

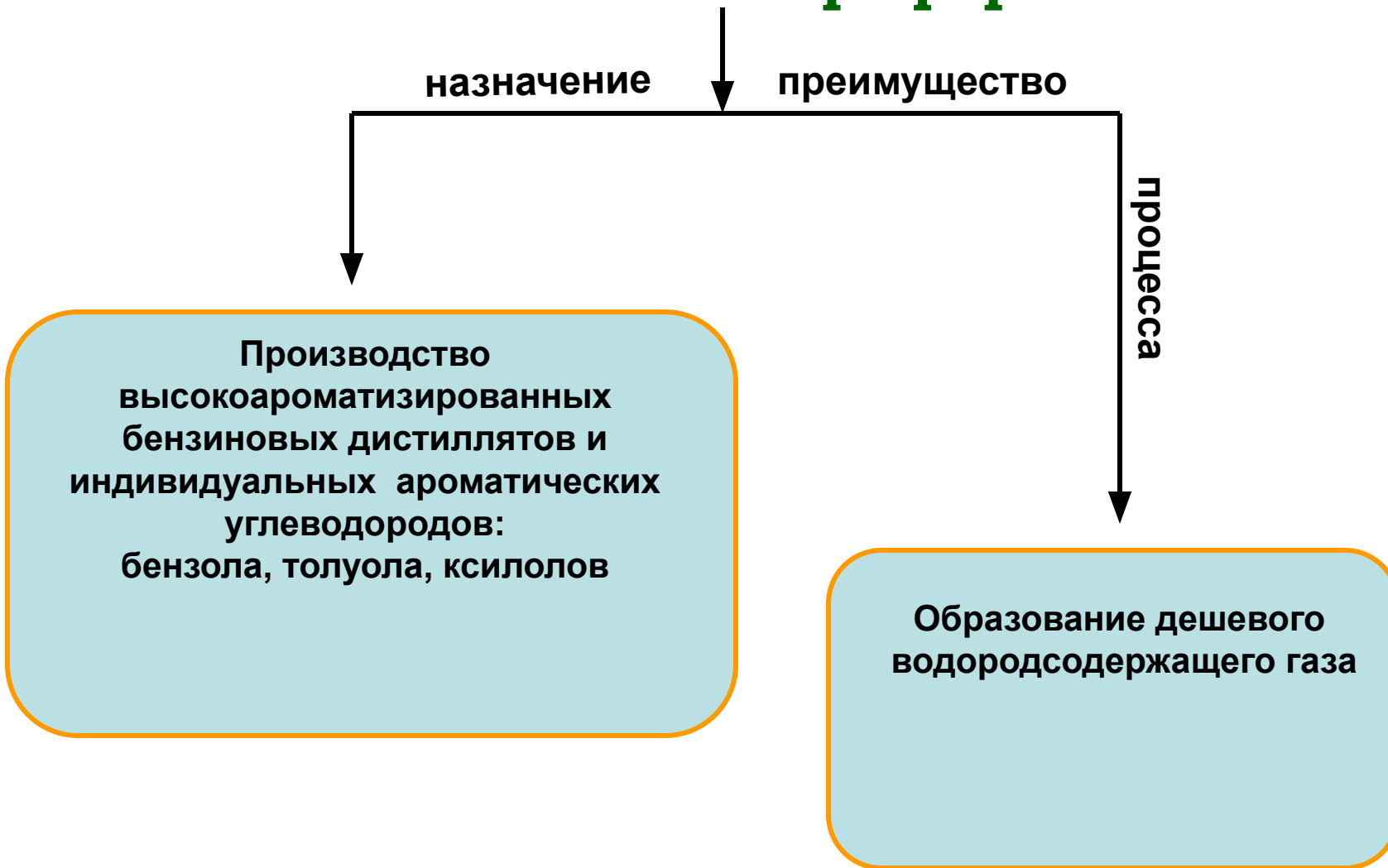
# Лекция 9

## Каталитический реформинг

# Содержание лекции

1. *Назначение процесса каталитического риформинга.*
2. *Химизм и термодинамика процесса.*
3. *Катализаторы риформинга.*
4. *Основные факторы процесса.*
5. *Классификация установок риформинга*
6. *Схема установки риформинга со стационарным слоем катализатора*
7. *Схема установки риформинга с движущимся слоем катализатора (CCR)*
8. *Основные показатели риформинга*  
*Материальный баланс*
9. *Установка экстракции аренов из катализата риформинга*

