

Схематическое изображение химико-технологического процесса: 1

Оператор – химический или физический процесс (массообменный, тепловой, механический, гидромеханический, химический).

Подсистема – совокупность операторов, объединенная в рамках схемы единой технологической целью (подготовка сырья, химическое превращение, разделение реакционной смеси).

Функциональная схема


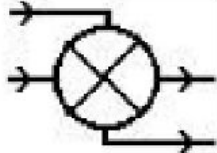




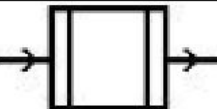
Операторная схема

Технологическая схема

Функциональная схема – составляем последовательный список операторов (вход – выход), выделяем подсистемы и соединяем их материальными потоками используя словесное описание.

Операторная схема – заменяем словесное описание операторов на графические символы технологических операторов.

Технологическая схема – составляется на базе операторной путем замены оператора на конкретный аппарат (смеситель, теплообменник, сепаратор, реактор и т.п.)

Основные технологические операторы		Вспомогательные технологические операторы	
	Химическое превращение		Нагрева и охлаждения
	Смешение		Сжатия и расширения
	Разделение		Изменения агрегатного состояния вещества
	Межфазный массообмен		

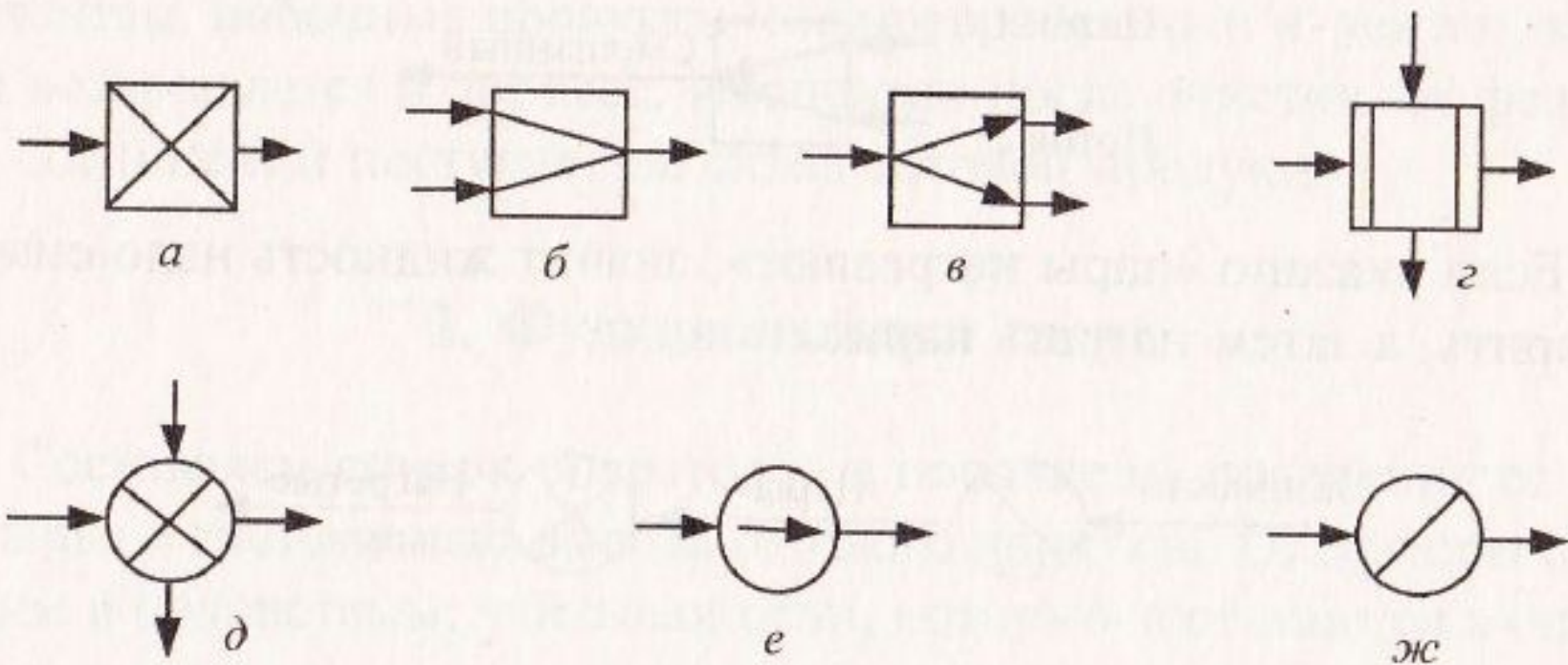
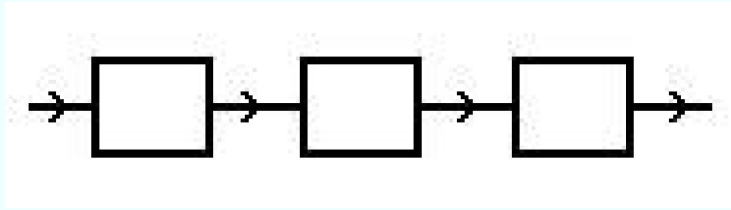


