

# АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ

**Процессы производства**  
**Направления использования**

# Производство БТК

---

Углеводороды	млн, т/год (2010)
■ C <sub>6</sub> — Бензол	40
■ C <sub>7</sub> — Тoluол	20
■ C <sub>8</sub> — Смешанные ксилолы	44
■ п-Ксилол	30
■ о-Ксилол	3,9
■ Этилбензол	29,2

# Промышленные источники БТК

- Бензин риформинга
- Бензин пиролиза углеводородов
- Жидкие продукты коксования угля
  - “Сырой” бензол
  - Легкое каменноугольное масло
- Продукты  
взаимных превращений аренов

# Состав источников БТК (%)

<b>Компоненты</b>	<b>Риформат</b>	<b>Пиротол</b>	<b>‘Сырой’ бензол</b>	<b>Легкое каменно- угольное масло</b>
-------------------	-----------------	----------------	---------------------------	---

# Состав источников БТК (%)

Компоненты	Риформат	Пиротол	'Сырой' бензол	Легкое каменно- угольное масло
Бензол	3	40	93	63

# Состав источников БТК (%)

Компоненты	Риформат	Пиротол	'Сырой' бензол	Легкое каменно- угольное масло
Бензол	3	40	93	63
Толуол	13	20	>6	14

# Состав источников БТК (%)

Компоненты	Риформат	Пиротол	'Сырой' бензол	Легкое каменно-угольное масло
Бензол	3	40	93	63
Толуол	13	20	>6	14
Ксилолы	18	4–5		

# Состав источников БТК (%)

Компоненты	Риформат	Пиротол	'Сырой' бензол	Легкое каменно- угольное масло
Бензол	3	40	93	63
Толуол	13	20	>6	14
Ксилолы	18	4–5		
Этилбензол	5	2–3		



# Состав источников БТК (%)

Компоненты	Риформат	Пиротол	‘Сырой’ бензол	Легкое каменно-угольное масло
Бензол	3	40	93	63
Толуол	13	20	>6	14
Ксилолы	18	4–5	—	7
Этилбензол	5	2–3	—	—

# Состав источников БТК (%)

Компоненты	Риформат	Пиротол	‘Сырой’ бензол	Легкое каменно-угольное масло
Бензол	3	40	93	63
Толуол	13	20	>6	14
Ксилолы	18	4–5	—	7
Этилбензол	5	2–3	—	—

# Состав источников БТК (%)

Компоненты	Риформат	Пиротол	‘Сырой’ бензол	Легкое каменно-угольное масло
Бензол	3	40	93	63
Толуол	13	20	>6	14
Ксилолы	18	4–5	—	7
Этилбензол	5	2–3	—	—

Остальное

# Состав источников БТК (%)

Компоненты	Риформат	Пиротол	‘Сырой’ бензол	Легкое каменно-угольное масло
Бензол	3	40	93	63
Толуол	13	20	>6	14
Ксилолы	18	4–5	—	7
Этилбензол	5	2–3	—	—

Арены C<sub>9+</sub>

Остальное

# Состав источников БТК (%)

Компоненты	Риформат	Пиротол	'Сырой' бензол	Легкое каменно-угольное масло
Бензол	3	40	93	63
Толуол	13	20	>6	14
Ксилолы	18	4–5	—	7
Этилбензол	5	2–3	—	—
Остальное	Арены C <sub>9+</sub> Неароматические углеводороды			

# Состав источников БТК (%)

Компоненты	Риформат	Пиротол	‘Сырой’ бензол	Легкое каменно-угольное масло
Бензол	3	40	93	63
Толуол	13	20	>6	14
Ксилолы	18	4–5	—	7
Этилбензол	5	2–3	—	—
Остальное	Арены C <sub>9+</sub> Неароматические углеводороды			

# Состав источников БТК (%)

Компоненты	Риформат	Пиротол	'Сырой' бензол	Легкое каменно-угольное масло
Бензол	3	40	93	63
Толуол	13	20	>6	14
Ксилолы	18	4–5	—	7
Этилбензол	5	2–3	—	—
Остальное	Арены C <sub>9+</sub> Неароматические углеводороды Гетероатомные соединения			

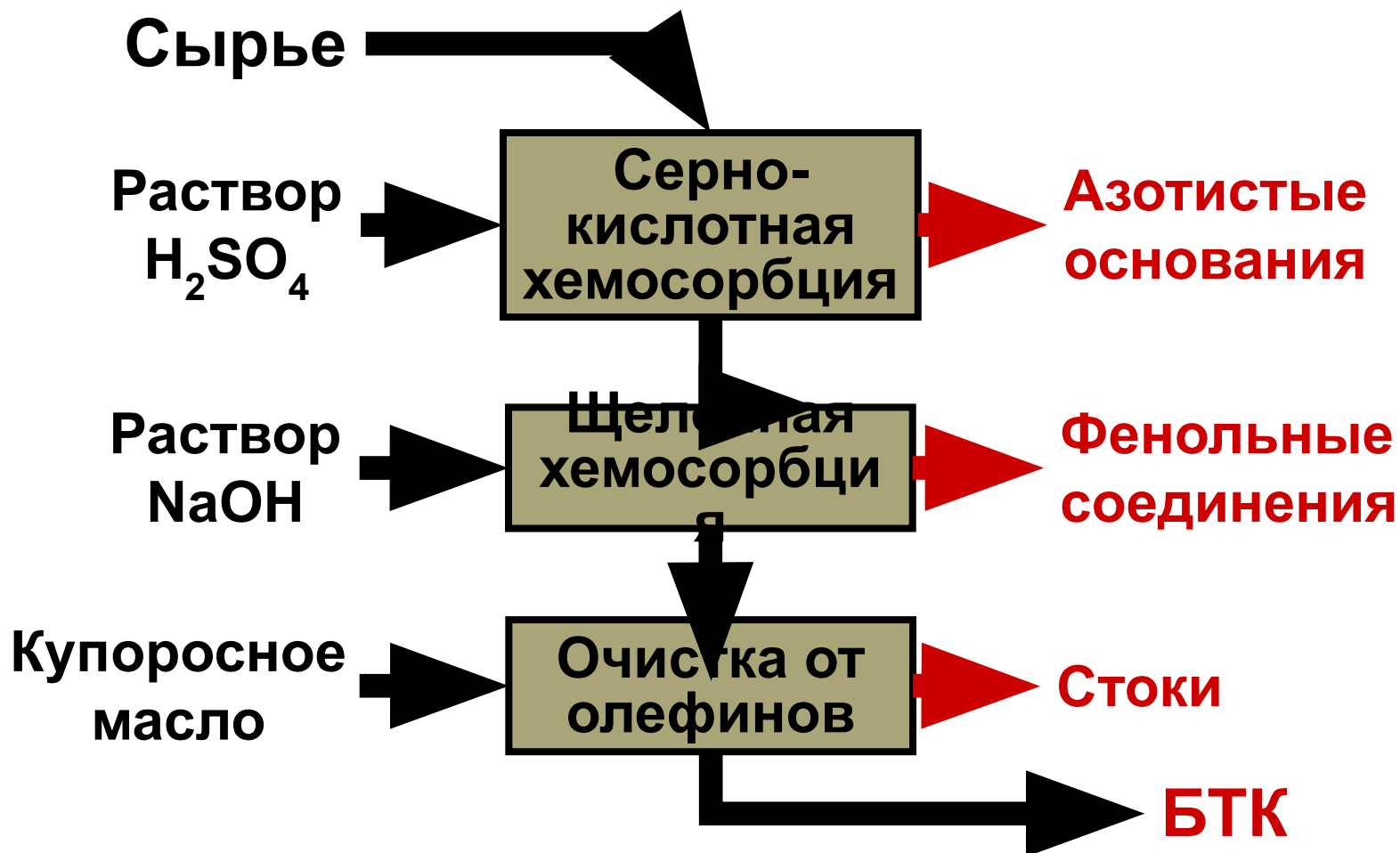
# Состав источников БТК (%)

Компоненты	Риформат	Пиротол	‘Сырой’ бензол	Легкое каменно-угольное масло
Бензол	3	40	93	63
Толуол	13	20	>6	14
Ксилолы	18	4–5	—	7
Этилбензол	5	2–3	—	—
Остальное	Арены C <sub>9+</sub>			Гетероатомные соединения
	Неароматические углеводороды			