# 1. Назначение процесса каталитического риформинга.

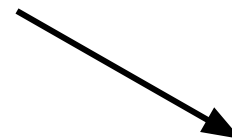


## 2. Химизм и термодинамика процесса

Целевые реакции, приводящие к образованию ароматических углеводородов



Дегидрирование и изомеризация нафтеновых углеводородов



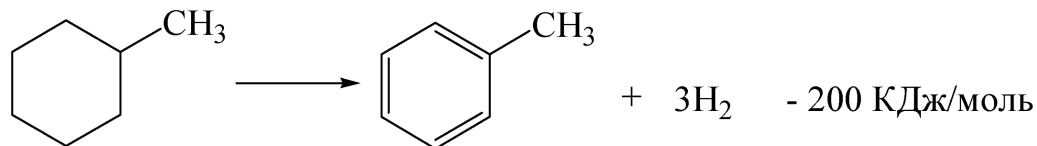
Дегидроциклизация и изомеризация парафиновых углеводородов

**Изменение группового химического состава бензинового сырья при риформинге (% об.)**

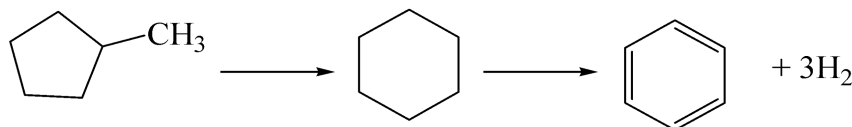
Углеводороды	Сырье	Продукты
Парафиновые	50	35
Нафтеновые	40	10
Ароматические	10	55

# Основные реакции риформинга

- 1. Дегидрирование шестичленных циклоалканов



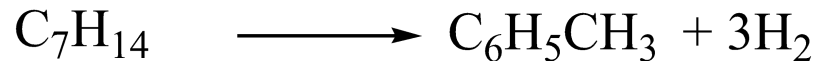
- 2. Дегидроизомеризация пятичленных циклоалканов



- 3. Дегидроциклизация алканов



- 4. циклодегидрирование алкенов



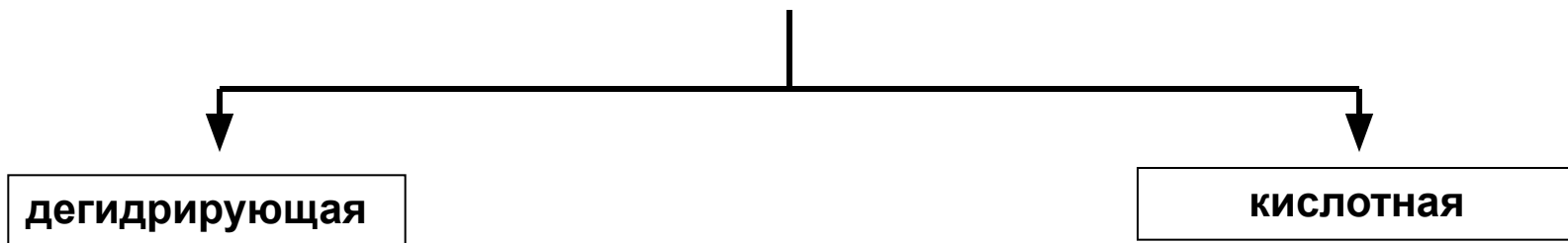
# Тепловой эффект риформинга

- Наиболее важные реакции риформинга, ведущие к образованию ароматических углеводородов из нафтенов и парафинов, идут с поглощением **тепла**.

Отрицательный тепловой эффект составляет **250-630** кДж/кг.