Рис. 2. Технологические операторы:

a – химического превращения; *б* – смешения; *в* – разделения; *г* – межфазного массообмена; *д* – нагрева или охлаждения; *e* – сжатия или расширения; *ж* – изменения агрегатного состояния вещества

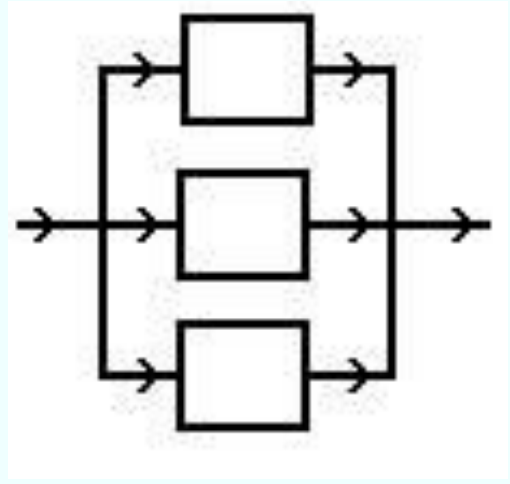
Виды технологических связей между операторами

1. Последовательное соединение:



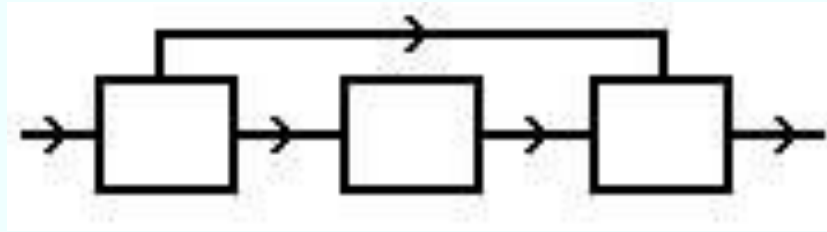
При этом соединении весь технологический поток, выходящий из предыдущего элемента схемы, полностью поступает на последующий элемент, причём через каждый элемент поток проходит только один раз.

2. Параллельное соединение:



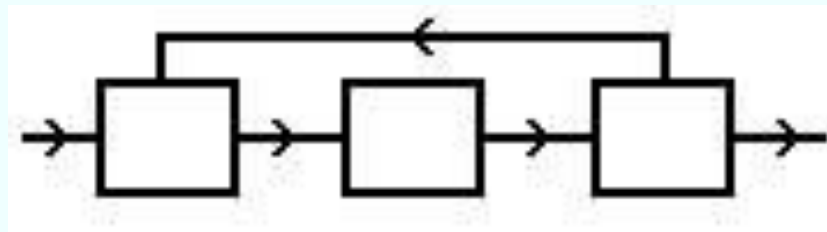
Технологический поток разделяется на несколько потоков, которые поступают на различные элементы, причём каждый аппарат поток проходит только один раз. Выходящие из элементов потоки могут объединяться в один поток, а могут выходить отдельно.

3. Последовательно-обводное (байпасное) соединение:



При последовательно-обводном соединении через ряд последовательно соединённых элементов проходит только часть потока, другая часть обходит часть аппаратов, а затем соединяется с частью потока, прошедшего через последовательно соединённые элементы схемы.

4. Рециркуляционное соединение:



Обратный технологический поток в системе последовательно соединённых элементов, который связывает выход одного из последующих элементов с входом одного из предыдущих элементов.

Такая связь характеризуется коэффициентом рециркуляции, т.е. отношением рециркулирующего потока к суммарному.

Применение различных видов связей между химическими реакторами:

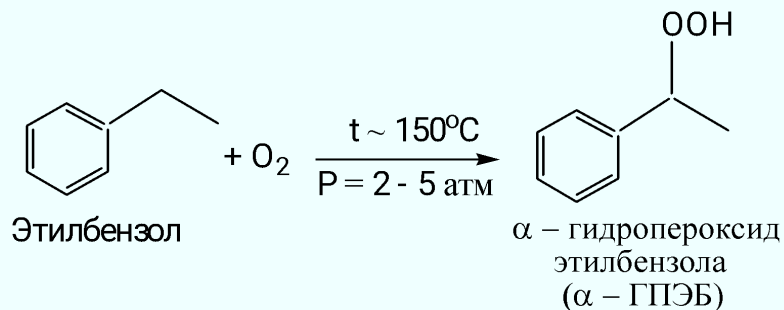
- замена одного РИС на каскад РИС, т.е. последовательно соединённых аппаратов (без изменения общего времени контакта), позволяет достичь большей степени превращения за счёт изменения гидродинамической обстановки и уменьшить конструктивный размер каждого реактора;
- замена одного РИВ на каскад РИВ позволяет только сократить конструктивный размер каждого реактора;
- замена одного РИВ или РИС на ряд параллельно работающих реакторов не снижает общую эффективность, но уменьшает конструктивные размеры параллельно работающих реакторов;
- параллельное подключение дополнительного *реактора* позволяет увеличить нагрузку по сырью при сохранении неизменной степени превращения или, возможно, достичь более высокой степени превращения (без изменения скорости подачи сырья) за счёт увеличения времени пребывания;
- последовательное соединение применяют, когда необходимо провести химическое превращение в несколько стадий для эндо- или экзотермических реакций (особенно обратимых), протекающих в адиабатических реакторах, так как позволяет на каждой стадии поддерживать оптимальную температуру;
- последовательное соединение применяют, когда необходимо провести технологический процесс с выделением какого-либо компонента после каждой стадии;