# Очистка

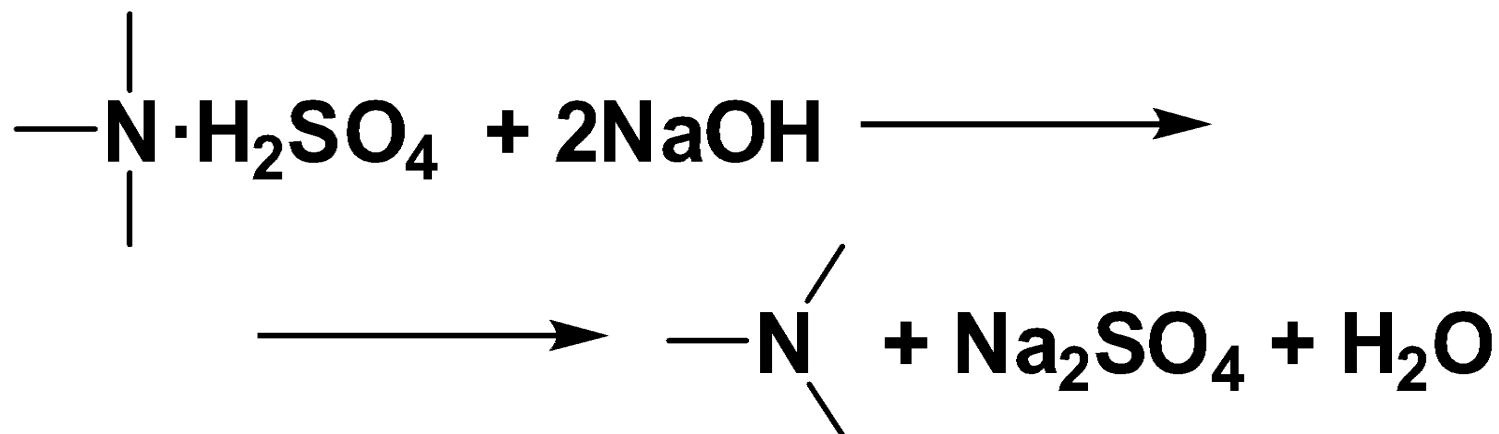
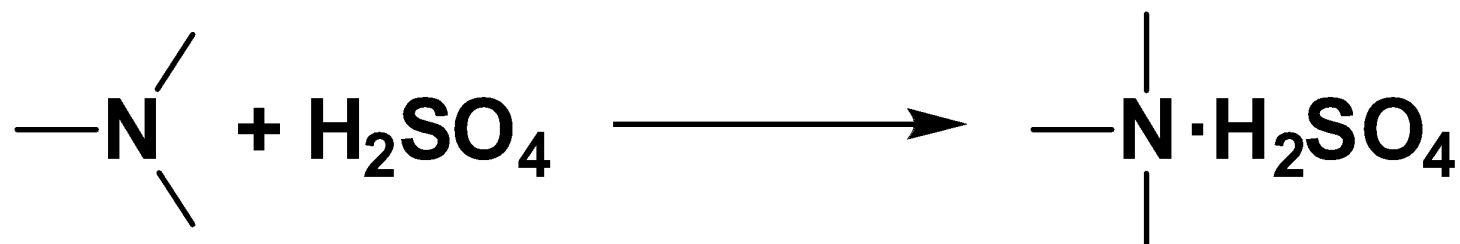
## КОКСОХИМИЧЕСКИХ АРЕНОВ



# Очистка

## КОКСОХИМИЧЕСКИХ АРЕНОВ

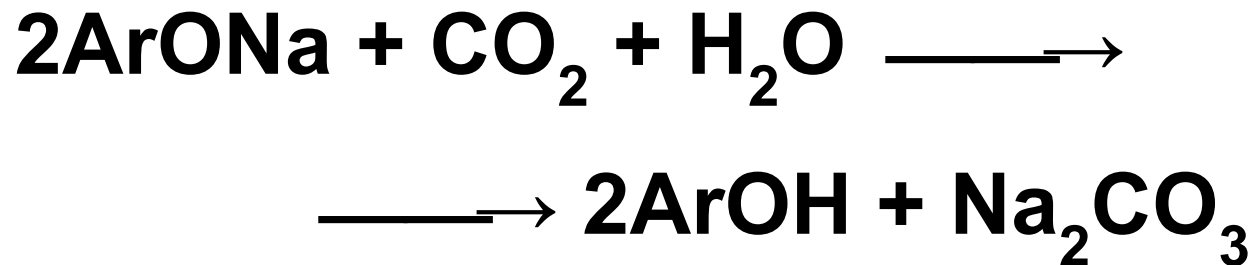
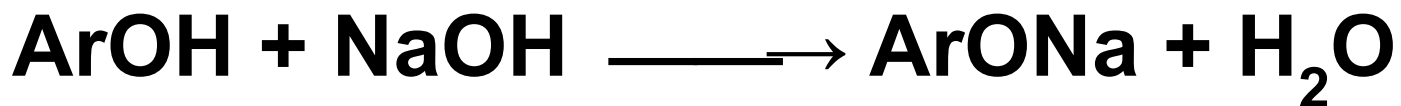
- Сернокислотная хемосорбция



# Очистка

## КОКСОХИМИЧЕСКИХ АРЕНОВ

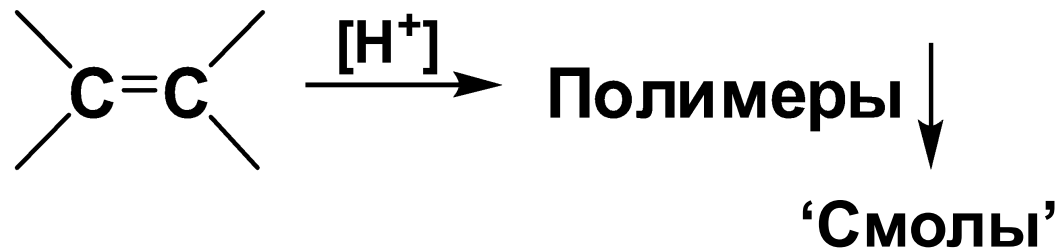
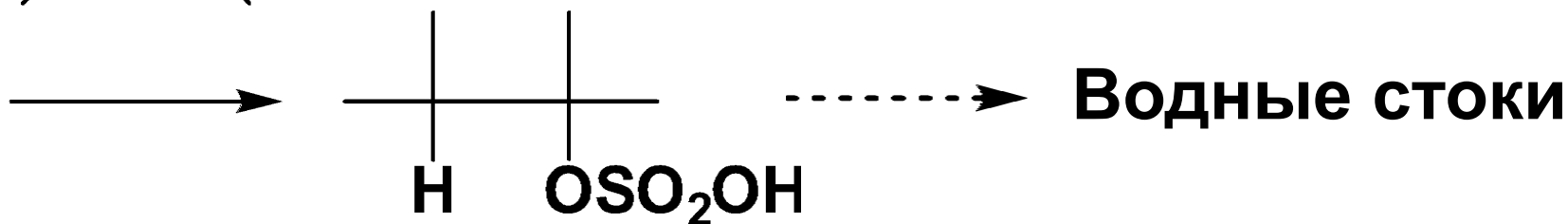
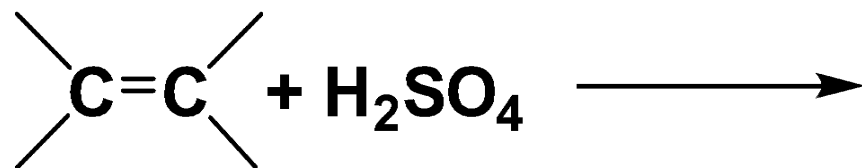
- Щелочная хемосорбция