### 3. Катализаторы риформинга

Катализаторы применяемые в процессе риформинга – бифункциональные, то есть обладающие двумя основными функциями:



Наибольшими дегидрирующими свойствами обладает платина. Содержание платины в катализаторе обычно составляет **0,3-0,6% мас.**

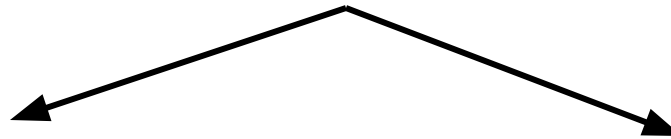
**Оксид алюминия** обладает кислотными свойствами, которые определяют его высокие крекирующие и изомеризирующие свойства. Для усиления кислотной функции катализатора в его состав вводят **галогены**, чаще всего **хлор**.

# Биметаллические катализаторы

Основные компании – производители катализаторов – UOP (США), AXENS (Франция), Criterion (США), Промкатализ (Россия), Роснефть-Ангарск (Россия)

- Для повышения активности селективности и стабильности катализаторов вводят специальные элементы – **промоторы**.
- К биметаллическим катализаторам относятся **платино-ренийевые** и **платино-иридиевые**, содержащие 0,3-0,4% мас. платины и примерно столько же Re и Ir.  
Роль Re и Ir – стабилизация высокой дисперсности платины

Условия успешной эксплуатации катализатора риформинга:

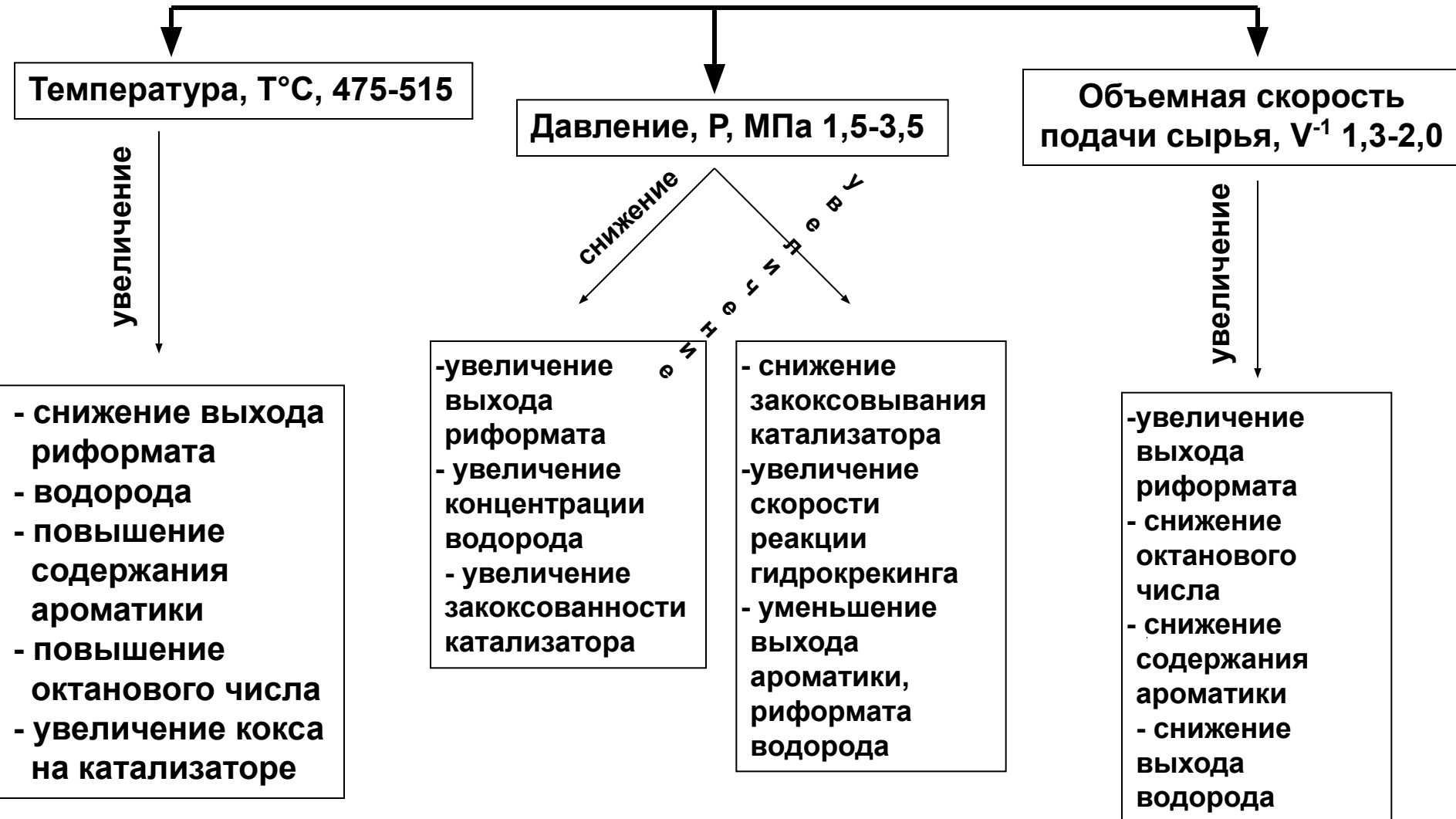


содержание серы в сырье риформинга не должно превышать  $1 \div 10^{-4}$  % мас.

содержание влаги в циркулирующем газе не должно превышать  $2 \div 3^{-3}$  % мольных