- параллельное соединение применяют, когда необходимо оптимальным образом распределить нагрузку между параллельно работающими линиями, отличающимися по производительности, например, вследствие падения активности катализатора, загрязнения теплообменной поверхности и пр.;
- параллельное соединение применяют, когда необходимо увеличить надёжность производства и обеспечить возможность его работы с минимальной производительностью без снижения эффективности работы оборудования (в случае необходимости параллельные линии могут быть отключены по экономическим соображениям или для ремонта);
- при байпасном соединении вследствие уменьшения потока, идущего через реактор, увеличивается время пребывания в реакторе и увеличивается степень превращения сырья в продукты (в реакторе);
- байпасное соединение применяется при конструировании реакторов для проведения обратимых экзотермических реакций путём смешения «горячего» потока после реактора с «холодным» байпасным потоком, что позволяет достичь высокой степени превращения и оптимальных температур, и, следовательно, высоких скоростей химических реакций (каталитические реакторы, например, окисления SO_2 в SO_3 или синтеза аммиака);

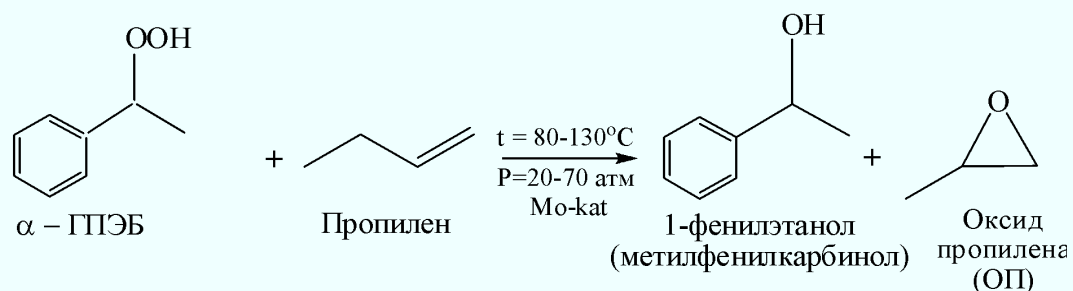
- рециркуляция применяется в случаях, когда необходимо увеличить эффективность использования сырья и оборудования за счёт увеличения времени пребывания в рециркулируемых аппаратах без изменения размеров оборудования и гидродинамической обстановки;
- рециркуляция позволяет достичь максимального использования сырья (особенно для обратимых реакций) и увеличить скорость процесса за счёт увеличения концентрации исходных реагентов, которая достигается при выделении целевого продукта на линии рецикла и возвратом исходных реагентов в «голову» процесса (например цикл синтеза аммиака);
- рециркуляция позволяет уменьшить полноту протекания побочных химических реакций посредством разбавления сырья продуктами реакции, поступающими в «голову» процесса по линии рецикла.

Процесс совместного получения оксида пропилена и стирола

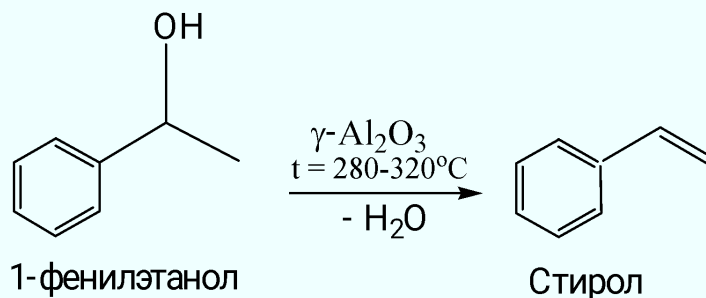
1. Жидкофазное окисление этилбензола молекулярным кислородом