# Очистка

## КОКСОХИМИЧЕСКИХ АРЕНОВ

### ■ Очистка от олефинов

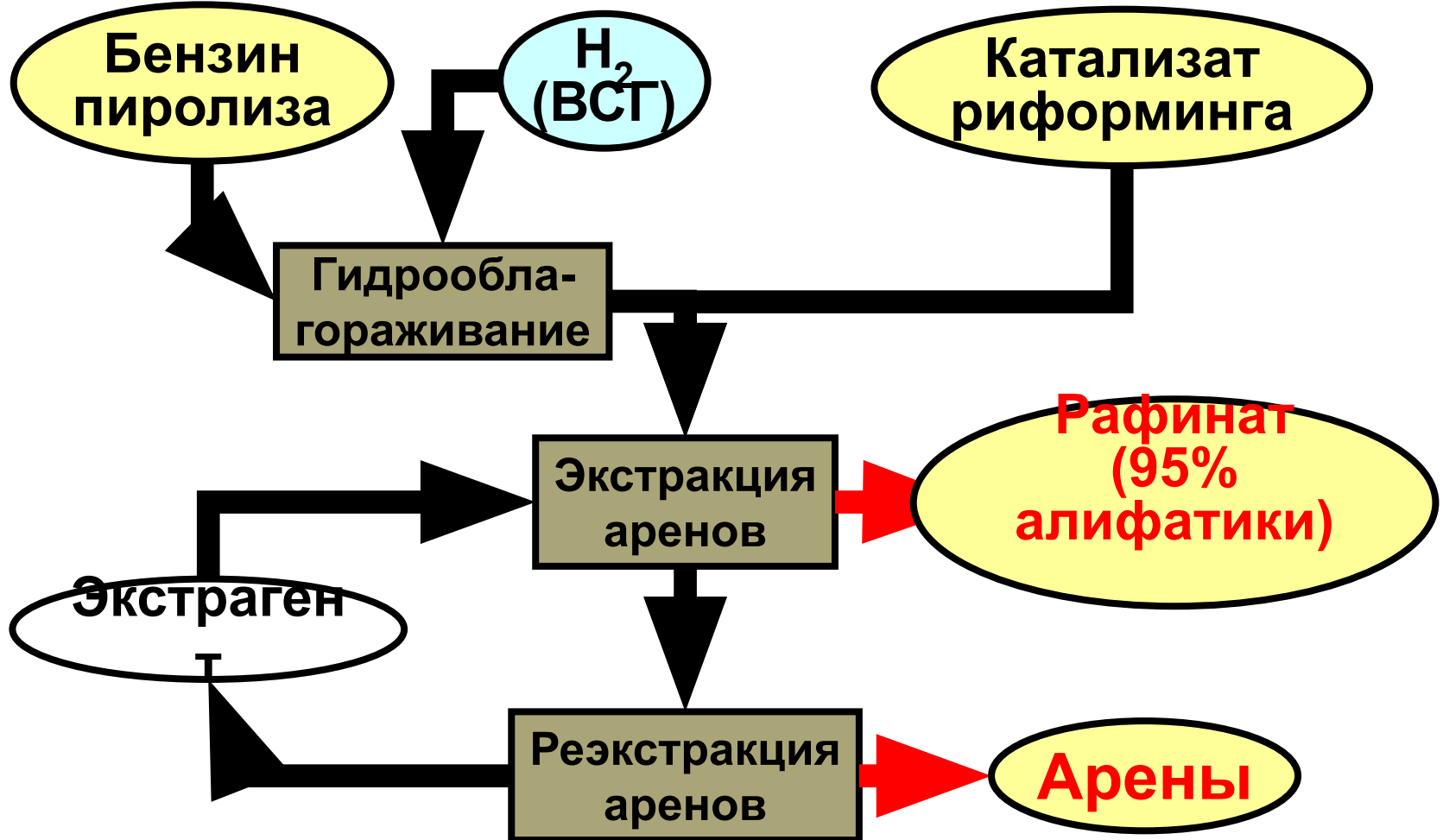


**Выделение аренов  
из бензинов  
риформинга и пиролиза**

# Свойства углеводородов бензинов

Фракция	Компонент	$t_{\text{кип}}, ^\circ\text{C}$
$\text{C}_6$	<i>n</i> -Гексан	68,7
	<b>Бензол</b>	<b>80,1</b>
$\text{C}_7$	2,2-Диметилпентан	79,2
	<i>n</i> -Гептан	98,4
	<b>Толуол</b>	<b>110,6</b>
$\text{C}_8$	2,4-Диметилгексан	110–112
	<i>n</i> -Октан	124,7
	<b>о-Ксилол</b>	<b>144,4</b>
	<b>м-Ксилол</b>	<b>139,1</b>
	<b>п-Ксилол</b>	<b>138,3</b>
	<b>Этилбензол</b>	<b>136,15</b>
$\text{C}_{9+}$	2,6-Диметилгептан	135,2
	<i>n</i> -Нонан	150,8
	<b>Псевдокумол</b>	<b>169,3</b>
	<b>Дурол</b>	<b>196,8</b>
	<b>Нафталин</b>	<b>218,0</b>

# Экстракция аренов



# Экстракция аренов

## ■ Экстрагенты

### ■ Олигомерные этиленгликоли:

- Диэтиленгликоль
- Триэтиленгликоль
- Тетраэтиленгликоль

### ■ Жидкий диоксид серы $SO_2$

### ■ Диметилсульфоксид (ДМСО)



# Экстракция аренов

## ■ Экстрагенты

### ■ Сульфолан

(степень извлечения ArH — 98–99,9%)

### ■ Амиды

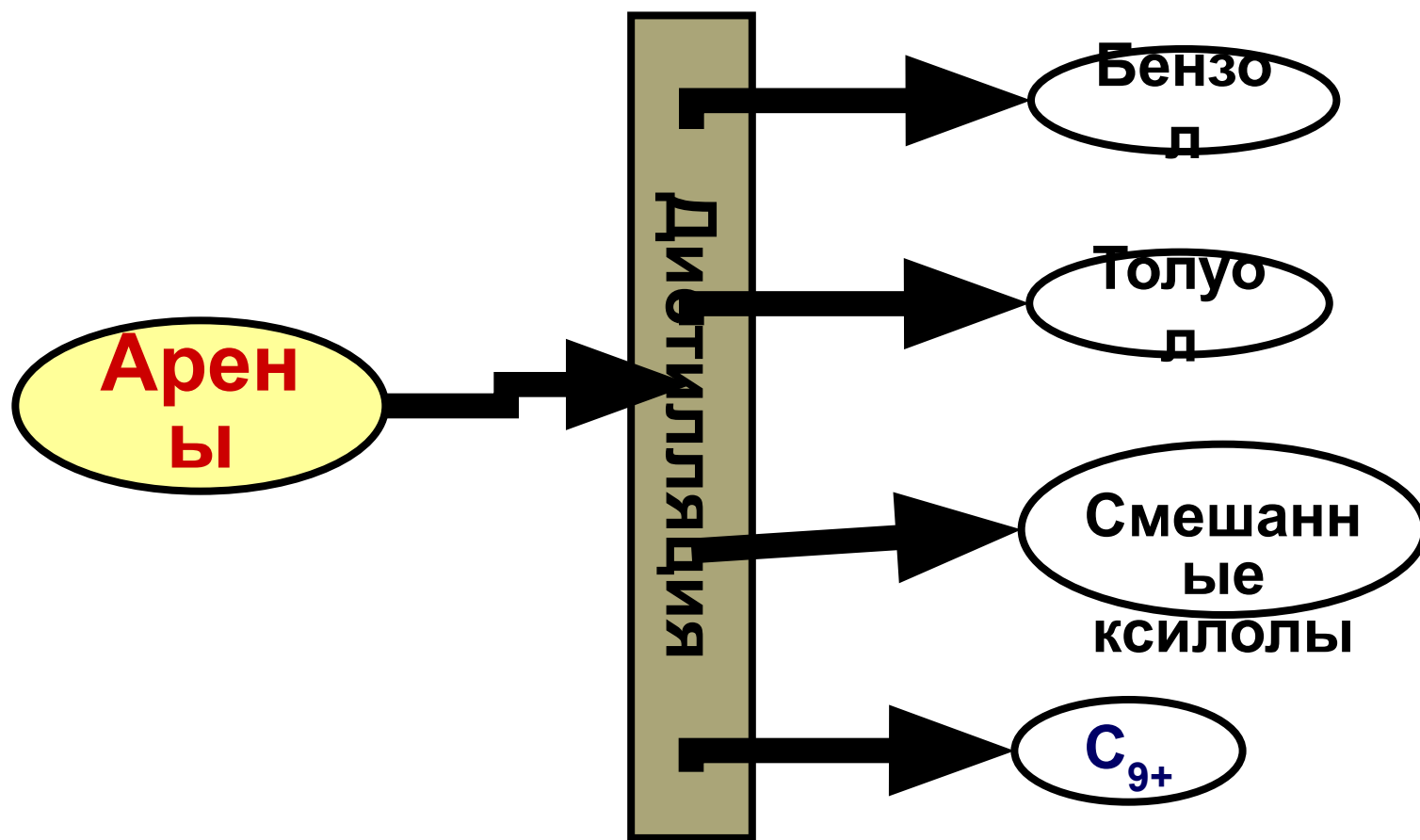
#### ■ N-Алкилированные лактамы

■ N-Метилпирролидон

■ N-Метилкапролактam и др.

