора скоростей потока. Перемещение реакционной массы по длине реактора носит строго поршнеобразный характер. В то же время по длине реактора в соответствии с закономерностями протекания реакции устанавливается определённое распределение концентраций участников реакции, температуры и других параметров.
- **реакторы реального вытеснения (РРВ)** – трубчатые аппараты, достаточно большой длины по сравнению с диаметром. В таких аппаратах течение реакционного потока имеет поршнеобразный характер. Перемешивание в таких реакторах имеет локальный характер и вызывается неравномерностью распределения скорости потока и его флуктуациями, а также завихрениями.

# Классификация химических реакторов

## 3. По режиму движения компонентов реакторы делятся на:

- **реакторы идеального смешения (РИС)** — реакторы, в которых осуществляется турбулентный гидродинамический режим. В них потоки реагентов смешиваются друг с другом и с продуктами химического превращения. Для идеального смешения характерно абсолютно полное выравнивание всех характеризующих реакцию параметров по объёму реактора.
- **реакторы реального смешения (РРС)** — это емкостные аппараты с перемешиванием механической мешалкой или циркуляционным насосом. Иногда в качестве способа перемешивания используется барботаж газообразного реагента через слой жидкой реакционной массы.

# Основные требования к промышленным реакторным системам

- **Максимальная производительность** и интенсивность работы (высокая температура в области реакции, высокая теплонапряженность реакционного объема);
- **Высокий выход продукта** и наибольшая селективность процесса (полнота конверсии топлива – минимизация недожега). Обеспечиваются оптимальным режимом работы реактора: температурой, давлением, концентрацией исходных веществ и продуктов реакции.
- **Минимальные энергетические затраты** на перемешивание и транспортировку материалов через реактор, а также наилучшее использование теплоты экзотермических реакций или теплоты, подводимой в реактор для нагрева реагирующих веществ до оптимальных температур (оптимальная схема установки для максимальной рекуперации теплоты и компонент).

# Основные требования к промышленным реакторным системам

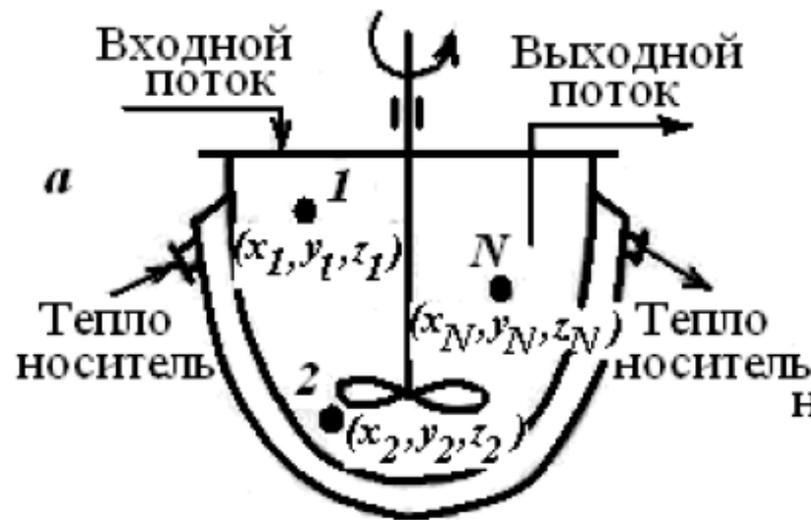
- **Легкая управляемость и безопасность работы.** Эти условия обеспечиваются рациональной конструкцией реактора и малыми колебаниями параметров технологического режима. Позволяющими легко автоматизировать работу реактора.
- **Низкая стоимость изготовления и обслуживания.** Достигается простотой конструкции и применением доступных материалов: черных металлов, силикатных изделий, наиболее дешевых пластмасс.
- **Устойчивость работы** реактора при значительных изменениях основных параметров режима ( $C$ ,  $T$ ,  $P$ ,  $\omega$ ).