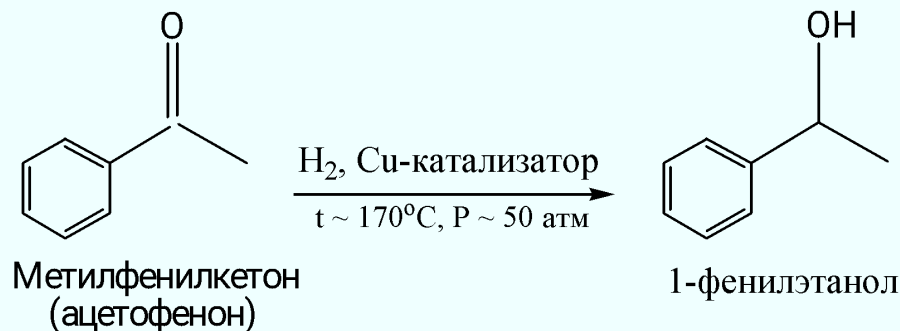
2. Жидкофазное каталитическое эпексидирование пропилена гидропероксидом этилбензола



3. Парофазная каталитическая дегидратация 1-фенилэтанола до стирола



4. Жидкофазное каталитическое гидрирование метилфенилкетона до 1-фенилэтанола



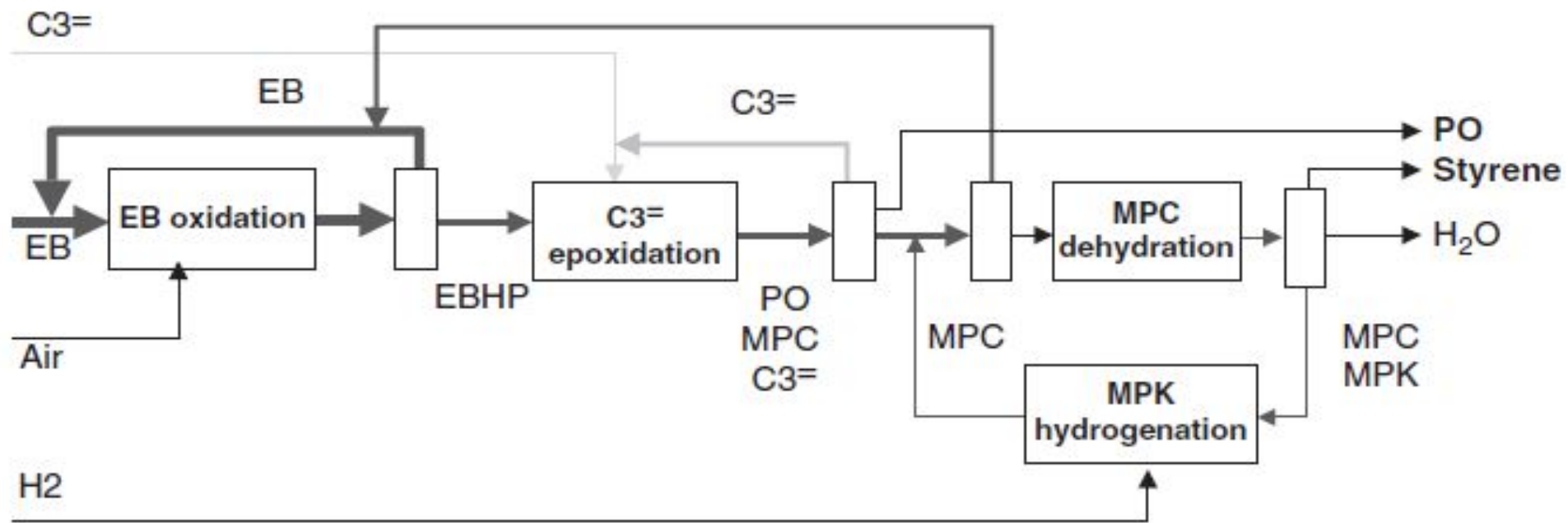
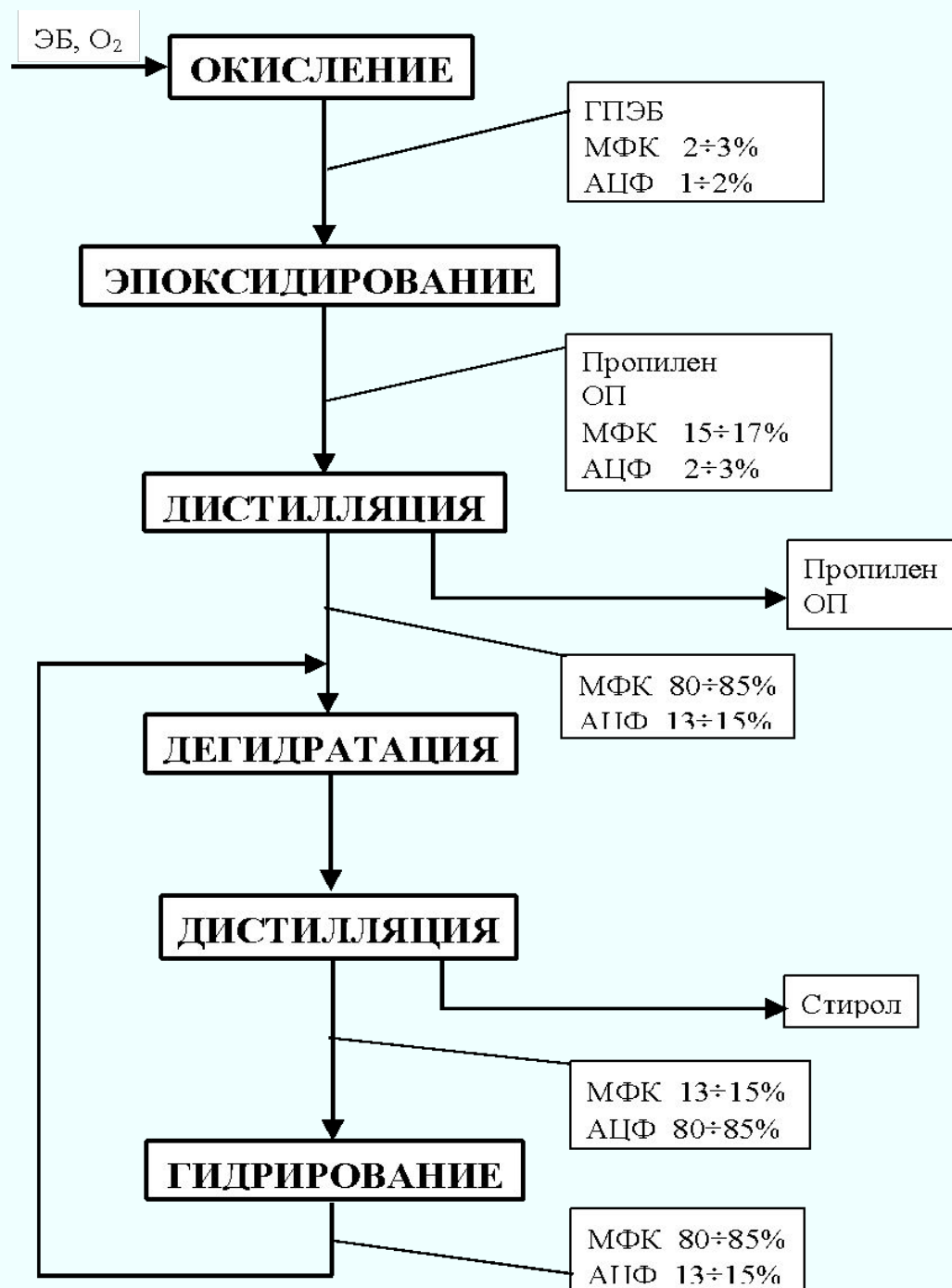
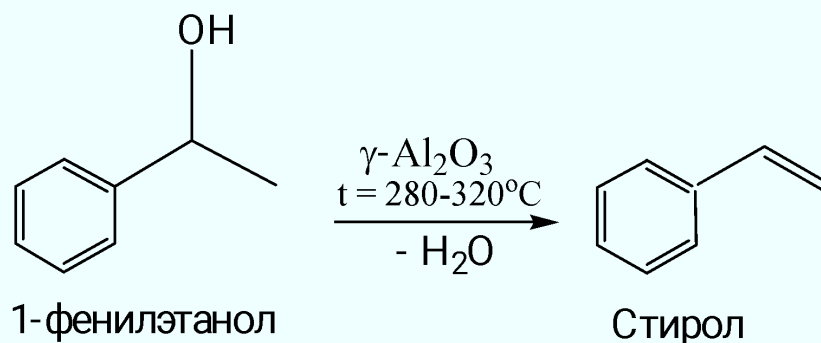