### ■ Комбинированные экстрагенты

# Разделение БТК



# Переработка СМЕШАННЫХ КСИЛОЛОВ

- **Равновесный состав  
ксилольной фракции**

Арены C <sub>8</sub>	Температура, °C			t <sub>кип</sub> , °C
	200	300	500	
o-Ксилол	20,6	21,6	23,0	144,4
m-Ксилол	53,5	51,1	47,1	139,1
p-Ксилол	21,8	21,1	18,9	138,3
Этилбензол	4,1	6,2	11,0	136,15

# Переработка смешанных ксилолов

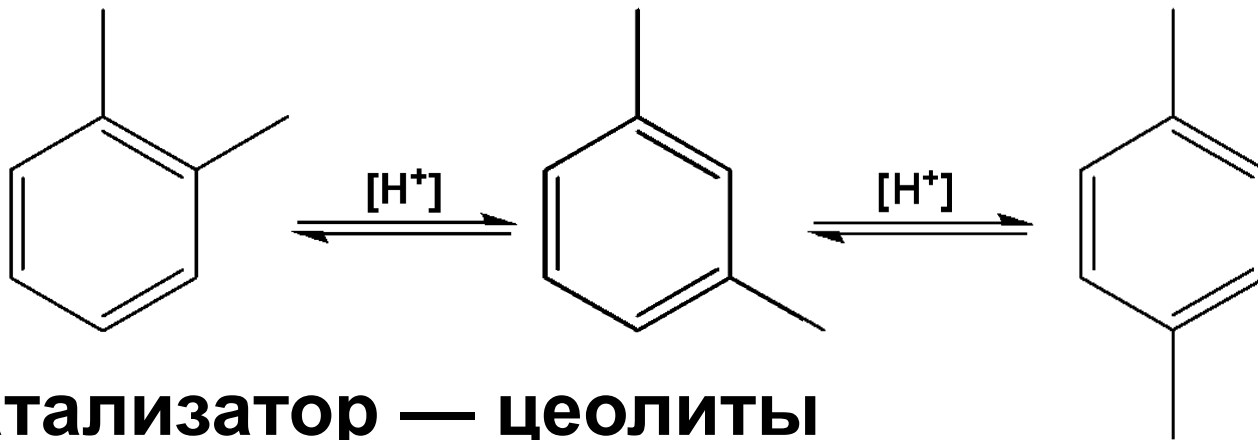
- **Равновесный состав  
ксилольной фракции**

Арены C <sub>8</sub>	Температура, °C			t <sub>кип</sub> , °C	t <sub>пл</sub> , °C
	200	300	500		
o-Ксилол	20,6	21,6	23,0	144,4	-25,2
m-Ксилол	53,5	51,1	47,1	139,1	-47,9
p-Ксилол	21,8	21,1	18,9	138,3	13,3
Этилбензол	4,1	6,2	11,0	136,15	-93,9

# Переработка СМЕШАННЫХ КСИЛОЛОВ

## ■ Изомеризация

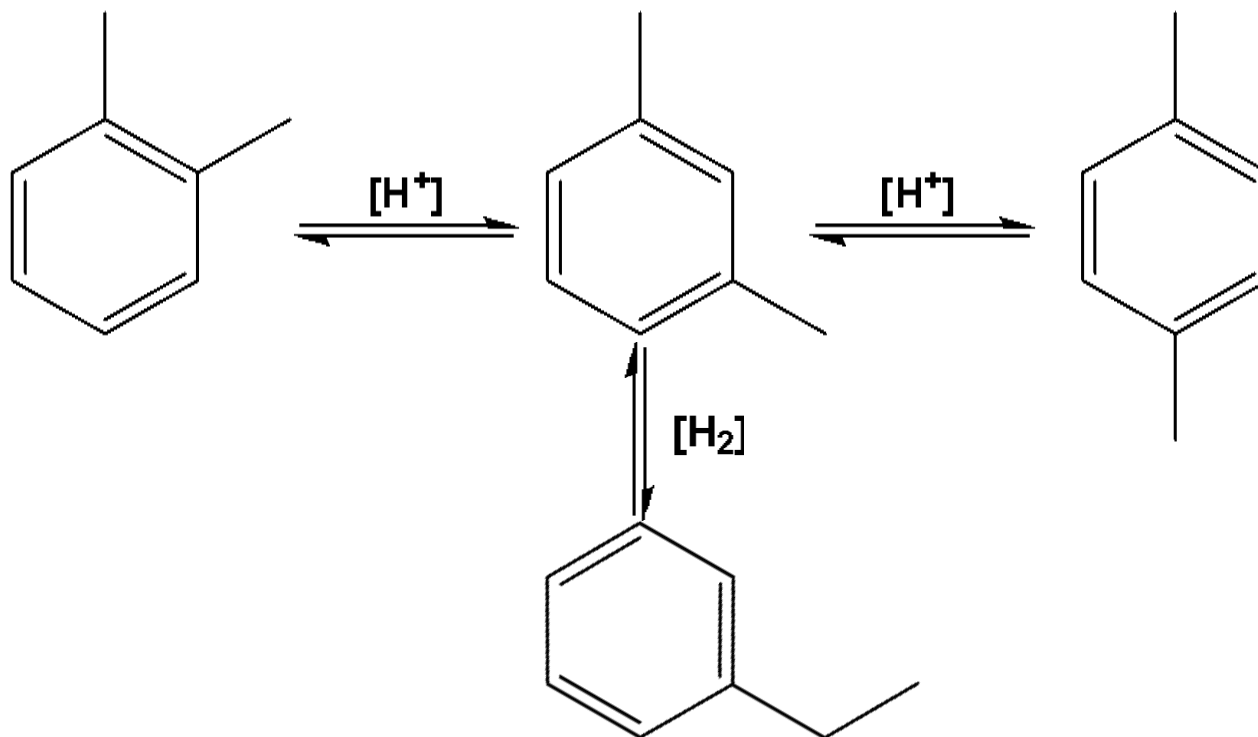
*М*-ксилола



- Катализатор — цеолиты
- 290–380°C
- Давление ~атм.

# Переработка смешанных ксилолов

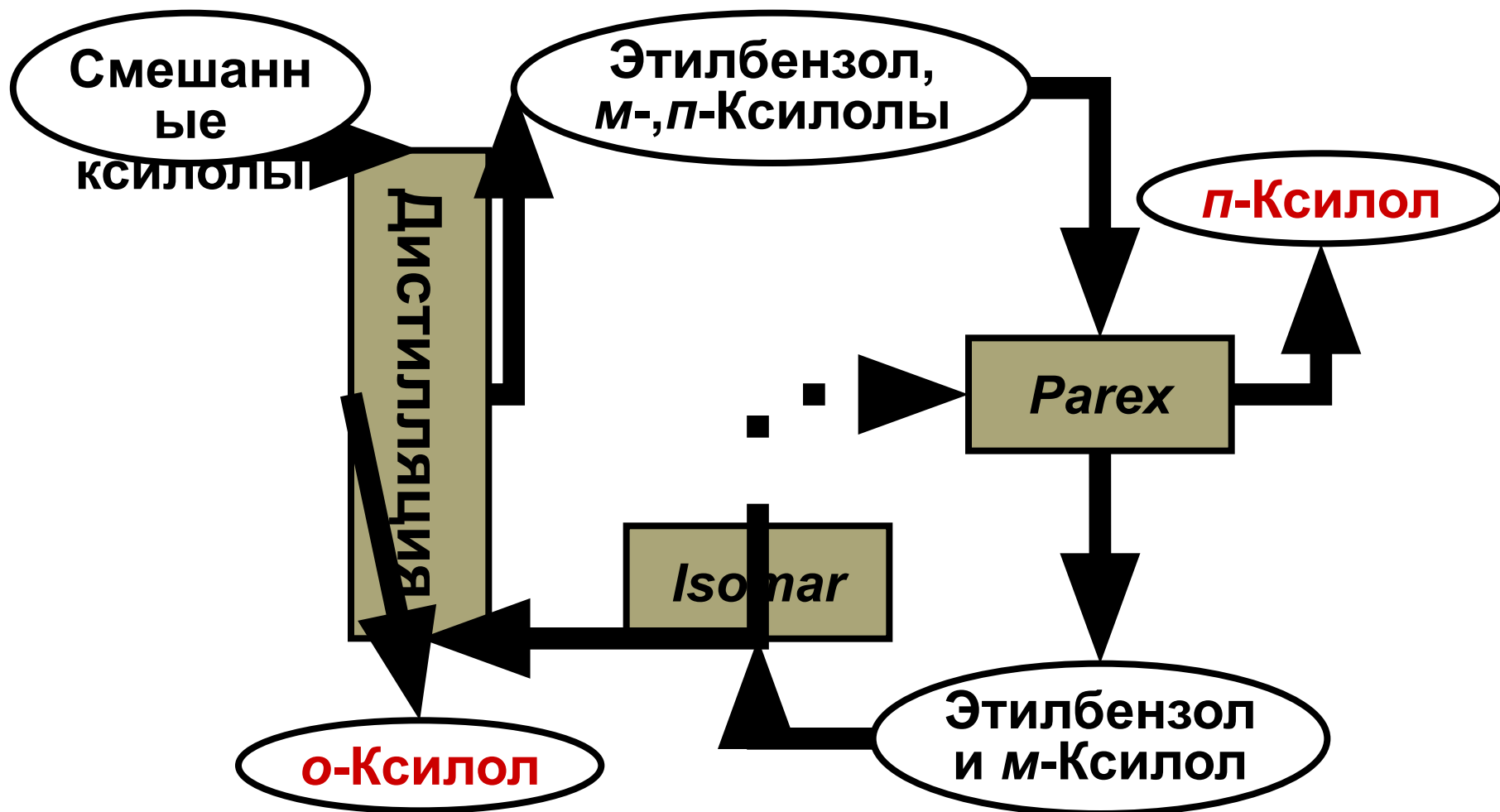
- Гидроизомеризация *m*-ксилола и этилбензола (*Isomar, UOP*)