# Реакторы периодического действия

- Периодические химические процессы по своей природе всегда являются нестационарными (неустановившимися), так как в ходе химической реакции изменяются параметры процесса во времени (например, концентрация веществ, участвующих в реакции, т. е. происходит накопление продуктов реакции).
- Периодический режим работы газификатора приводит к значительной сложности его интегрирования в промышленные процессы. На практике данные реакторы используются в ограниченном ряде установок и оборудования. В промышленности же они обычно применяются в малотоннажных производствах и для переработки относительно дорогостоящих химических продуктов. Большинство промышленных процессов реализуется с использованием реакторов непрерывного действия.

# Реакторы периодического действия

- Для описания закономерностей процессов химического реагирования используют либо равновесные концентрации компонент в ходе изобарно-изотермических реакций (термодинамический расчет), либо определение состава продуктов времени (кинетический расчет). Реакторы периодического действия могут быть только реакторами смешения.



## Математическое описание реактора идеального смешения периодического действия

- Реактор идеального смешения характеризуется равномерностью распределения концентраций компонент по пространству, т.е.:

$$c_i(x_1, y_1, z_1) = c_i(x_2, y_2, z_2) = \dots = \text{const}$$

$$\frac{\partial c_i}{\partial x} = \frac{\partial c_i}{\partial y} = \frac{\partial c_i}{\partial z} = 0$$

- Уравнение химического реагирования примет вид:

$$w_j = \frac{dc_j}{d\tau} \quad \longrightarrow \quad \tau = - \int_{c_{j,0}}^{c_{j,x}} \frac{dc_j}{w_j}$$