FIGURE 13.2 Simplified process flow scheme for the SMPO process.

Принципиальная схема процесса PO/SM приведенная в книге Mechanisms in Homogeneous and Heterogeneous Epoxidation Catalysis. Edit by S. Ted Oyama [Текст] / Elsevier. 2008. PP. 355 – 371.



Принципиальная схема процесса PO/SM, реализованного на ОАО «НКНХ»



Сырье – метилфенилкарбинольная фракция (МФК-фракция) состава:

- 83 %-мас. метилфенилкарбинол (1-фенилэтанол) ($t_{\text{кип.}} = 204^\circ\text{C}$)

- 15 %-мас. метилфенилкетон (ацетофенон) ($t_{\text{кип.}} = 202^\circ\text{C}$)

- 2 %-мас. 2-фенилэтанол ($t_{\text{кип.}} = 218^\circ\text{C}$)

Катализатор – гамма-оксид алюминия («твердая кислота»).

Условия проведения реакции:

- температура ~ 300°C

- давление ~ атмосферное

- молярный избыток воды по отношению к 1-фенилэтанолю ~ 10:1

(соответствует массовому соотношению вода: МФК-фракция ~ 1:1)

Продукты реакции: Стирол ($t_{\text{кип.}} = 145^\circ\text{C}$) Вода ($t_{\text{кип.}} = 100^\circ\text{C}$)

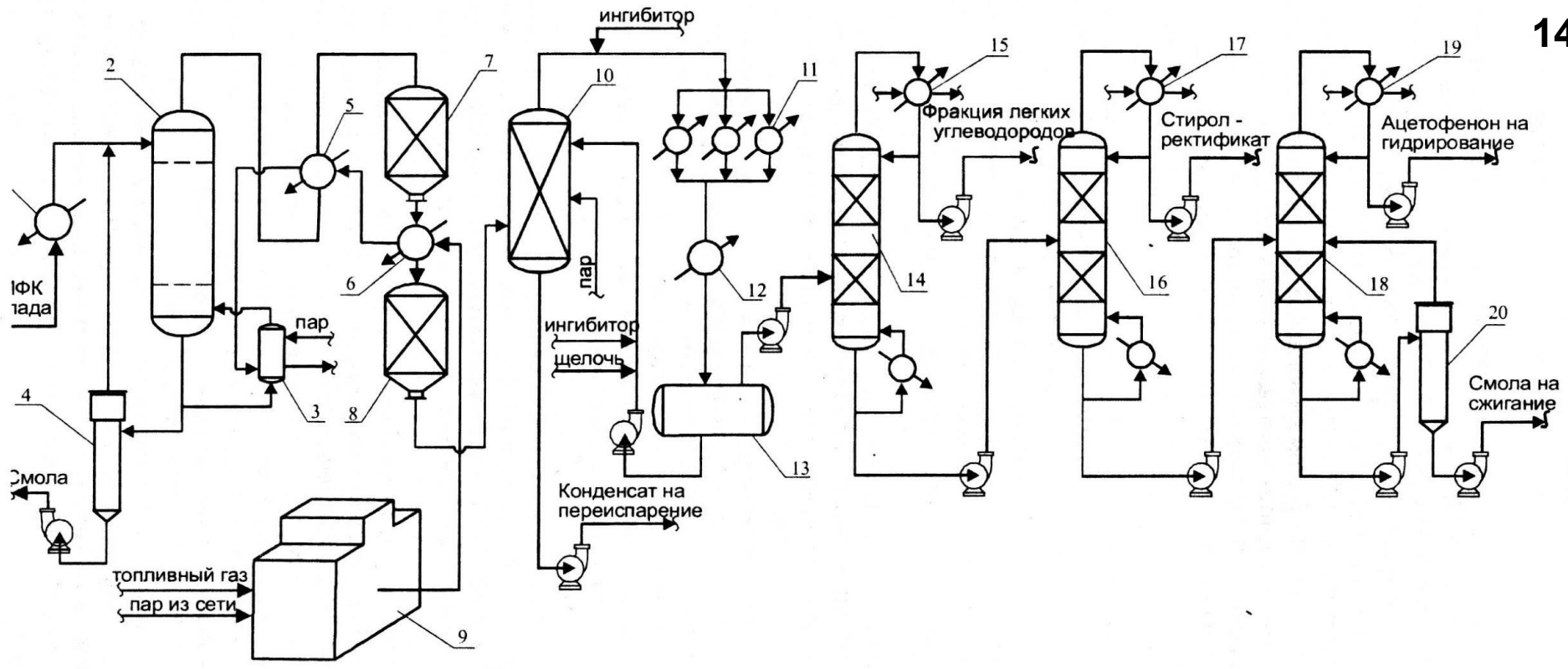
Бензол, Толуол, Этилбензол ($t_{\text{кип.}} <$ температуры кипения стирола)

Высококипящие продукты (димер метилфенилкетона, смолы)