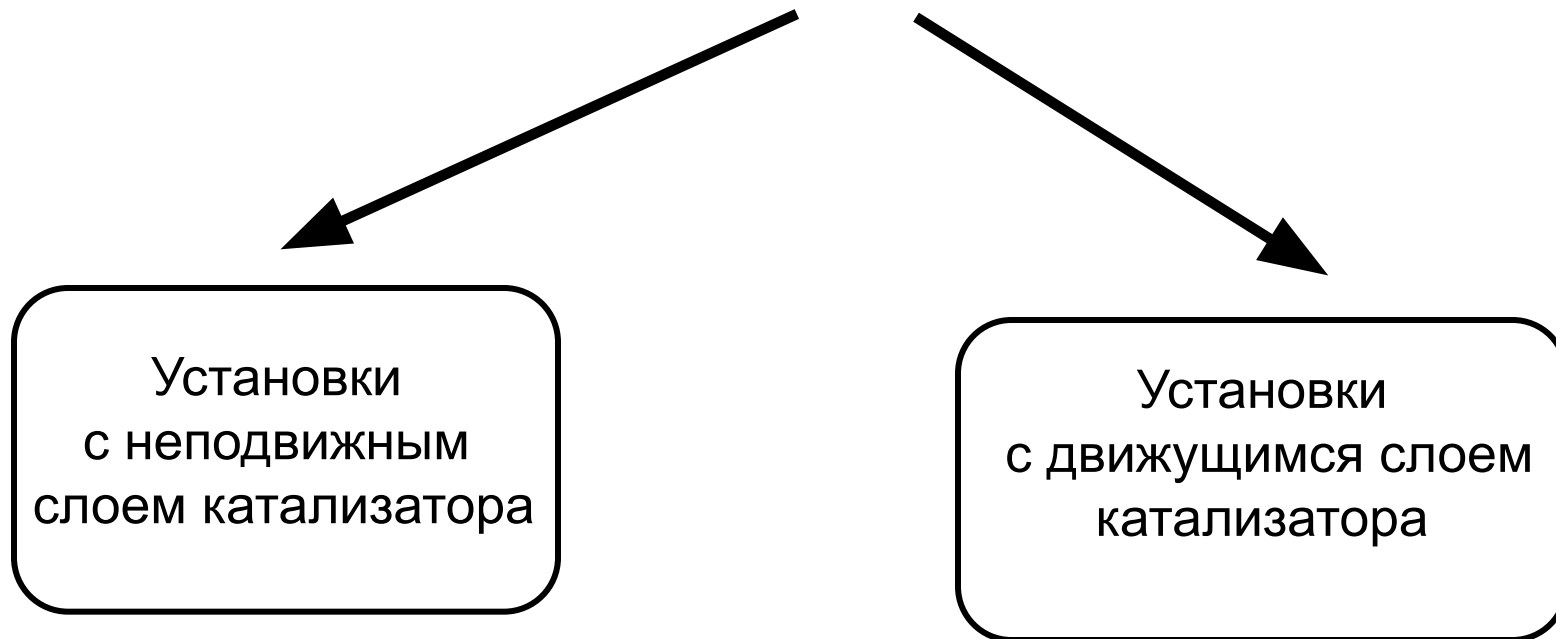


## 4. Основные факторы процесса

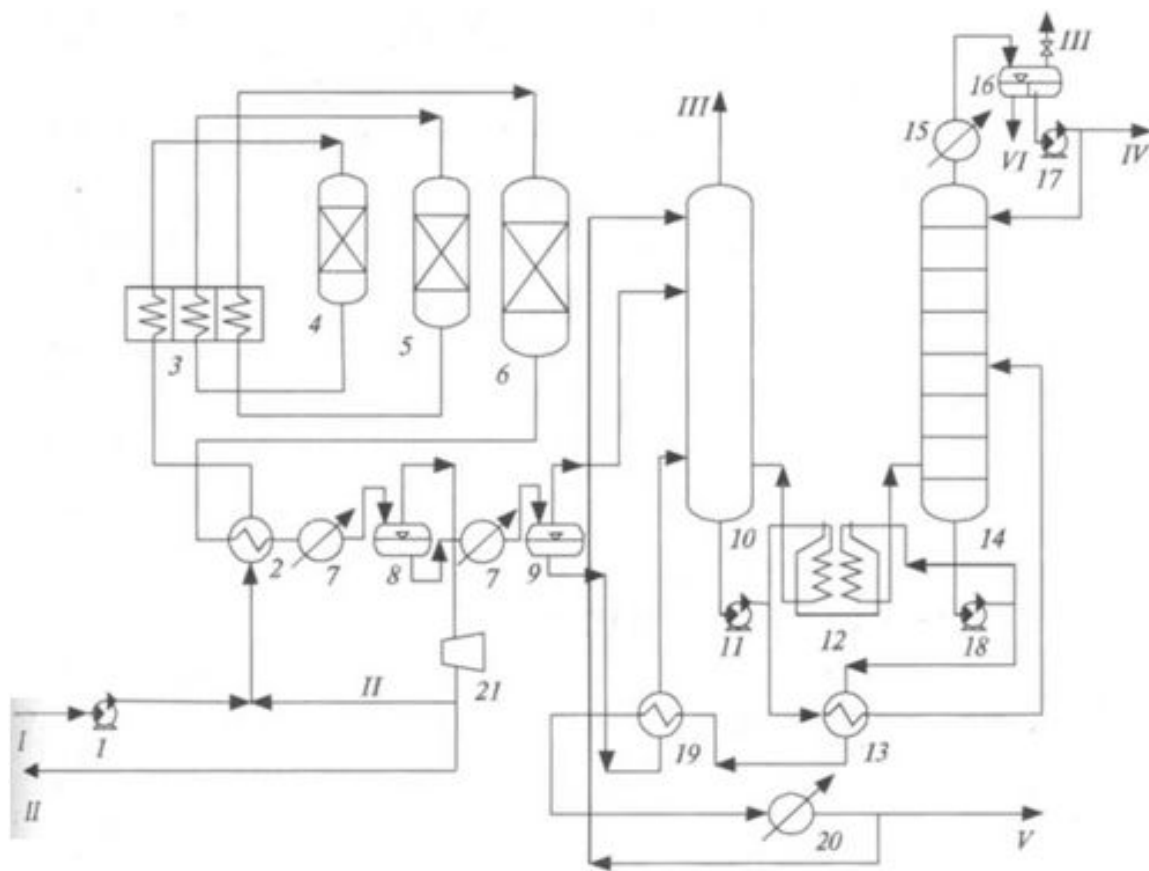


## 5. Классификация промышленных установок риформинга

---



## 6. Схема установки риформинга со стационарным слоем катализатора



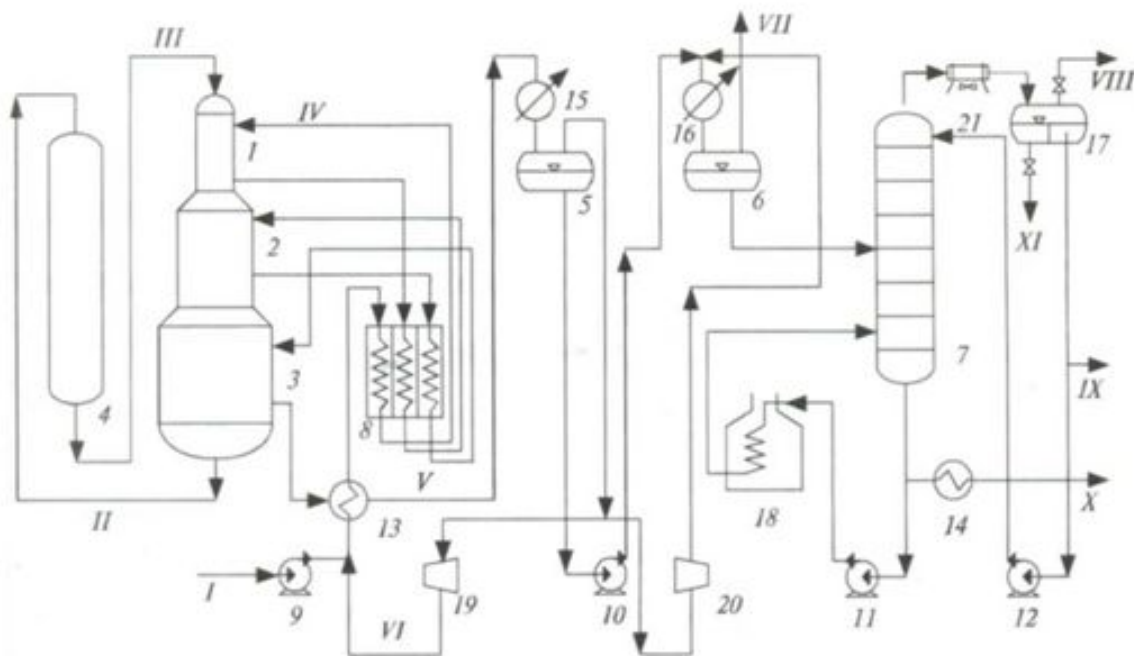
1,11, 17, 18– насосы; 2, 13, 19 – теплообменники; 3 – многосекционная печь; 4 – 6 – реакторы; 7, 15, 20 – холодильники; 8, 9 – сепараторы; 10, 14 – колонны; 12 – печь; 16 – емкость; 21 – компрессор;

I – гидроочищенный низкооктановый бензин; II – водородсодержащий газ; III – сухой углеводородный газ; IV – смесь сжиженного газа и легкого риформата; V – стабильный риформат; VI – конденсат

# Материальный баланс риформинга с неподвижным слоем катализатора

Показатель	% мас.
<b><u>Поступило:</u></b>	
сырье(85-180 <sup>0</sup> С)	100,0
<b><u>Получено:</u></b>	
Катализат	82,3
Углеводородный газ	7,4
Газ стабилизации	4,5
Водородсодержащий газ	5,8
<b><u>Итого:</u></b>	100,0

## 7. Схема установки риформинга с движущимся слоем катализатора (CCR)



1-3 – реакторы; 4 – регенератор катализатора; 5, 6 – сепараторы высокого и низкого давления; 7– стабилизационная колонна; 8 – многосекционная печь; 9–12 – насосы; 13, 14 – теплообменники; 15, 16 – холодильники; 17 – емкость; 18 – печь; 19, 20 – компрессоры; 21 – аппарат воздушного охлаждения;

I – сырье (бензин 85–180 °С); II – катализатор на регенерацию; III – регенерированный катализатор; IV – газосырьевая смесь; V – газопродуктовая смесь; VI – циркулирующий водородсодержащий газ; VII – избыточный водородсодержащий газ; VIII – сухой газ; IX– смесь сжиженного газа и легкого риформата; X – стабильный риформат; XI – конденсат

# Материальный баланс риформинга с подвижным слоем катализатора

Поступило:

Сырье (фракция 85 – 180 °С), % (мас.) 100,0

Получено:

Углеводородный газ 5,1

Головка стабилизации 3,4

Катализат 88,0

Водородсодержащий газ 3,5

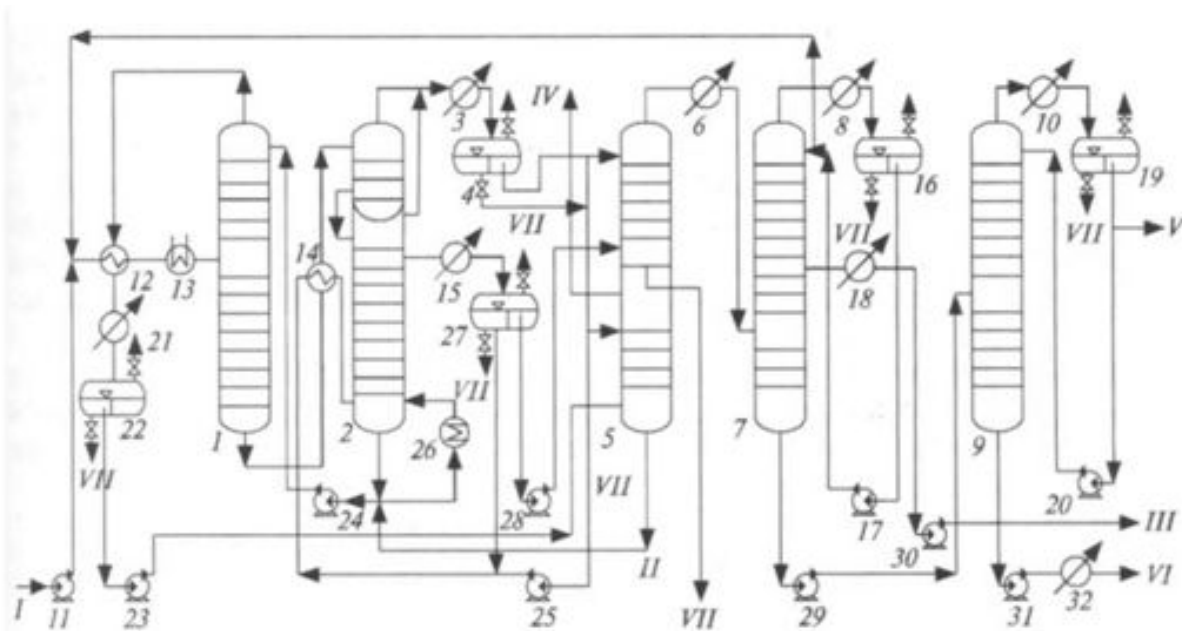
в том числе водород 3,1

Итого: 100,0

## 8. Основные показатели риформинга

<b>Температура, °С</b>	<b>495-540</b>
<b>Давление, МПа</b>	<b>0,9-1,2</b>
<b>Объемная скорость подачи сырья, ч<sup>-1</sup></b>	<b>1,8-1,9</b>
<b>Кратность циркуляции водородосодержащего газа, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup></b>	<b>800-900</b>
<b>Распределение катализатора по реакторам</b>	<b>1:2:4</b>
<b>Октановое число продукта (и.м.)</b>	<b>100</b>
<b>Содержание ароматических углеводородов в продукте, % (об.)</b>	<b>55-58</b>

## 9. Технологическая схема установки экстракции аренов из катализата фракции 62 – 105 °С диэтиленгликолем (ДЭГ):



1, 2, 5, 7, 9 – колонны; 3, 6, 8, 10, 15, 18, 21, 32 – воздушные холодильники;  
 4, 16, 19, 22, 27 – емкости; 11, 17, 20, 23-25, 28 – 31 – насосы; 12, 14 – теплообменники;  
 13 – пароподогреватель; 26 – кипятильник;  
 I – сырье; II – ДЭГ; III – бензол; IV – рафинат; K – толуол; VI – ксилольная фракция; VII – вода



# Материальный баланс установки экстракции

Фракция 62 – 105 °С		
Поступило, % мас.:		
Сырье		100,0
Получено:		
Бензол	10,9	
Толуол	16,5	
Ксилол и этилбензол		4,5
Рафинат	66,6	
Потери	1,5	
Итого:		100,0