# Переработка смешанных ксилолов

- Гидроизомеризация *m*-ксилола и этилбензола (*Isomar, UOP*)
  - Катализатор — (Pt,Pd)/(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Цеолиты)
  - 400–500°C
  - 1–3 МПа
  - H<sub>2</sub>:ArH = (2–10):1
- Выделение *p*-ксилола на молекулярных ситах — цеолитах (*Parex, UOP*)

# Переработка ксилольной фракции с использованием молекулярных сит





# Бензол

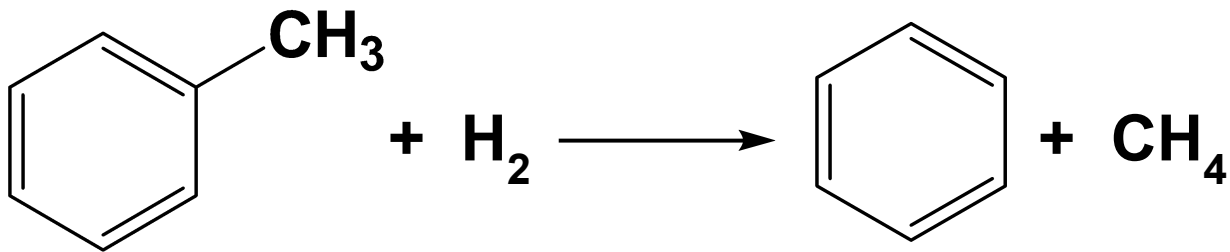
## Получение и применение

# Методы производства бензола

- **Выделение из фракций БТК**
  - **каталитического риформинга нефти**
  - **пиролиза жидких углеводородов**
  - **коксохимического происхождения**

# Методы производства бензола

## ■ Гидродеалкилирование толуола



### ■ Каталитическое

- (Mo,Co,Cr)-O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
- 580–620°C
- 3–10 МПа
- H<sub>2</sub>:ArH = (4–5):1
- Конверсия ~50%
- Выход >95%

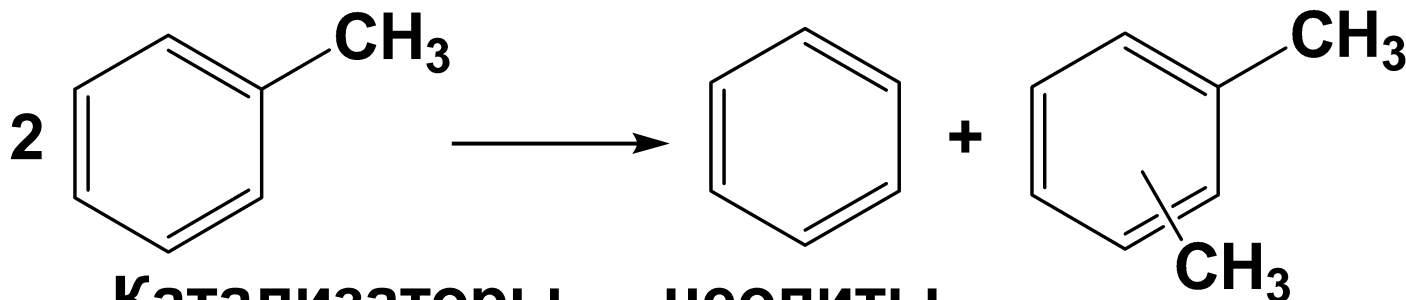
### ■ Термическое

- 
- 700–760°C
- 4–5 МПа
- H<sub>2</sub>:ArH = (4–5):1
- Конверсия ~50%
- Выход >98%

# Методы

## производства бензола

### ■ Диспропорционирование толуола

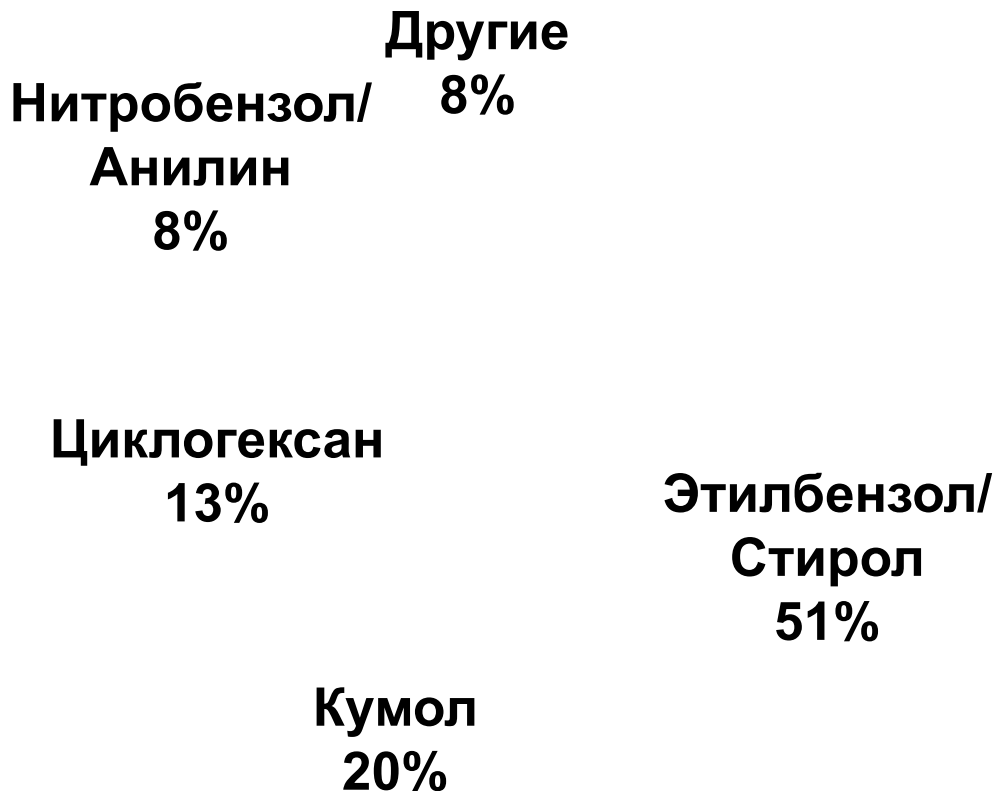


- Катализаторы — цеолиты
- 350–530°C
- атмосфера H<sub>2</sub>
- 1–5 МПа

### ■ Другие процессы

взаимопревращений метиларенов

# Направления использования бензола



# Направления использования бензола

- **Этилбензол /  
Стирол**
- **Кумол /  
Фенол + Ацетон**

# Направления использования бензола

- Циклогексан / КА-оil (Анол + Анон) /  
Капролактам +  
+ Адипиновая кислота +  
+ Гексаметилендиамин
- Нитробензол / Анилин /  
МетиленДифенилДиИзоцианат  
(МДИ, MDI)

# Направления использования бензола

- Другие направления
  - Алкилбензолы /  
Алкилбензолсульфонаты (ЛАБС)
  - Малеиновый ангидрид
  - Хлорбензолы
  - Бензолсульфокислота
  - Резорцин