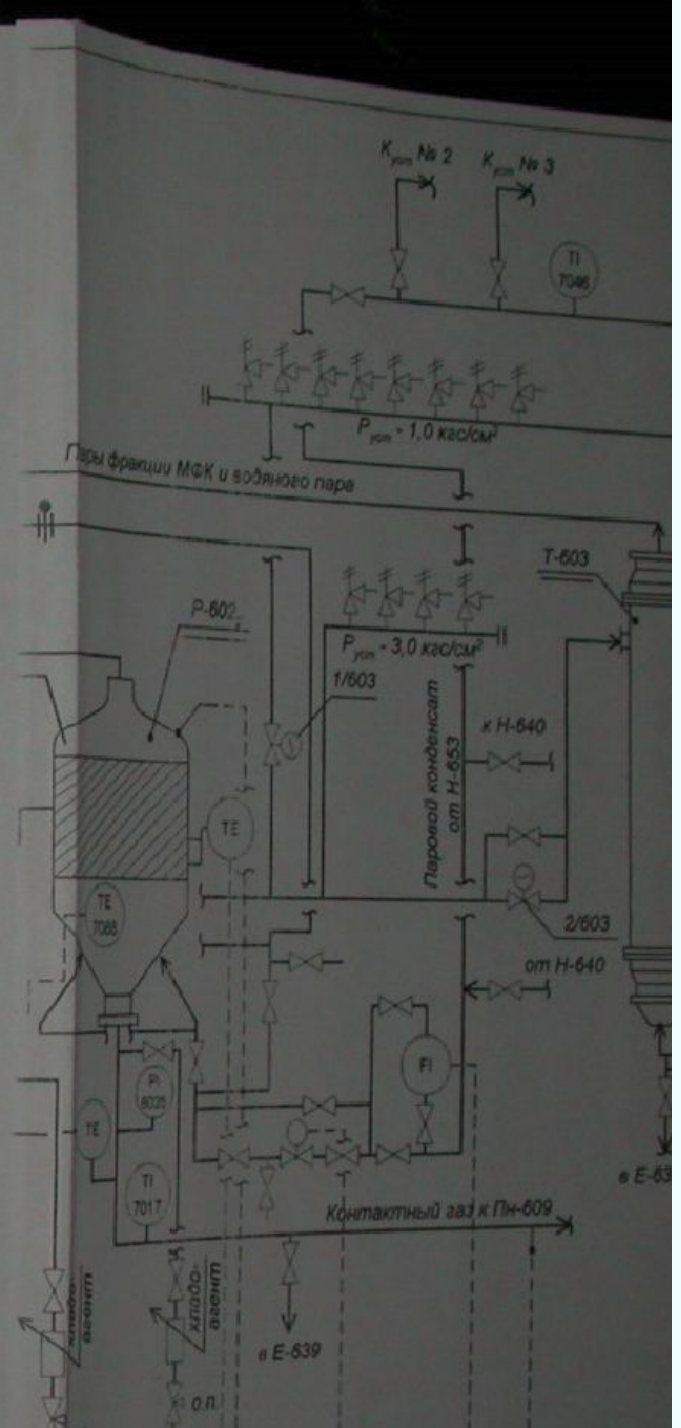
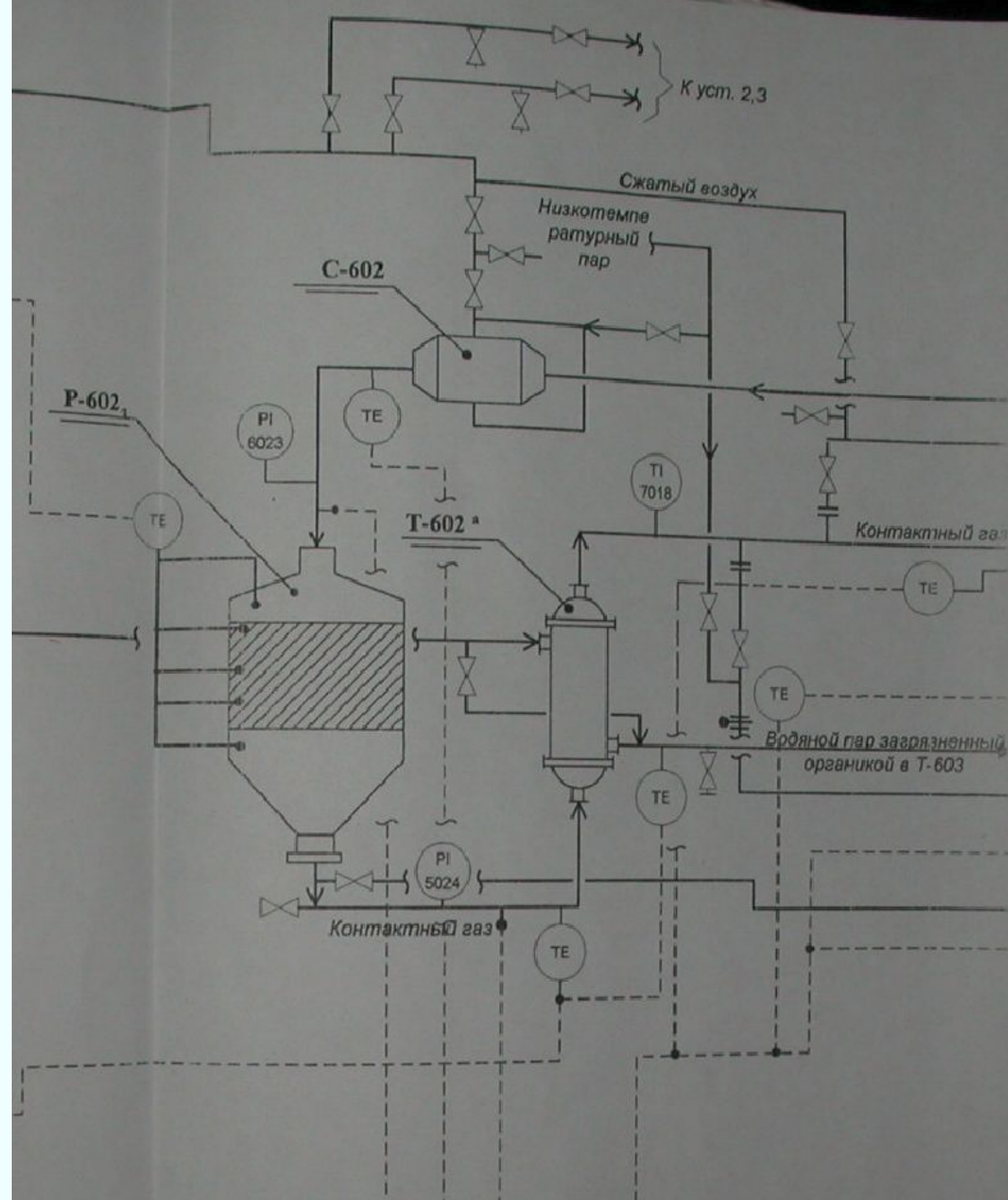
Реактор вытеснения, с неподвижным слоем катализатора, адиабатический.