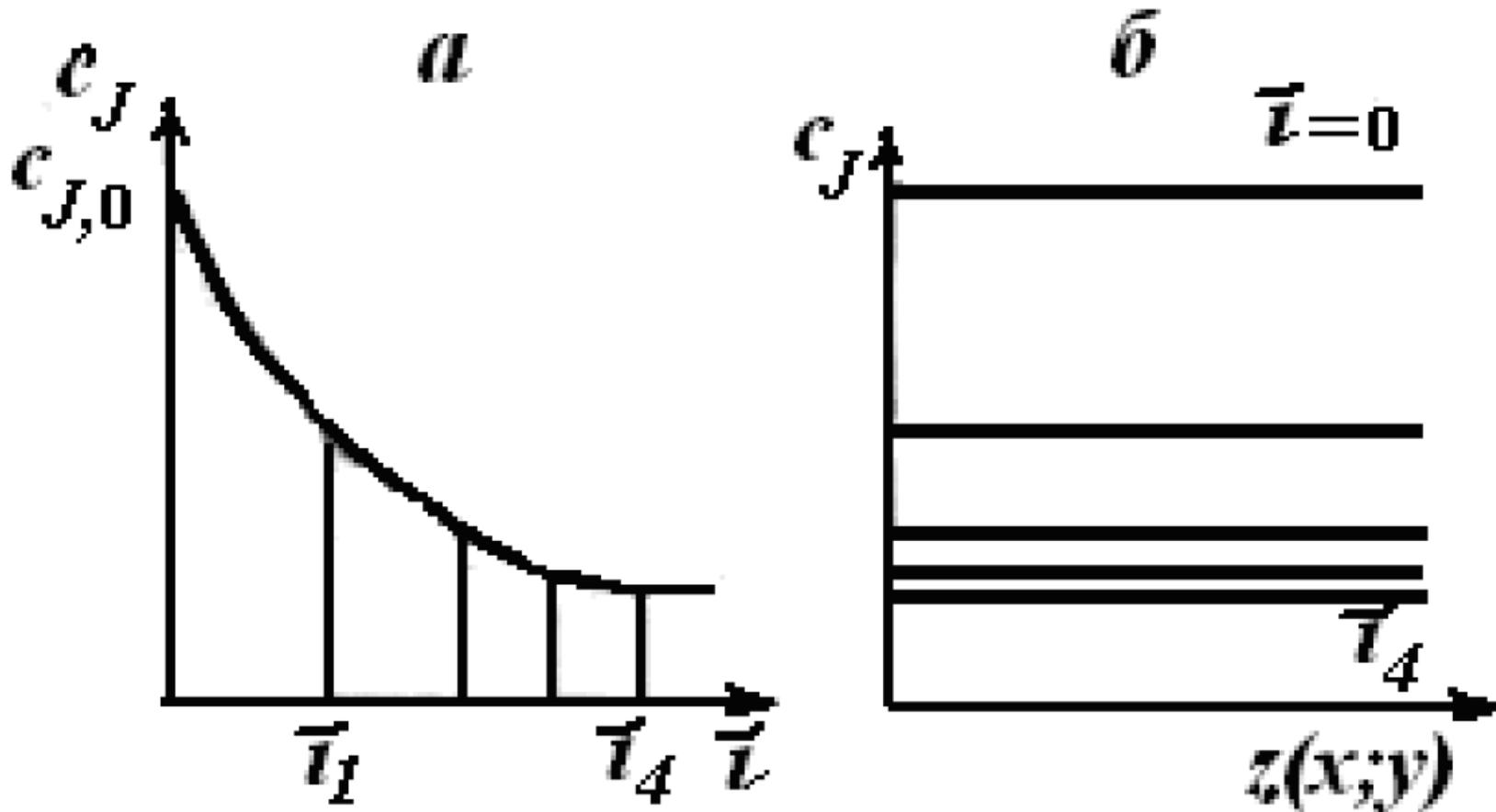
$$c_{j,x} = c_{j,0} (1 - x_j)$$

$$dc_j = -c_{j,0} \cdot dx_j$$

$$\tau = c_{j,0} \int_0^{x_j} \frac{dx_j}{w_j(x_j)}$$

# Математическое описание реактора идеального смешения периодического действия

- Изменение концентрации компонент по времени (а) и объему реакционного пространства (б) в РИС-П.



## Математическое описание реактора идеального смешения периодического действия

- РИС-П позволяет производить расчет ряда изолированных термохимических систем: камер коксования угля, элементарных объемов реакционного пространства камер реакторов различных видов и др.
- Применительно к процессам газификации, закономерности расчета РИС-П могут применяться к описанию газификаторов периодического действия, пиролизеров, элементарного объема проточных газификаторов.
- Поскольку углерод топлива является ключевым компонентом процесса газификации, в случае расчета систем газификации, приведенные ранее уравнения записываются применительно к ним.

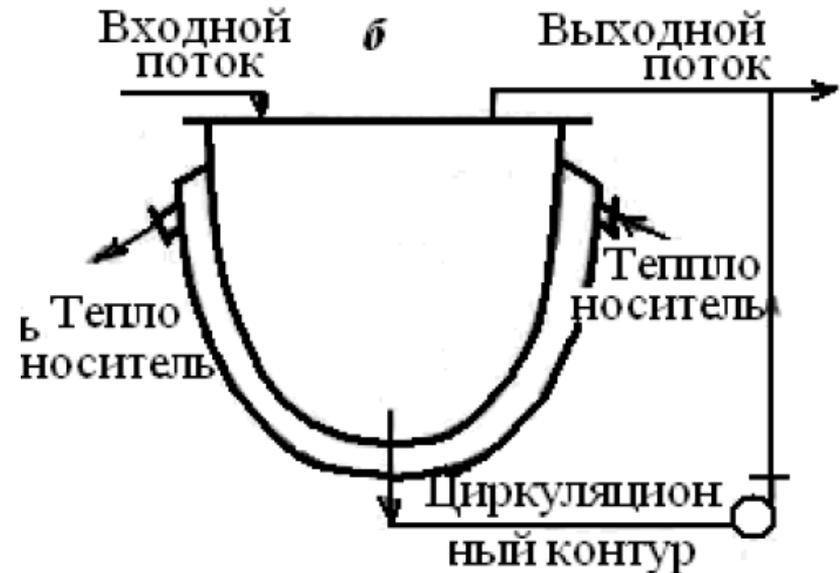
# Проточный реактор идеального смешения

- Главное отличие РИС-П от проточного реактора идеального смешения (ПРИС) заключается в постоянной подаче исходного вещества и постоянном его отводе. При работе в стационарном режиме (количество поступающего вещества равно количеству выносимого), основное уравнение ПРИС можно записать как:

$$\tau(c_{j,0} - c_{j,x}) = w_j$$

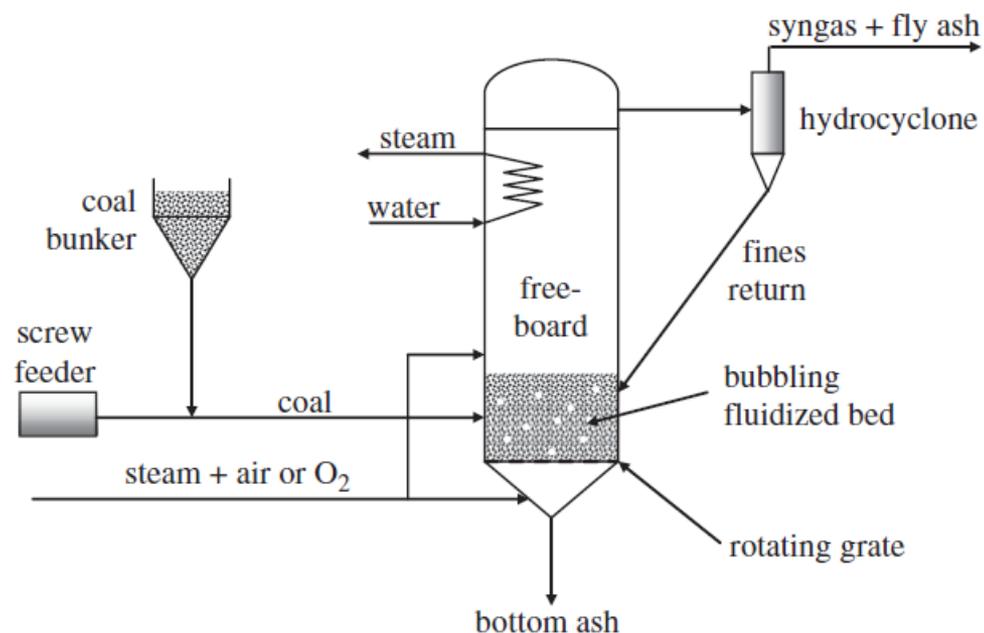
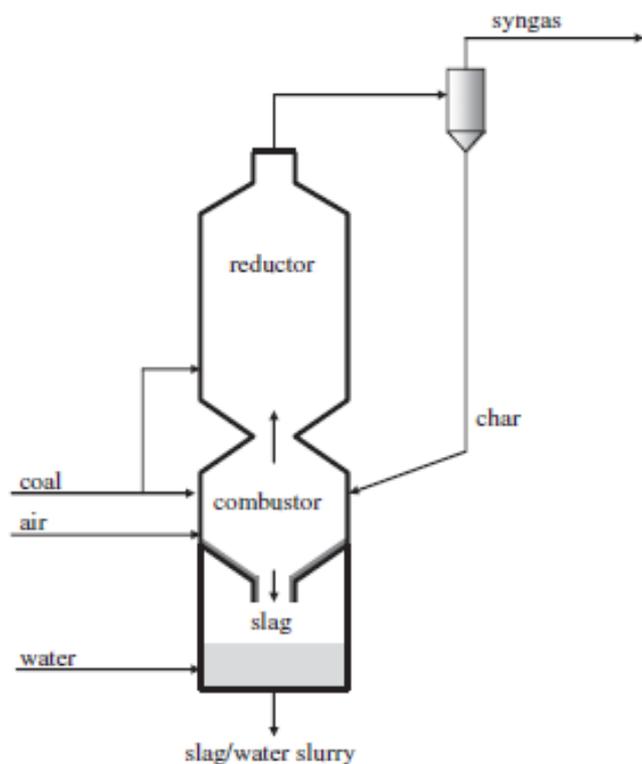
$$\frac{v}{V}(c_{j,0} - c_{j,x}) = w_j$$