# Направления использования толуола

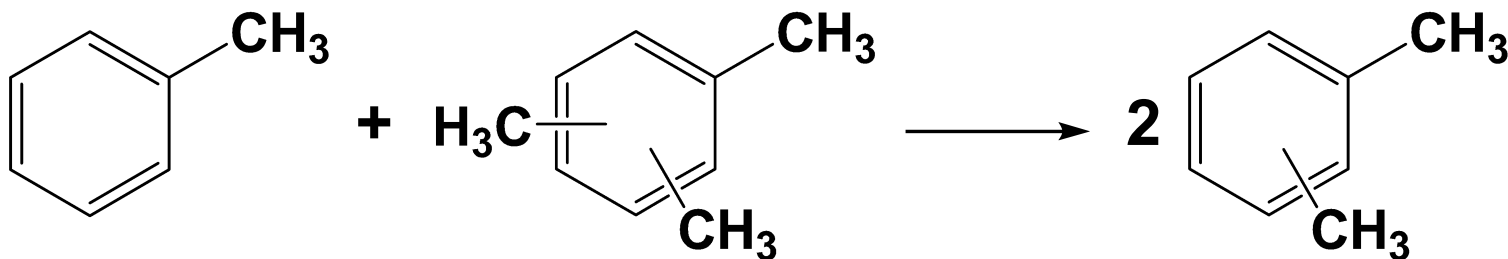


# Направления использования толуола

- **Производство бензола — гидродеалкилирование**
- **Производство бензола и ксилолов — диспропорционирование**

# Направления использования толуола

- Производство ксилолов —  
трансалкилирование толуола и  $C_{9+}$



# Направления использования толуола

- Динитротолуол /  
Толуилен*ДиИ*зоцианат (ТДИ, TDI)
- / Тринитротолуол  
(Тротил, ТНТ)

# Направления использования толуола

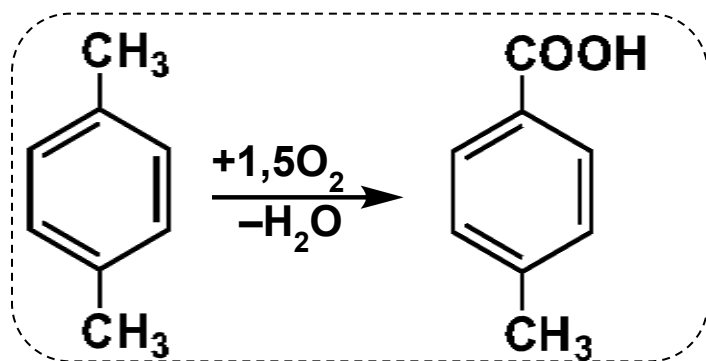
- Другие направления
  - Толуолсульфокислота
  - Крезолы (Кумольный метод)
  - Бензилхлорид
  - Бензойная кислота /
    - / Фенол
    - / Капролактам

# Направления

## ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КСИЛОЛОВ

- **п-Ксилол**

- **ДиМетилТереФталат (ДМТФ)**

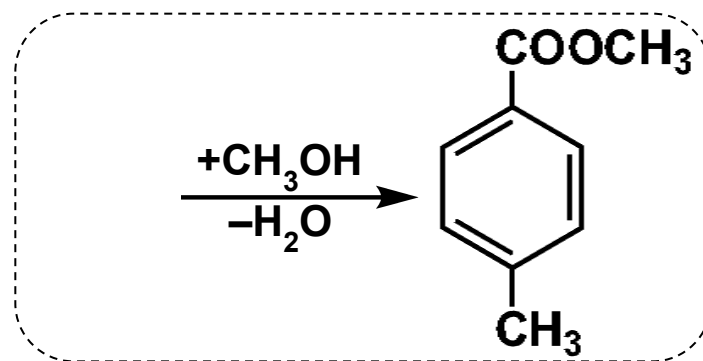
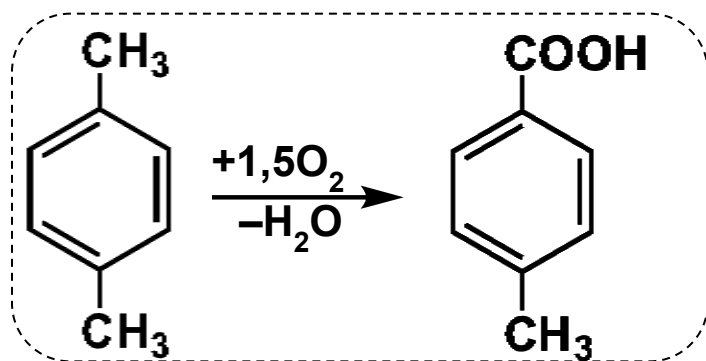


# Направления

## ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КСИЛОЛОВ

- **п-Ксилол**

- **ДиМетилТереФталат (ДМТФ)**

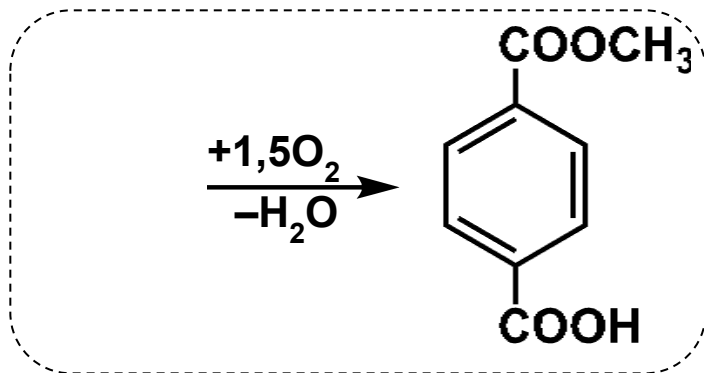
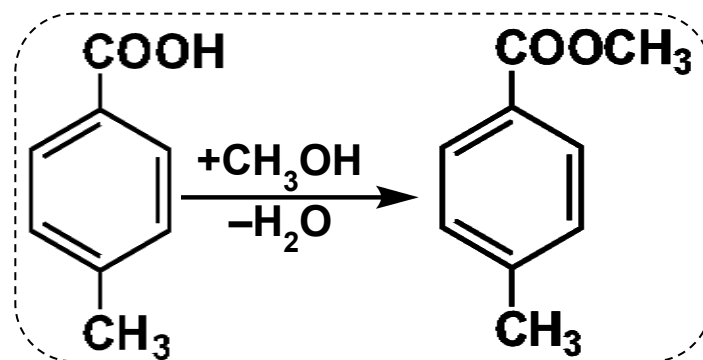
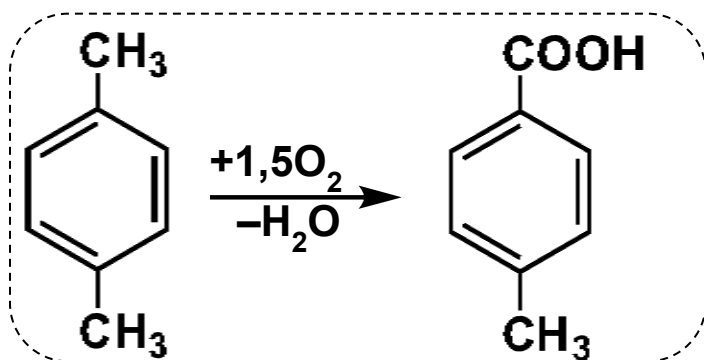