Необходимые операции в рамках технологического процесса:

1. Нагрев МФК-фракции от комнатной температуры до температуры, близкой к температуре кипения компонентов.
2. Нагрев воды от комнатной температуры до температуры, близкой к температуре кипения.
3. Испарение МФК-фракции.
4. Испарение воды.
5. Смешение паров компонентов МФК-фракции с парами воды.
6. Подогрев паровой смеси до температуры реакции.
7. Контакт смеси с катализатором (каталитическая химическая реакция).
8. Охлаждение реакционной смеси в паровой фазе.
9. Конденсация паров органических компонентов и воды.
10. Разделение водной и органической фаз.
11. Выделение целевого продукта реакции из органической фазы (с учетом того, что в реакционной смеси есть компоненты с температурой кипения как ниже, так и выше, чем у целевого продукта – стирола).



1, 5, 6 – подогреватели, 2- колонна переиспарения 1-ФЭТ, 3 – кипятильник, 4, 20 – роторно-плёночные испарители, 7, 8 – реакторы, 9 – трубчатая печь, 10 – скруббер, 11 – воздушные конденсаторы, 12 – водяной конденсатор, 13 – отстойник, 14, 16, 18 – ректификационные колонны, 15, 17, 19 – конденсаторы.



Действующая схема реакционного узла (последовательное расположение реакторов)

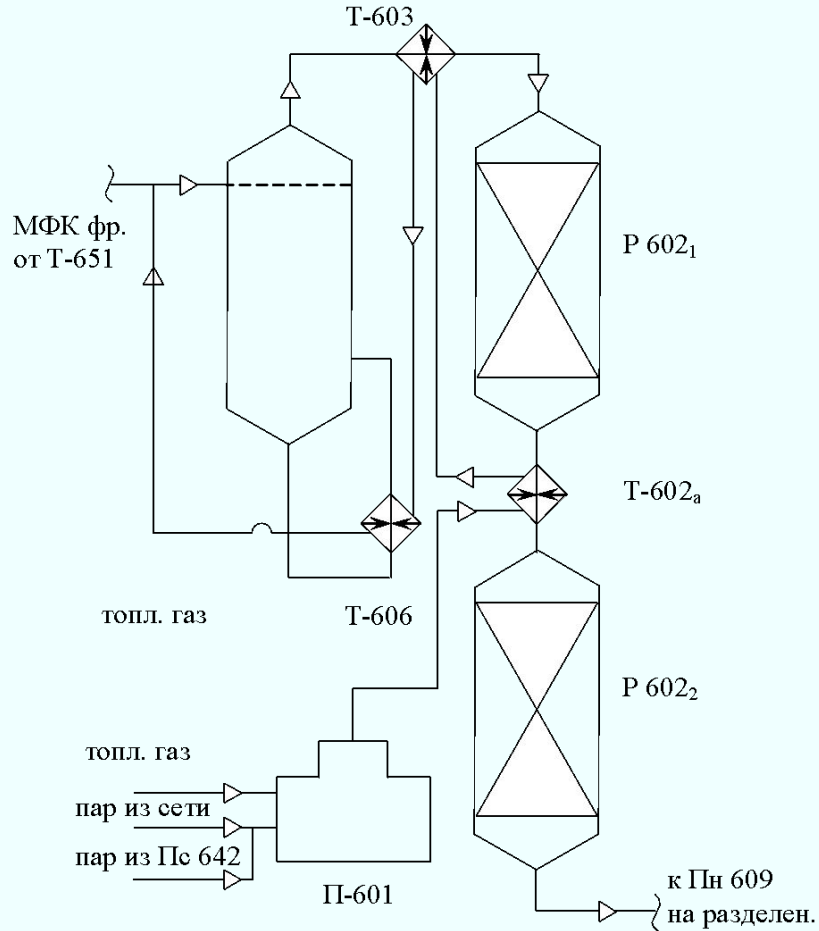


Схема реакционного узла при последовательно – параллельном расположении реакторов