$$\tau = \frac{v}{V} = \frac{c_{j,0} \cdot x_j}{w_j}$$



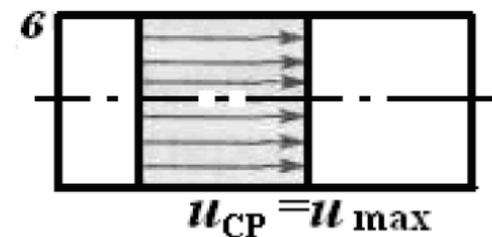
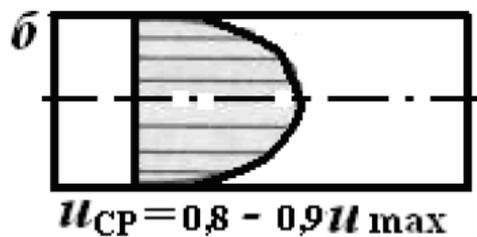
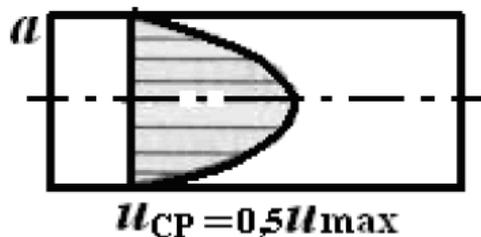
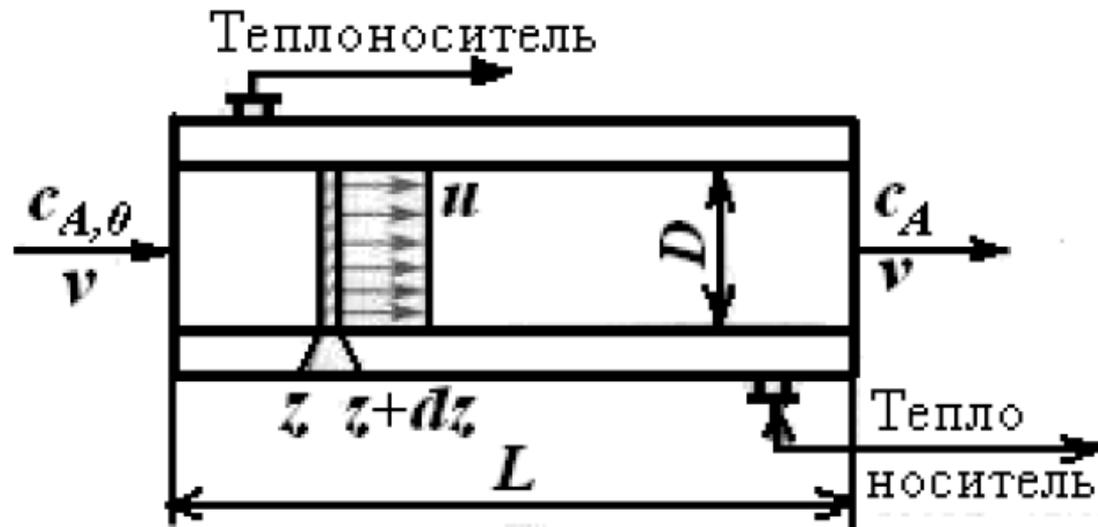
# Проточный реактор идеального смешения

- Закономерности химического реагирования в ПРИС применяются для описания процессов в установках кипящего слоя, а также в элементах смешения газификаторов другого типа.