# Направления

## ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КСИЛОЛОВ

- **п-Ксилол**

- **ДиМетилТереФталат (ДМТФ)**



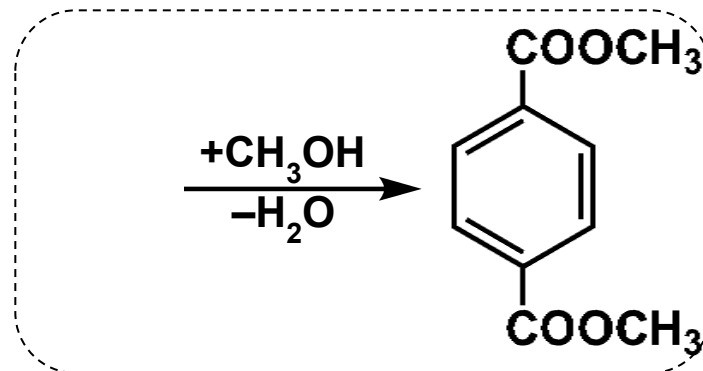
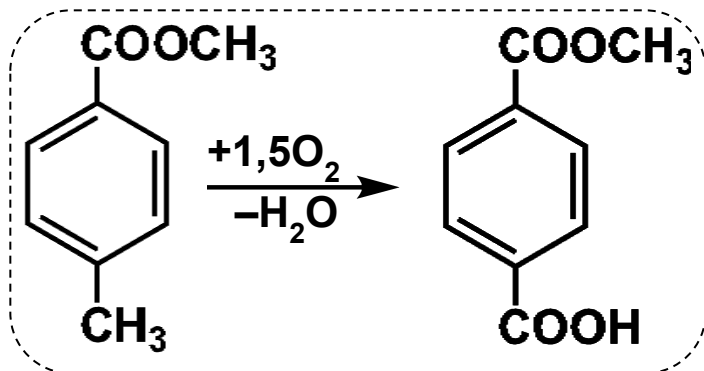
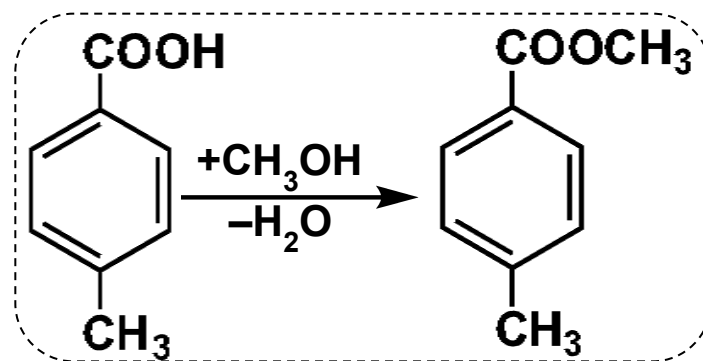
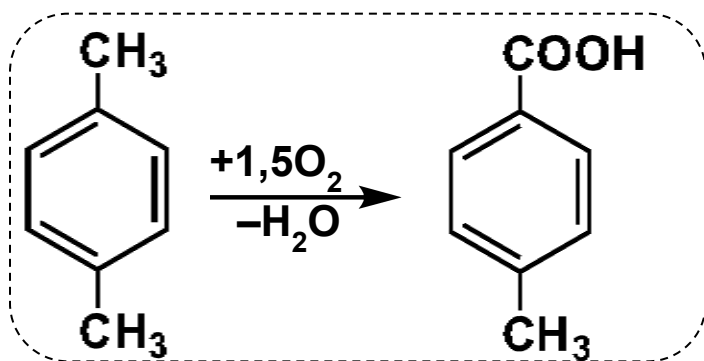


# Направления

## ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КСИЛОЛОВ

- **п-Ксилол**

- **ДиМетилТереФталат (ДМТФ)**

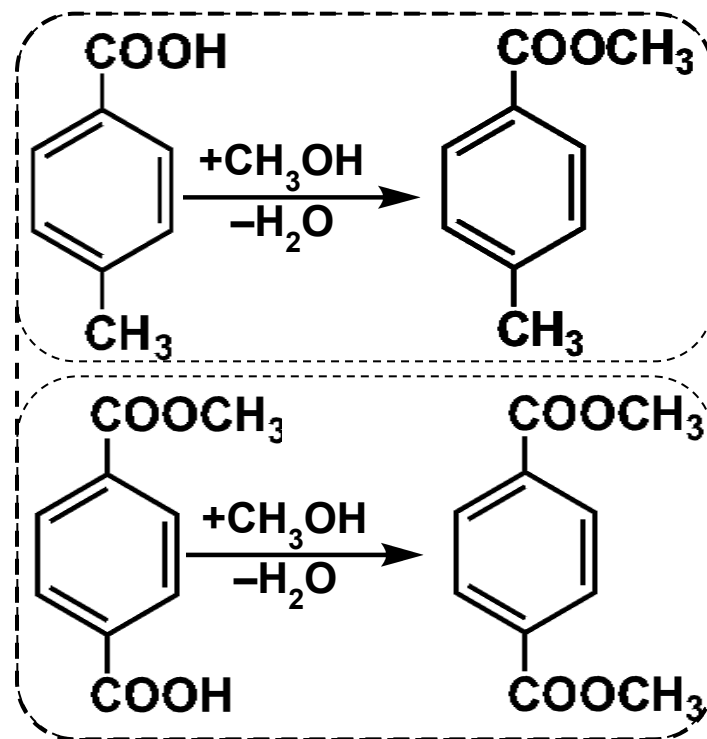
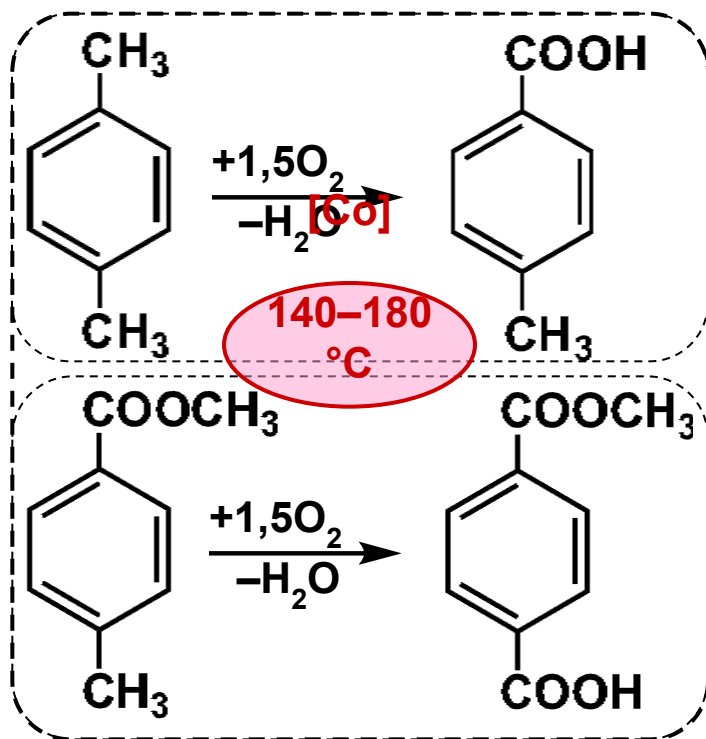