# Реактор идеального вытеснения

- Для описания закономерностей химического превращения в элементарном объеме могут использоваться уравнения РИС-П. Однако возникает необходимость определения распределения концентраций по длине реактора.



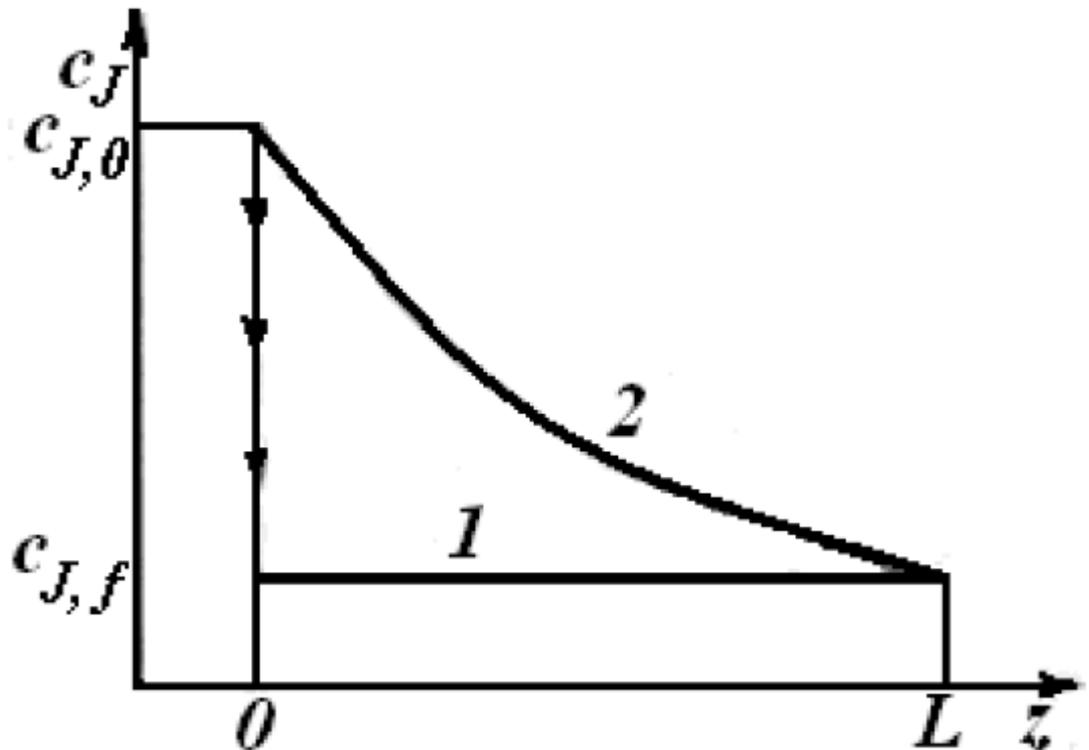
# Реактор идеального вытеснения

- Основное уравнение для РИВ в стационарном режиме может быть представлено в следующем виде:

$$-u_z \frac{\partial c_j}{\partial z} = w_j$$

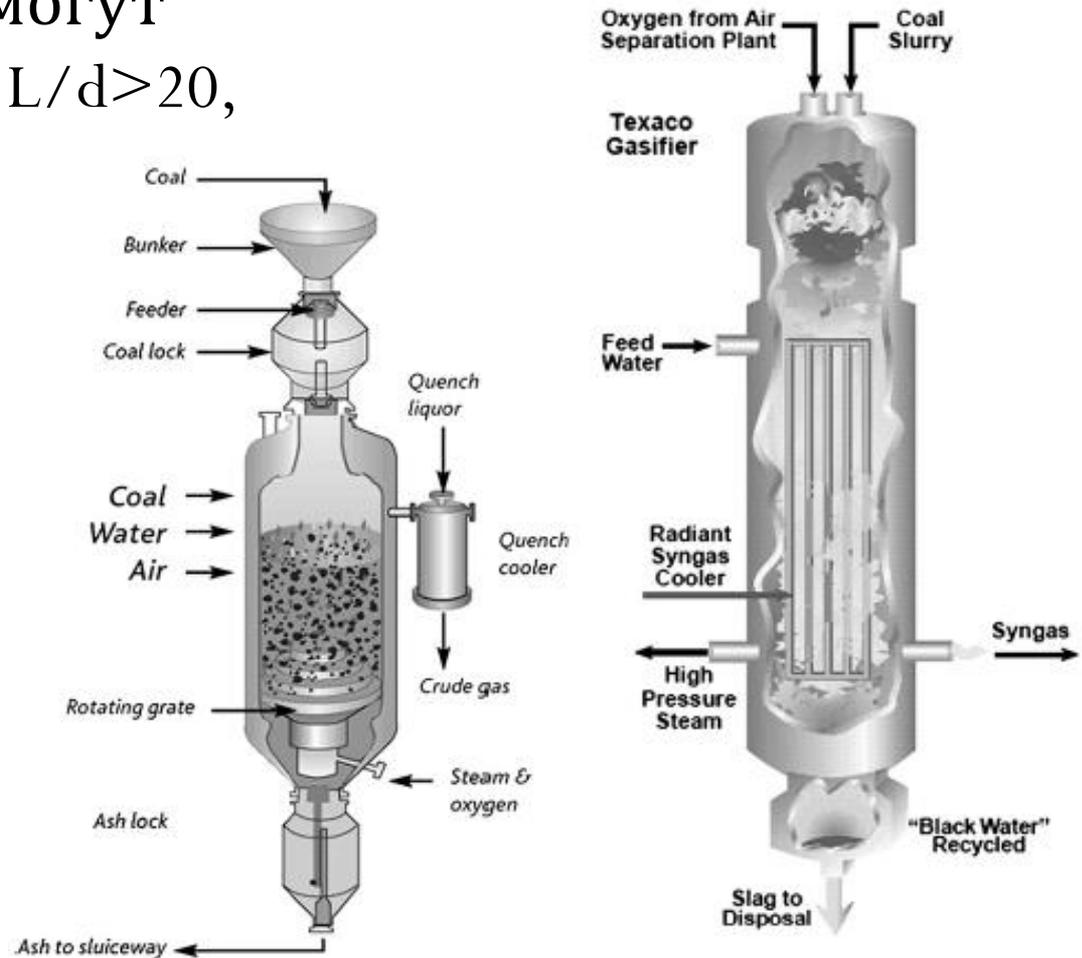
- В таком случае может быть определена необходимая скорость движения вещества для достижения необходимой степени конверсии с учетом уравнения времени пребывания в РИС-П:

$$u_z = \frac{l}{\tau} = \frac{L}{c_{j,0}} \int_0^{x_j} \frac{dx_j}{w_j(x_j)}$$



# Реактор идеального вытеснения

- Закономерности РИВ широко используются для расчета газификаторов различного типа, как слоевых, так и прямоточных. Следует отметить, что закономерности РИВ могут применяться в случае  $L/d > 20$ , что не выполняется в случае большинства газогенераторных установок. Поэтому все полученные уравнения должны быть адаптированы для реальных установок.



# Общие положения расчета газификатора

- Действительные газификаторы не могут описываться только с помощью идеализаций РИС и РИВ.
- Обычно, слоевые и поточные газогенераторы рассчитываются для каждого поперечного сечения по высоте в приближении РИВ, а газификаторы кипящего слоя – в приближении ПРИС.
- Поскольку основные уравнения скорости химической реакции имеют нелинейный характер, для их решения в составе моделей, а также учет тепловых эффектов реакции и теплопотерь, используются численные методы.
- Для газификаторов плотного и кипящего слоя часто кинетическое уравнение записывается только применительно к гетерогенным реакциям окисления углерода, а состав газофазной фазы определяется в равновесном приближении. Для прямоточных газификаторов кинетика газофазных реакций также должна учитываться.

Спасибо за  
внимание!