# Направления

## ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КСИЛОЛОВ

- **п-Ксилол**

- **ДиМетилТереФталат (ДМТФ)**

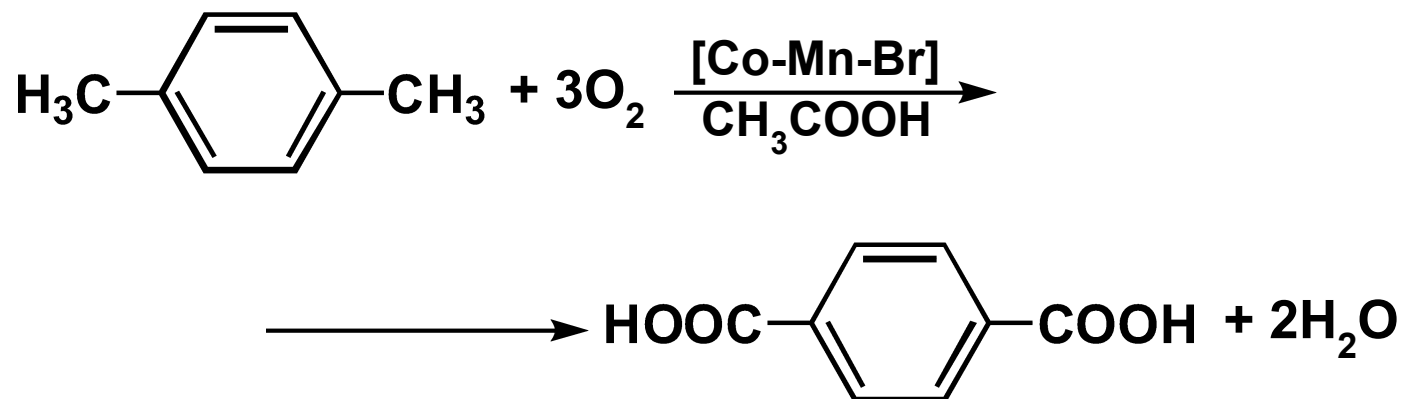


# Направления

## ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КСИЛОЛОВ

- **п-Ксилол**

- **Терефталевая кислота (*Атосо*)**

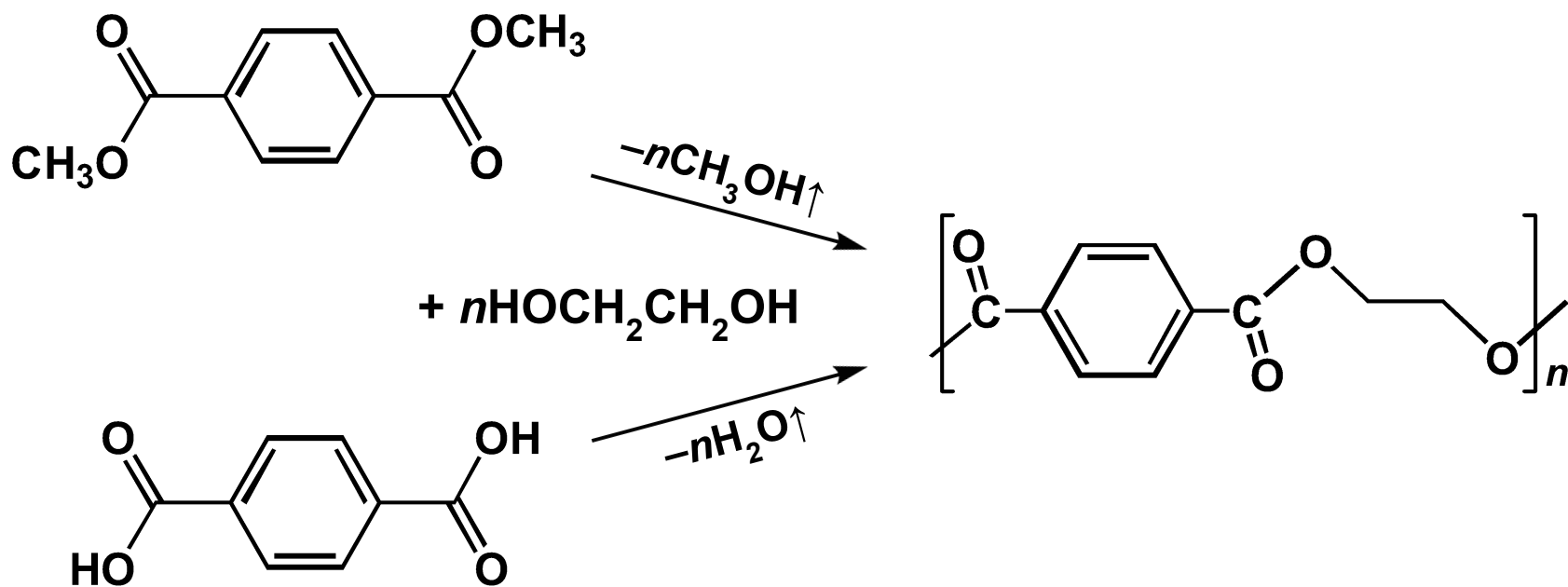


# Направления

## ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КСИЛОЛОВ

- **п-Ксилол**

- **ПолиЭтиленТерефталат (ПЭТ)**



# Направления

## ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КСИЛОЛОВ

- **п-Ксилол**

- **ПолиЭтиленТерефталат (ПЭТ)**

Полиэфирные пленки 1% Другие  
4%

Бутылочные  
смолы  
29%

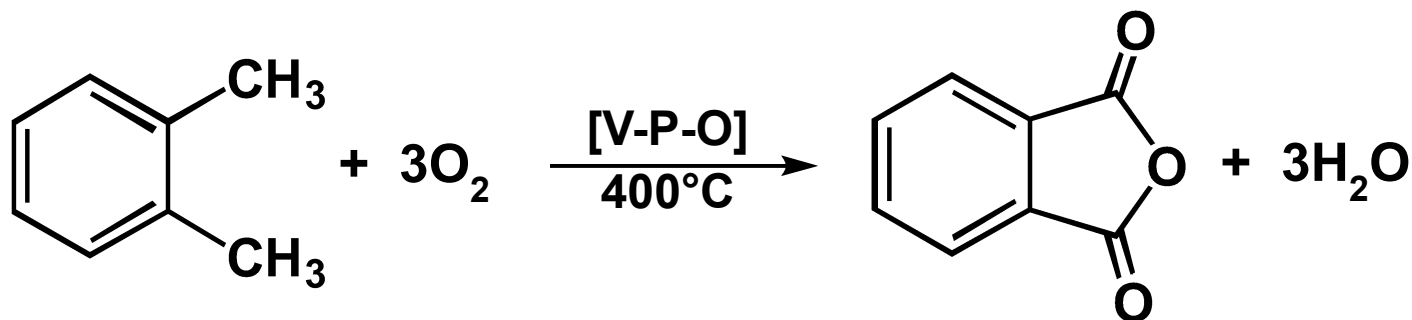
Полиэфирные  
волокна  
(Полиэстер,  
Лавсан)  
66%

# Направления

## ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КСИЛОЛОВ

- **о-Ксилол**

- **Фталевый ангидрид**



/ **Диалкилфталаты**

/ **Алкидные смолы**

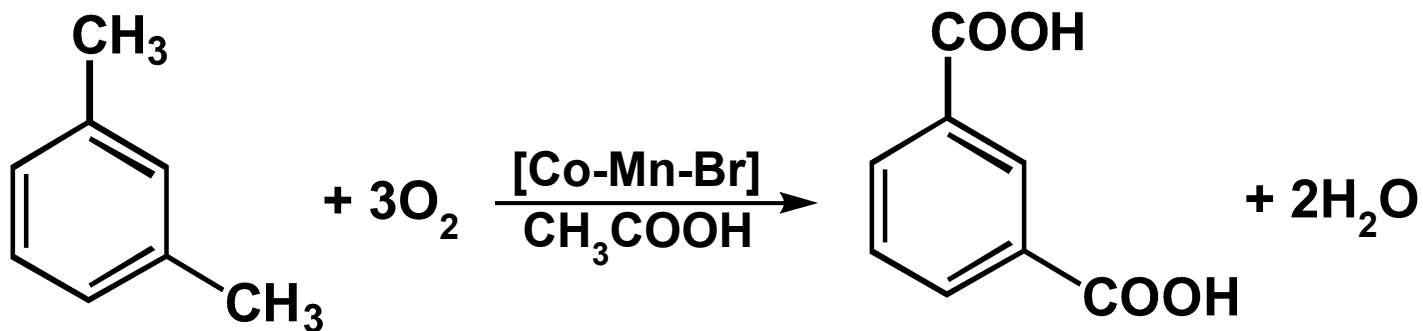
**в т.ч. *Глифталевые***

# Направления

## ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КСИЛОЛОВ

- **m-Ксилол**

- **Изофталевая кислота (Атосо)**



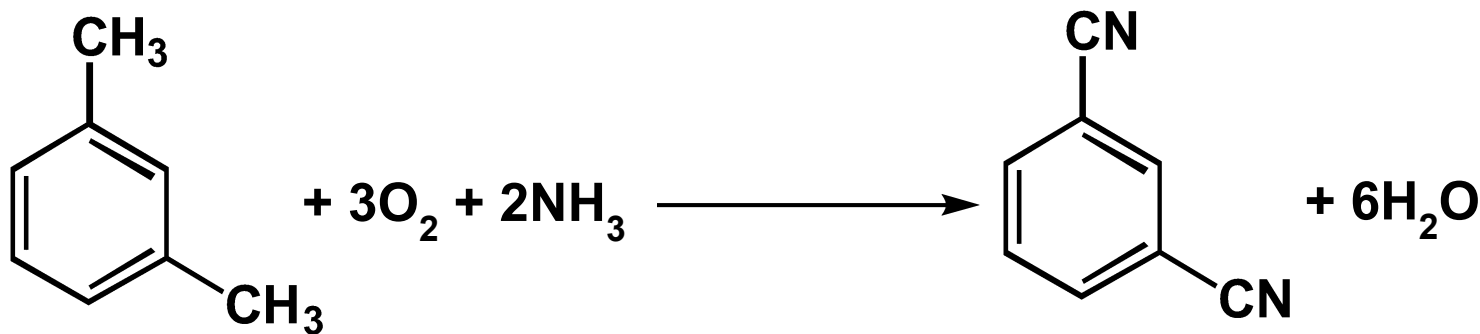
- **Сомономер для**
  - ПЭТ
  - Алкидных смол

# Направления

## ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КСИЛОЛОВ

- **m-Ксилол**

- **Изофталодинитрил**



/ **Изофталодиамин**

/ **Изофталодиизоцианат**



# Направления

## ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КСИЛОЛОВ

- **m-Ксилол**

- **Ксилолформальдегидные смолы**

